

Setzungen von Deponien und ihre adäquate Überwachung

1 Situation

Das Basisabdichtungssystem stellt im Hinblick auf die gemeinwohlverträgliche Beseitigung von Abfällen unabhängig von der Qualität der abgelagerten Abfälle den zentralen Bestandteil des Deponiebauwerks dar. Daher werden an die Funktionsfähigkeit der Abdichtung besondere Anforderungen gestellt. Beeinträchtigungen der Schutzwirkung der Abdichtungen sind in jedem Falle zu vermeiden. Wichtigste Ursache für Beschädigungen sind mechanische Belastungen, deren Auswirkungen (Verformungen, Setzungen, Risse usw.) besonderer Überwachung bedürfen.

Die Überwachungspflicht war bislang im Punkt 10.4.1.1 der TA SIEDLUNGSABFALL (1993) formuliert. Die Messungen sollten im Zuge der Eigenüberwachung durchgeführt und im Jahresbericht zum Deponieverhalten dokumentiert werden. In Anwendung des Anhangs G der TA ABFALL (1991) wurde für die Durchführung der Überwachungsmaßnahmen eine jährliche Höhenvermessung aller Sickerwasserrohre gefordert. Mit der Überarbeitung der DEPONIEVERORDNUNG (2009), mit der die EU-Deponierichtlinie in nationales Recht umgesetzt und die bis dato geltenden Verordnungen zusammengefasst wurden, haben sich die technischen Anforderungen an die Setzungsmessungen an dieser Stelle geändert.

2 Stand der Deponierung

Von den 60 Hausmülldeponien, die 1995 in Sachsen in Betrieb waren, wurde der größte Teil bis 2005 geschlossen. Nach Juni 2005 waren noch 5 Anlagen in Betrieb, laut UBA sogar nur drei (ohne Torgau und Chemnitz).

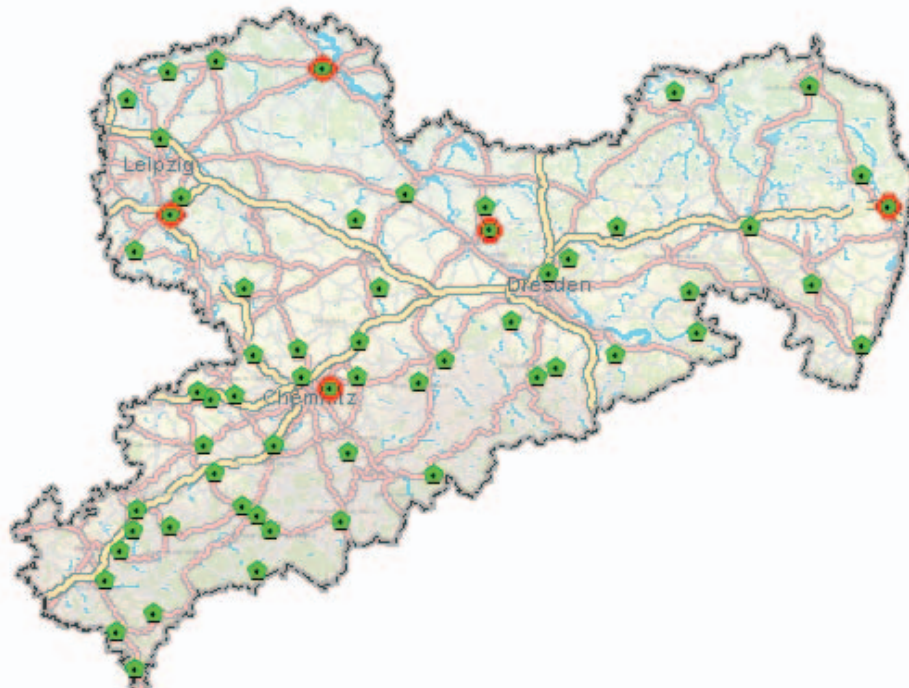


Abbildung 1: Deponiestandorte in Sachsen (Stand: grün 1995, rot umrandet 2006)

In den fünf neuen Bundesländern befinden sich laut Umweltbundesamt insgesamt 27 Deponien in Betrieb, davon 3 in Sachsen (Cröbern, Gröbern und Kunnersdorf). Damit ergibt sich, dass sich mindestens 55 Deponien sich in der Nachsorge befinden müssten. Von diesen verfügen etwa 35 über Entwässerungssysteme, sollten demnach also Befahrungen, Reinigung und sonstige Überwachungsmaßnahmen an der Deponiebasis durchführen können. Der Autor führt langfristig angelegte Setzungsmessungen auf zwei sächsischen Deponien durch (Gröbern und eine Deponie am Erzgebirge), davon eine stillgelegte Anlage.

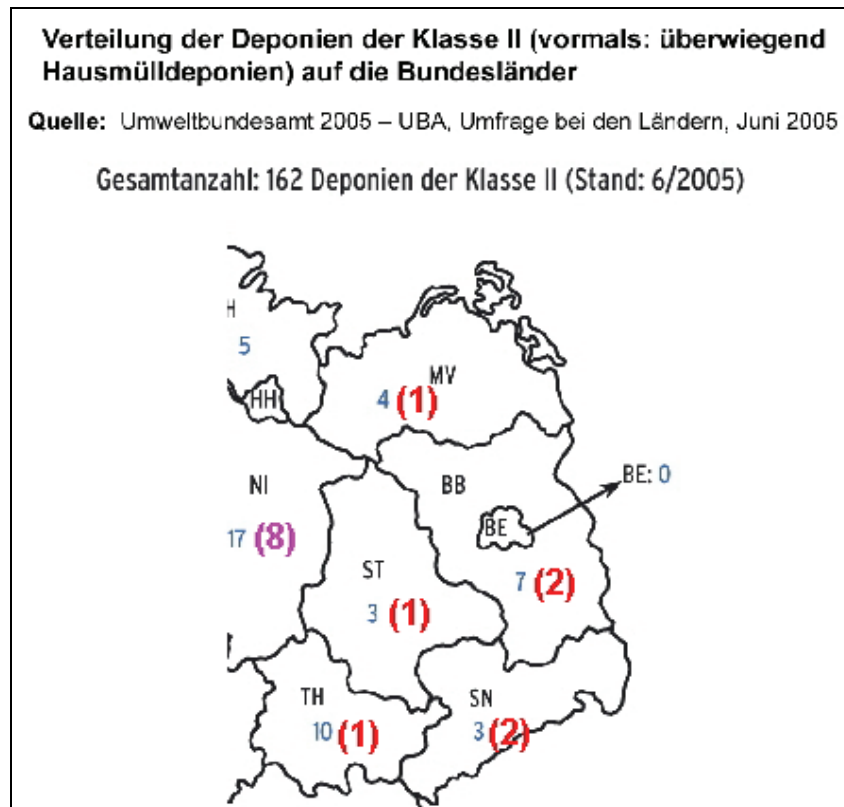


Abbildung 2: Deponiestandorte in den 5 neuen Bundesländern, in () mit hydrostatischer Setzungsüberwachung

3 Rechtliche Rahmenbedingungen der Setzungsüberwachung

Die Anforderungen an die Kontrollmaßnahmen sind im § 12, Absatz 3 der DEPONIEVERORDNUNG (2009) niedergelegt. Danach müssen prinzipiell alle Betreiber von Deponien der Klassen 0, I, II und III Messungen gemäß Anhang 5 Nummer 3.2 („Mess- und Kontrollprogramm“) durchführen. Da diese Forderungen gegenüber den früheren Regelungen zu einem unangemessen hohen oder sogar einem technisch unsinnigen Überwachungsaufwand führen würde, hat der Verordnungsgeber ausdrücklich auf die Möglichkeit von (antragspflichtigen) Ausnahmeregelungen für die Klasse 0 und für Monodeponien hingewiesen. Für die übrigen Betreiber (insbesondere der Klasse II-Deponien) gilt bezüglich der Setzungsmessungen die bisherige Forderung nach jährlicher Messung des Verformungsverhaltens der Deponiebasis durch Höhenvermessung der Sickerwasserrohre weiter. Neu ist, dass die Verordnung auch an dieser Stelle auf die Möglichkeit der Abweichung von Umfang und Häufigkeit der durchzuführenden Kontrollen und Messungen hinweist (Anhang 5, Nummer 3.2, Satz 2). Anders als in der Regelung nach TA SIEDLUNGSABFALL (1993) wird damit auch für die Klasse II-Deponie ein standortspezifisches Monitoringprogramm zulässig.

Diese Öffnung ist höchst begrüßenswert. Bislang waren alle Deponien der Klasse II unabhängig von der Gefährdung der Basisabdichtung denselben Kontrollanforderungen unterworfen, unabhängig davon ob es sich um setzungsunempfindliche (Sandböden in der Heide, Steinbrüche, felsige Standorte in Süddeutschland) oder eher setzungsempfindliche Standorte (Marsch, Auen, Tagebau) handelte. Insbesondere Deponiebetreiber an wenig setzungsgefährdeten Standorten zeigten deshalb - durchaus nachvollziehbar - nur wenig Akzeptanz für die Ihrer Ansicht nach überzogenen Anforderungen. Diese Auffassung hat maßgeblich dazu beigetragen, billige, aber technisch ungeeignete Messverfahren wie die Kameraneigungsmessung in der Deponieüberwachung zu etablieren. Mit der Neuregelung besteht Aussicht, dass für alle Standorte entsprechend ihrer geotechnischen Ansprüche angemessene Monitoringprogramme zur Anwendung kommen und somit einerseits übertriebener Messaufwand reduziert, andererseits reine „pro forma“-Messungen verschwinden werden.

4 Messverfahren

Unter den für die Setzungsüberwachung der Deponiebasis zum Einsatz gelangenden Messverfahren haben in den vergangenen Jahren mit der hydrostatischen Höhenvermessung das genaueste und mit der Kameraneigungsmessung das billigste Messverfahren die größte Verbreitung gefunden.

Die hydrostatische Höhenvermessung ist ein seit langem angewandtes Messprinzip. Die Höhe eines Punktes kann durch die Messung des der Höhendifferenz proportionalen Wasserdruckes (bei bekannter Höhenlage des Wasserspiegels) bestimmt werden. Der Aufbau der Wassersäule zwischen Referenzniveau und Messpunkt kann auf verschiedene Arten erfolgen, in der Regel wird ein Drucksensor mit angeschlossener Wassersäule in das Rohr eingebracht. Die hydrostatische Höhenvermessung kann Messgenauigkeiten von 0,1% des Höhenunterschiedes bzw. des Messbereiches des Druckaufnehmers erreichen, bei Systemen mit 5 m Messbereich somit ± 5 mm. Die Messungen sind unabhängig voneinander, so dass lokale Fehlmessungen benachbarte Punkte nicht beeinträchtigen. Die Sensitivität gegen Temperatur- und Luftdruckschwankungen erfordert qualifiziertes Personal. Da die Messungen zudem zeitintensiv sind, fallen entsprechende Kosten an. Das Einbringen der Messsonde kann mit dem Kamerafahrzeug während der TV-Inspektion (Abbildungen 3 und 4) oder mit anderen Hilfssystemen (Zugseil, Glasfaserstab) erfolgen, die Videoaufnahme wird beim Einbringen nicht behindert.



Abbildung 3: Kamerafahrzeug mit aufgestecktem hydrostatischem Sensor

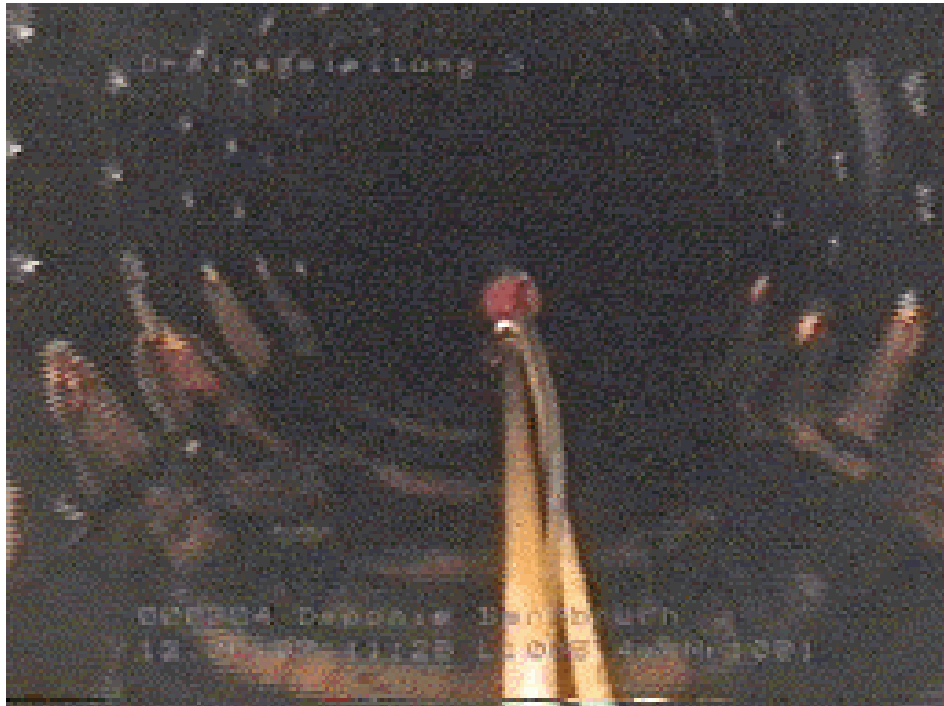


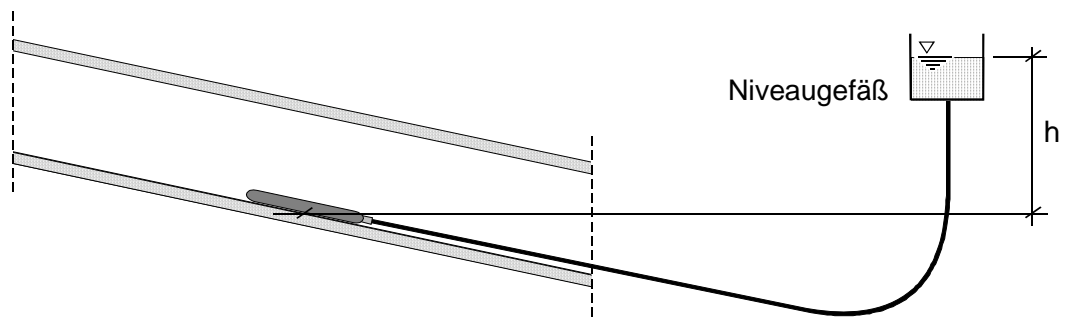
Abbildung 4: Einfahren der hydrostatischen Sonde (TV-Aufnahme)

Bei der Inklinometermessung wird in Intervallen die Neigung einer Rohrleitung gemessen und daraus der Höhenunterschied im Bereich des Intervalls ermittelt. Die einzelnen Höhendifferenzen werden aufsummiert und aus dem Ergebnis wird die Höhenlage des aktuellen Messpunktes berechnet. Die Inklinometer werden im Deponiebereich ausschließlich als in Kamerafahrwagen integrierte Systeme eingesetzt, spezielle Messrohre (wie in der Bauwerksüberwachung üblich) kommen praktisch nicht zum Einsatz. Die eingesetzten Neigungsaufnehmer haben eine sehr hohe Auflösung von 0,001% Neigung. Die Genauigkeit der berechneten Höhe nimmt unabhängig von den Messbedingungen mit zunehmender Messlänge ab. Abbildung 5 zeigt schematisch die beiden Verfahren zur Höhenvermessung.

Da die aktuelle Höhenlage eines Messpunktes durch Summation der vorausgegangenen Messungen errechnet wird, werden alle Messfehler aufsummiert. Nach Herstellerangaben kann von einer Messgenauigkeit von 0,1% (bezogen auf die Entfernung) ausgegangen werden, das entspricht einem Fehler von 1 mm je abgefahrenem Meter Rohrleitung. Bei einer einseitig zugänglichen Sickerwasserleitung von 250 m Länge beträgt der zu erwartende Messfehler ± 25 cm. In den einschlägigen Richtlinien der GSTT wird für die Kameraneigungsmessung sogar nur eine Messgenauigkeit von ± 84 cm (auf 200 m Rohrlänge) angegeben [GSTT, 1999]. Zu den Ursachen der Messfehler und Grenzen der Korrekturmöglichkeiten wurden umfangreiche Untersuchungen gemacht (KÖLSCH, 1998).

Ohne zusätzliche Höheninformationen sind Korrekturen der Neigungsmessungen physikalisch prinzipiell unmöglich, auch wenn dies zuweilen behauptet wird. Weder lassen sich statistisch noch auf irgendeine andere Weise Fehler identifizieren und auf ein Maß korrigieren, dass sich Aussagen zum Setzungsverhalten machen ließen. Die einzige Möglichkeit besteht in der zusätzlichen Aufnahme einzelner Höhenpunkte im Rohr (durch hydrostatische Messung), die dann als Stützstellen für eine Korrektur der Neigungsdaten verwendet werden. Diese so genannte Kombinationsmessung wird an verschiedenen Standorten eingesetzt.

a) Hydrostatische Höhenvermessung



b) Neigungsmessung

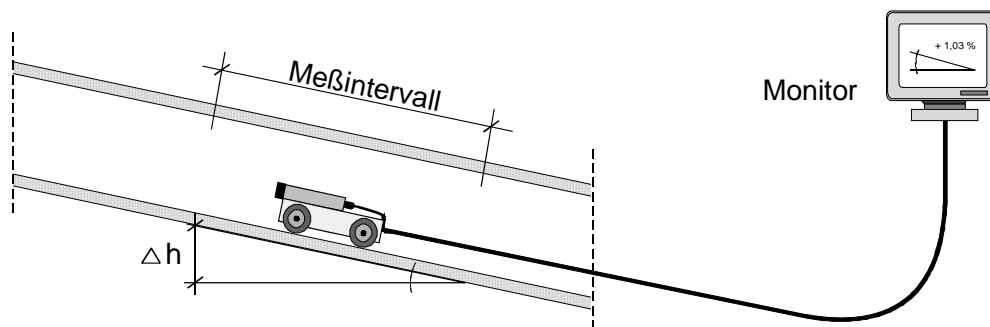


Abbildung 5: Messprinzipien zur Rohrvermessung

Abbildung 6 zeigt das Messergebnis in einer einseitig zugänglichen Sickerwasserleitung einer großen Hausmülldeponie. Am Rohrende hat sich bei der Neigungsmessung ein Fehler von rund 60 cm (entspricht 0,15 % Neigungsfehler) aufsummiert. Über die 40 m auseinander liegenden hydrostatischen Stützstellen kann der Fehler korrigiert werden, so dass eine Messgenauigkeit von etwa +- 2-3 cm erreicht werden kann.

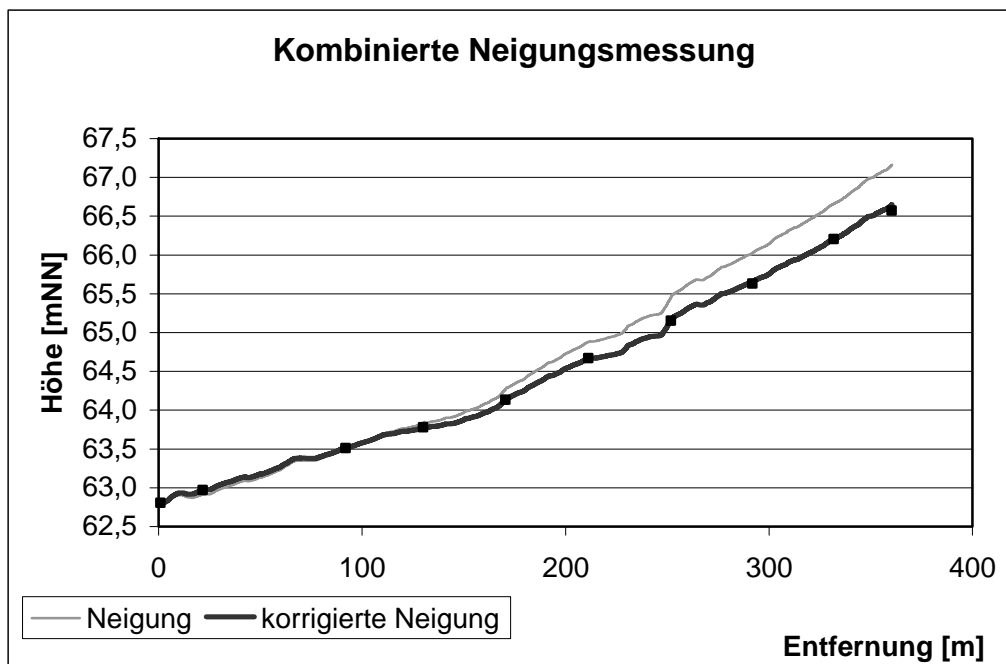


Abbildung 6: Vergleich von unkorrigierter und korrigierter Neigungsmessung

Hinsichtlich der Kosten ist die hydrostatische Höhenvermessung wegen ähnlicher Personalaufwendungen (Dipl.-Ing.) mit hochwertigen Inklinometermessungen in speziellen Messrohren vergleichbar, die kameraintegrierte Neigungsmessung ist durch Synergieeffekte und geringere Anforderungen an die fachliche Qualifikation des Personals deutlich günstiger, viele TV-Unternehmen bieten die Messungen sogar als kostenlose Beigabe. Die Kombinationsmessung ist rund 30 % günstiger als die vollständige hydrostatische Höhenvermessung.

5 Messergebnisse

5.1 Standortunterschiede

Wie beschrieben, können sich Deponiestandorte in ihrem Setzungsverhalten signifikant unterscheiden. Ein standortspezifisches Messkonzept sollte sich an solchen Randbedingungen orientieren. Im Folgenden werden Beispiele für unterschiedliches Setzungsverhalten präsentiert.

Abbildung 7 zeigt einen wenig setzungsempfindlichen Standort, die Deponie B im östlichen Niedersachsen. Die Messungen am Standort werden seit 1997 im Jahresrhythmus durchgeführt. Für die Haltung 3 im Polder B zeigt das Ergebnis, dass die Gesamtsetzungen zwischen 4 und 12 cm liegen, die jährlichen Setzungen mittlerweile jedoch gering sind. Das logarithmische Zeit-Setzungs-Diagramm (Abbildung 8) verdeutlicht, dass die Sekundärsetzungen noch nicht abgeklungen sind. Es wird auch klar, dass die jährlichen Wiederholungsmessungen nur begrenzt aussagekräftig sind, adäquat wäre eher ein 2-Jahres-Rhythmus. Weiter kann festgestellt werden, dass Messverfahren mit Genauigkeiten schlechter als ± 1 cm keine verwertbaren Aufschlüsse liefern würden.

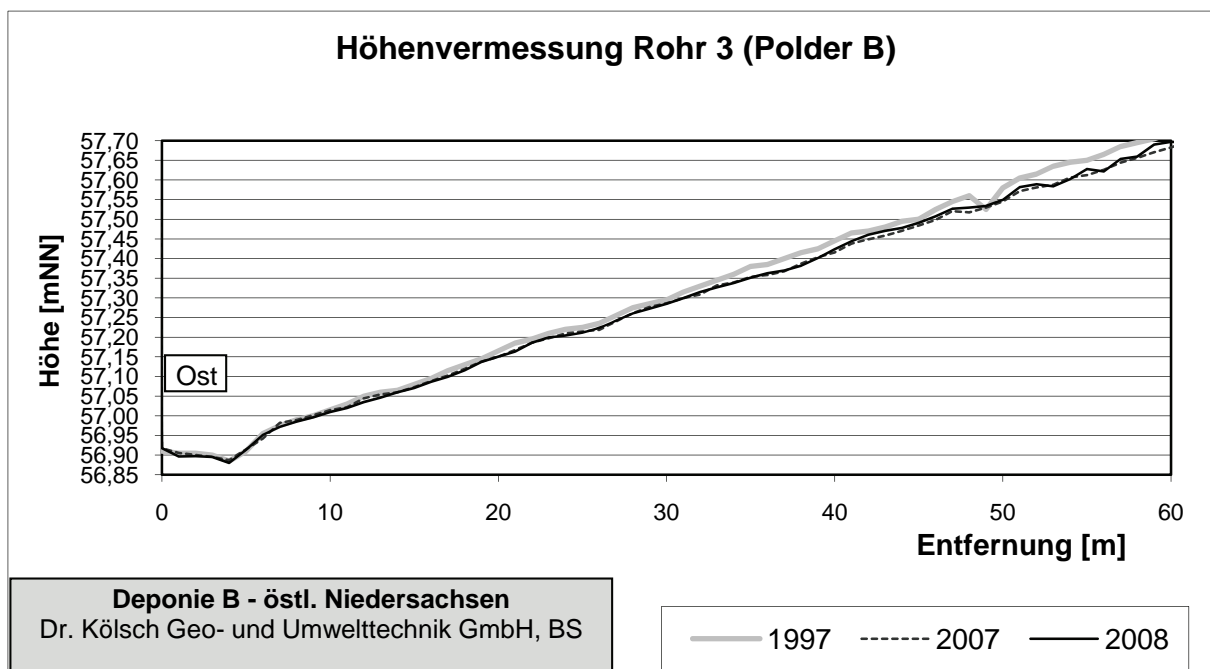


Abbildung 7: Höhenvermessung im Dränagerohr

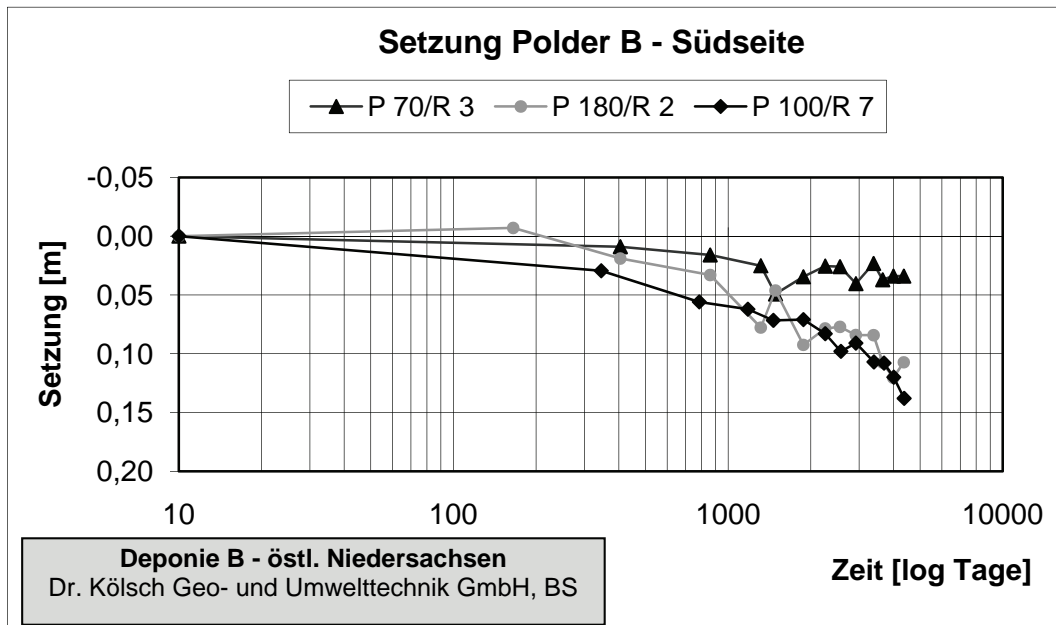


Abbildung 8: Zeit-Setzungs-Diagramm

Wie deutlich sich die Ergebnisse an einem eher setzungsempfindlichen Standort davon unterscheiden, verdeutlicht Abbildung 9. Die Grafik zeigt den Höhenverlauf des Sammlers KS 5 auf der Deponie Wiefels. Die Deponie liegt im norddeutschen Marschland. Im Messzeitraum zwischen 2000 und 2010 wurden rund 10 m Abfall (MBA-Material) abgelagert. Die Gesamtsetzungen betragen seit 2000 rund 45 cm, von 2009 bis 2010 traten 5 cm Setzung auf. An einem solchen Standort kann auf jährliche Messungen derzeit nicht verzichtet werden. Ähnliche Setzungsproblematiken finden sich in Auenlandschaften, Torf-/Moorgebieten und ehemaligen Tagebauen.

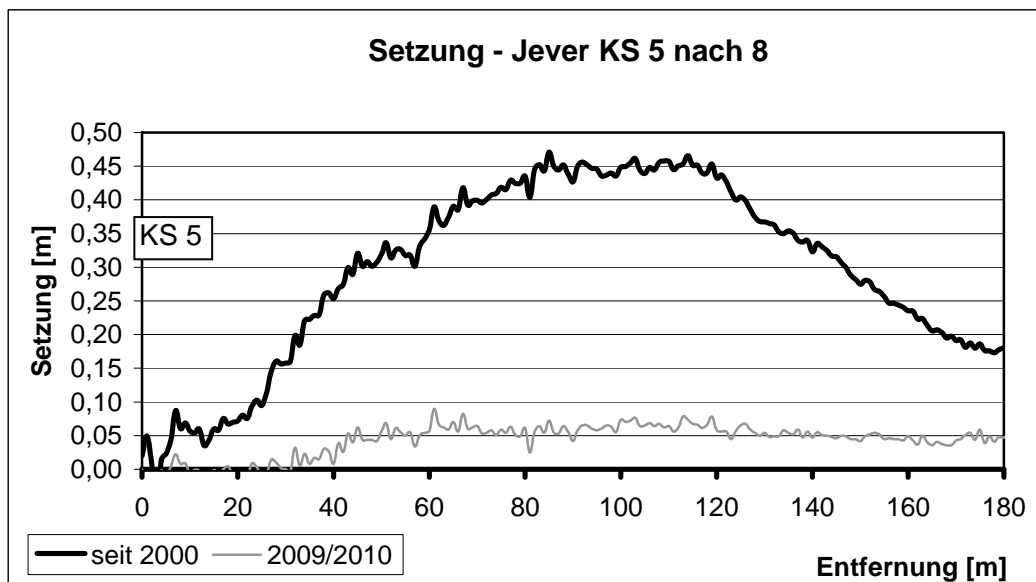


Abbildung 9: Setzungen der Deponiebasis

Noch deutlicher zeigen sich Setzungen bei Messungen im Abfallkörper. Abbildung 10 zeigt den Höhenverlauf in einem Setzungsmessrohr auf der Deponie Wesendorf. Die Messungen wurden 1988 begonnen. Bis 2009 hat das Rohr, das auf einer 5 mächtigen Abfallschicht eingebaut worden war, Setzungen von bis zu 2,50 m erfahren. Das Zeit-Setzungs-Diagramm (Abbildung 9) zeigt, dass die Sekundärsetzungen etwa nach 11 Jahren (2002) abgeklungen waren, zu diesem Zeitpunkt war noch keine Oberflächendichtung aufgebaut worden.

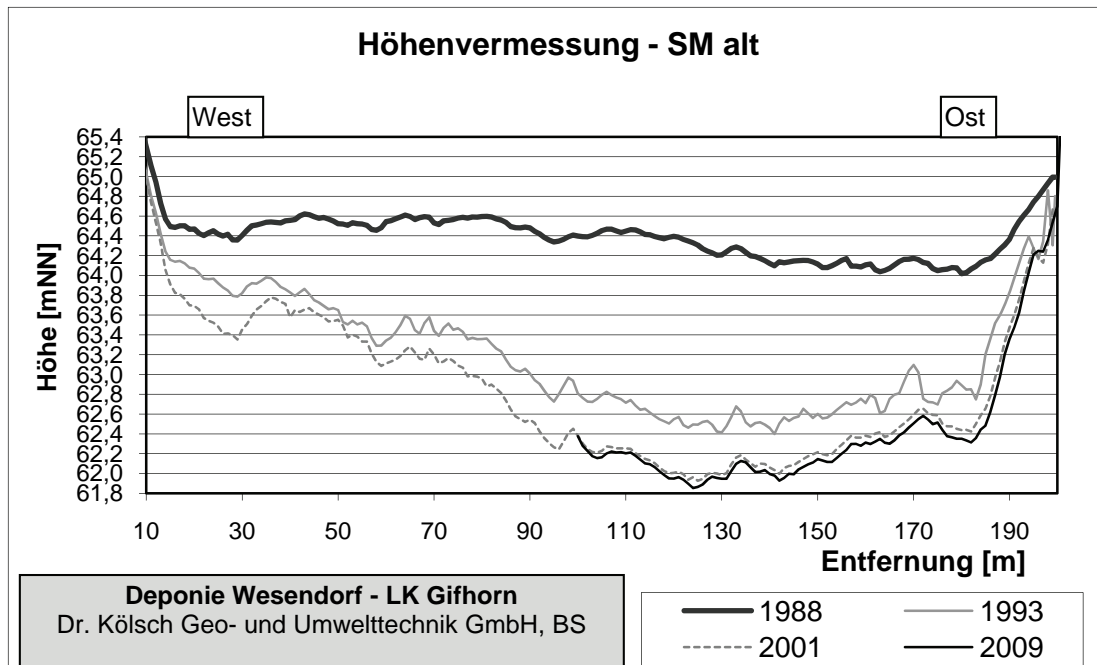


Abbildung 10: Setzungen im Abfallkörper

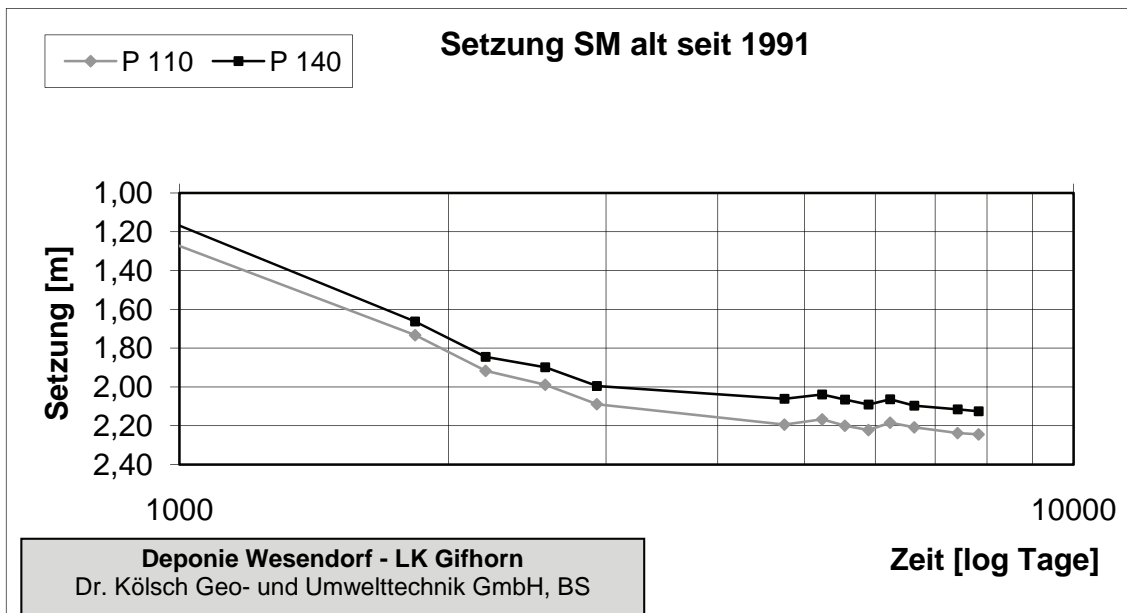


Abbildung 11: Zeit-Setzungs-Diagramm für den Abfallkörper

5.2 Regionale Messergebnisse

Die Region ist geprägt von Hügelland, Flußauen, Tagebauen und Mittelgebirgen. Im folgenden werden zwei typische Standorte vorgestellt, die Deponie Lübben-Ratsvorwerk in der Niederlausitz und eine Deponie am Rande des Erzgebirges. Die Deponie Lübben wird betrieben vom Kommunalen Abfallentsorgungsverband „Niederlausitz“. Objekt der Setzungsüberwachung ist der DA II, der am 1.9.2005 für die Ablagerung von MBA-Material in Betrieb genommen wurde. Zwischen 2005 und 2008 wurden Kameraneigungsmessungen durchgeführt, die jedoch keine plausiblen Ergebnisse erbrachten. daraufhin suchte der Betreiber KAEV nach Alternativen. Seit 2009 wird die Fläche hydrostatisch überwacht. Abbildung 12 zeigt das Ergebnis der letzten Messungen sowie zum Vergleich die Neigungsmessungen aus 2005 und 2008.

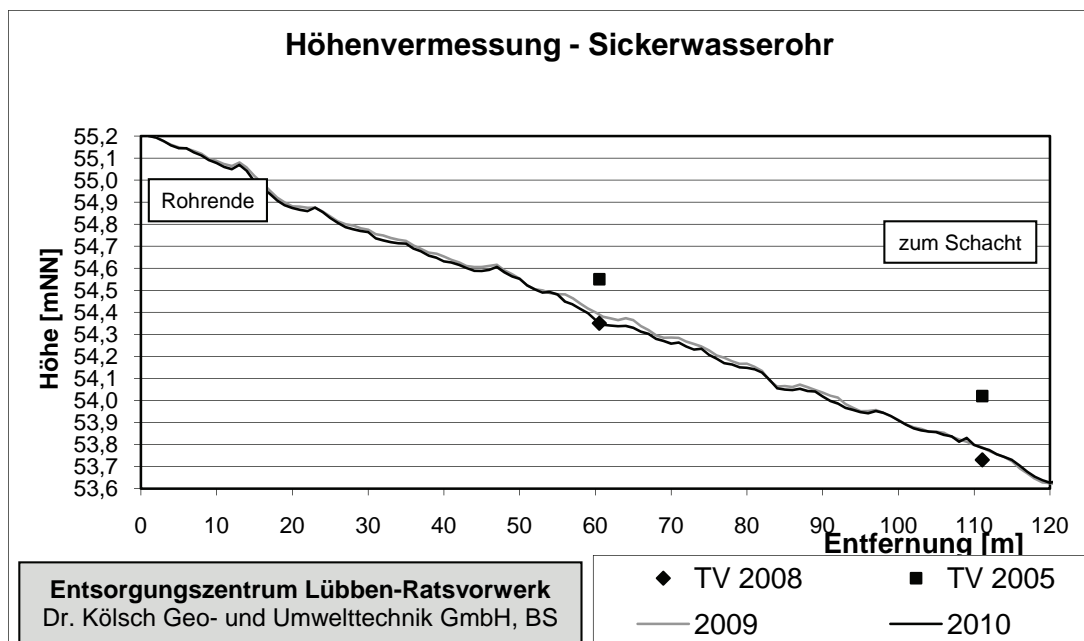


Abbildung 12: Höhenvermessung Deponie Lübben

Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass die TV-Neigungsmessungen bis maximal 50 cm über oder unter der tatsächlichen Höhenlage liegen, obwohl die Ergebnisse über Anfangs- und Endpunktkorrektur abgeglichen wurden. In Abbildung 12 ist zu erkennen, dass bei Station 110 m (von 220 m Gesamtlänge) der Fehler zwischen - 8 cm und + 23 cm liegt. Der Gesamtfehler der Neigungsmessung entspricht etwa 0,2 % (bezogen auf die Neigung). Damit lassen sich gerade noch Aussagen zum hydraulischen Verhalten ableiten, das Setzungsverhalten kann nicht beurteilt werden. Tatsächlich treten am Standort bislang nur geringe Setzungen (unter 2 cm) auf.

Bei den im Mittelgebirgsbereich errichteten Deponien zielt die Setzungsmessung auch auf die Bewertung der Standsicherheit ab. Die häufig in steilem Gelände errichteten Deponien weisen hinsichtlich der Standsicherheit ein erhöhtes Gefährdungspotential auf. Die bei Hangdeponien für (unzerkleinerten) Siedlungsabfall regelmäßig maßgebliche kritische Gleitfigur umfasst den gesamten Deponiekörper, ein für Boden typischer Böschungsbruch (Bruchmuschel im vorderen Böschungsbereich) tritt nicht auf. Ein drohendes Abrutschen des gesamten Deponiekörpers auf einer Gleitschicht im oder oberhalb des anstehenden Untergrundes (Basisabdichtung) kann - wenn überhaupt - durch Setzungsbeobachtung am Hangfuß (Abbildung 13: Pfeil) erkannt werden.

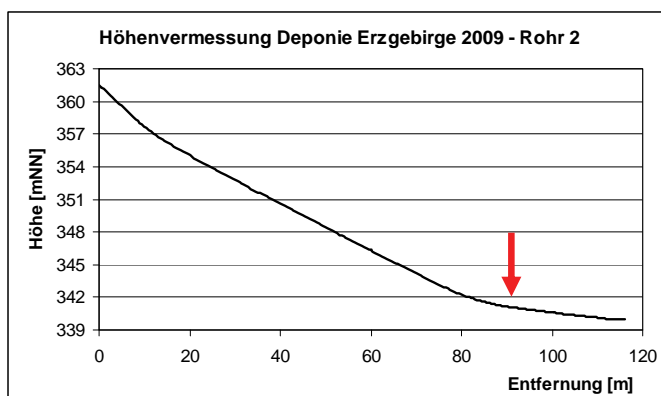


Abbildung 13: Deponie am Erzgebirge - Ansichten und Höhenlage der Sickerwasserleitung

Abbildung 13 zeigt verschiedene Ansichten einer Deponie am Erzgebirge. Die Deponie ist in einer Talklinge als Hangdeponie errichtet worden. Die Basisabdichtung hat im Feldbereich eine Neigung von 20 %, am oberen Ende ist sie noch steiler. Am Hangfuß beträgt die Neigung um die 5 %.

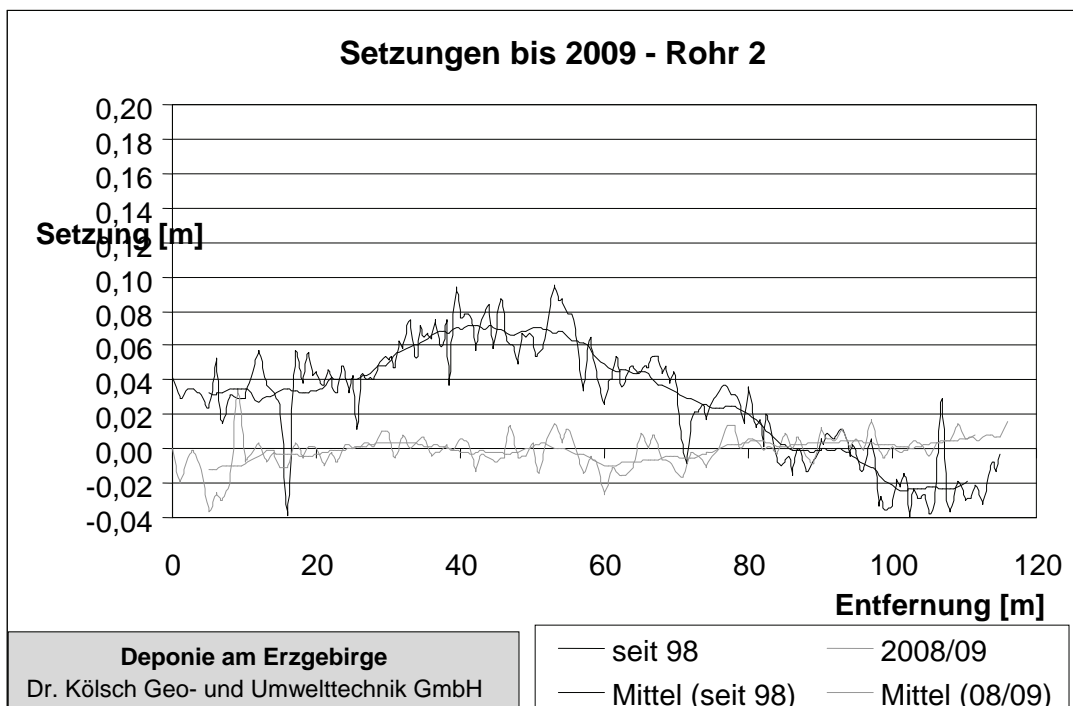


Abbildung 14: Deponie am Erzgebirge - Setzungsverhalten

Der gesamte Höhenunterschied liegt bei 21,5 m. Messtechnisch stellt die Deponie für die Hydrostatik wegen des Höhenunterschiedes aus verschiedenen Gründen (Messgenauigkeit, Stationierungsfehler) eine Herausforderung dar. Seit 1998 wird die Höhenlage der Sickerwassersammler jährlich vermessen. Abbildung 14 fasst die Entwicklung der Setzungen zusammen. Die Auswertung zeigt, dass die Gesamtsetzungen zwischen 1998 und 2009 maximal 6 cm betragen, aktuell (2008-09) sind keine Setzungen aufgetreten. Im Hangfußbereich sind die langfristigen Setzungen gleich Null, möglicherweise ist die Rohrlage etwas höher als im Ursprungszustand. Das ist jedoch schwierig zu bewerten, da sich die Ergebnisse im Grenzbereich der Messunsicherheit bewegen.

6 Monitoringkonzepte

Das Monitoringkonzept für die Setzungsüberwachung sollte sich an der Setzungsempfindlichkeit des Standortes orientieren. Hierbei sind Untergrundeigenschaften und Belastungen (Ablagerungsmassen und Aufbaugeschwindigkeit) maßgeblich. Bei tragfähigem Untergrund kann in erster Abschätzung je 5 m Deponieerhöhung eine Messung empfohlen werden, dabei sollte eine Messachse je 1,5-2 ha vermessen werden. Bei wenig tragfähigem Untergrund sollten höhere Anforderungen gestellt werden (eine Messung/je 2-3 m Deponieerhöhung, eine Messachse je Hektar). In geschlossenen Deponiebereichen sollte der ursprüngliche Messumfang in den ersten 3-5 Jahren aufrechterhalten werden, danach sollte der Turnus anhand der Zeit-Setzungs-Kurven angepasst werden. Auf Messungen ohne ausreichende Messgenauigkeit, die nur der Vervollständigung der Berichte zum Ablagerungsverhalten dienen, sollte generell verzichtet werden, da diese Informationen eher zur Verwirrung beitragen und eine sachgerechte Beurteilung der Setzungen wie auch die Abstimmung eines adäquaten Messkonzeptes behindern.

7 Literatur

TA Siedlungsabfall	1993	3. allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz, BMU
TA Abfall	1991	2. allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz
Deponieverordnung	2009	Verordnung über Deponien und Langzeitlager, BMU
Kölsch	1998	Vergleichsmessungen an verschiedenen Deponien – Messergebnisse und Verfahrensvergleich. In: Rodatz (Hrsg.): Entwicklungen im Deponie- und Dichtwandbau, Mitteilung des IGB, TU Braunschweig, Heft 56:

Anschrift des Verfassers

Dr.-Ing. Florian Kölsch
 Dr. Kölsch Geo- und Umwelttechnik GmbH
 Gliesmaroder Straße 100
 D-38106 Braunschweig
 Telefon +49 531 2094133
 Email: office@dr-koelsch.de
 Website: www.dr-koelsch.de

