

# **Setzungsmessungen an Hausmülldeponien - Konsequenzen für den Bau von Oberflächenabdichtungen und für die Beanspruchung der Dichtungselemente**

Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Christoph Lehnert, Lübeck

1. Einführung
2. Deponie
3. Oberflächenabdichtung
4. Meßsystem, Ergebnisse und Auswertung
5. Beanspruchung der Dichtungselemente
6. Schlußfolgerungen

## 1. Einführung

Dieser Beitrag knüpft an den Vortrag des Verfassers über „Langfristige Setzungsmessungen an der Oberfläche der Deponie Damsdorf“ an (14. Fachtagung *Die sichere Deponie*, SKZ am 26./27.02.1998). Dargestellt wurde dort zunächst die Abschätzung der Vertikalverformungen als Ausgangsgrößen in der Planungsphase der Oberflächenabdichtung. Mitgeteilt wurden weiterhin die Ergebnisse der in der Bewirtschaftungsphase durchgeführten langfristigen Setzungsmessungen, die in Verbindung mit der mathematisch-statistischen Auswertung einer Prognose der Verformungen im Endzustand dienten. Die gewählte Näherungsfunktion sowie die Parameterermittlung für verschiedene Deponiebereiche wurden erläutert.

Im vorliegenden Beitrag wird zunächst die Vorgehensweise und zeitliche Staffelung der Arbeiten bei der Schließung der Deponie vorgestellt, die auf die zu erwartenden Restverformungen der Oberfläche abgestimmt wurde. Im Zuge der Herstellung der Oberflächenabdichtung wurden Meßeinrichtungen für eine detaillierte Überwachung ausgewählter Deponiebereiche eingebaut. Sowohl während der Bauphasen als auch nach Fertigstellung der Abdichtung wurden Messungen über bisher jeweils ca. 2 Jahre vorgenommen, deren Ergebnisse vorgestellt werden. Im weiteren werden aus den Messungen die Beanspruchungsgrößen für die Dichtungselemente Mineralische Dichtung und Kunststoffdichtungsbahn abgeleitet.

## 2. Deponie

Im Jahr 1979 hat der Kreis Segeberg im nördlichen Kreisgebiet bei der Ortschaft Damsdorf in einer ehemaligen Kiesgrube seine Zentralmülldeponie errichtet. Die Basis der 17 ha großen Ablagerungsfläche liegt auf einem Niveau von NN+39 m (Urgelände auf NN+55 m). Eine Oberflächengestaltung wurde in Form mehrerer Hügel mit einer Neigung von 1:10 bis auf der Höhe von etwa NN+70 m festgelegt; die Randneigungen der Hügel betragen ca. 1:3.



Abb. 1: Zentralmülldeponie Damsdorf/Tensfeld, Kreis Segeberg 1997

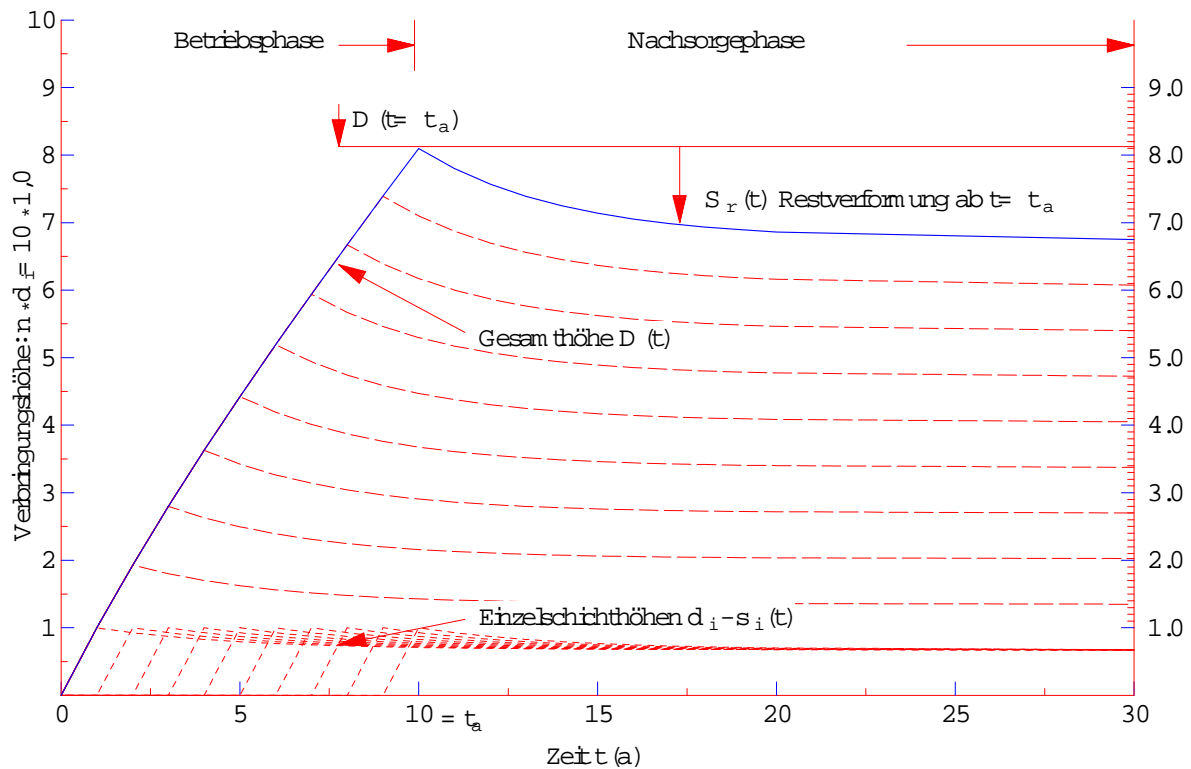
Während der Betriebszeit von 1980 bis 1993 wurden annähernd gleichmäßige Gewichtsanteile von ca. 40 % Hausmüll, ca. 50 % hausmüllähnlichem Gewerbemüll sowie ca. 10 % Bauschutt und Sperrmüll aus dem Entsorgungsgebiet (Kreis Segeberg, Stadt Norderstedt

und z.T. Hamburg) eingelagert. Die Gesamtmenge der im Laufe von 13 Jahren verbrachten Abfälle beträgt ca. 2.400.000 Mg.

Schon zu Beginn der Bewirtschaftung wurden erhebliche Setzungen des Abfallkörpers festgestellt. Zur Gewährleistung der einwandfreien Ableitung des Oberflächenwassers nach Deponieschließung sollte besonderes Augenmerk auf eine dauerhafte und kontrollierbare Oberflächenabdichtung gelegt werden. In Anbetracht der zu erwartenden Setzungen ergab sich der Bedarf an einer möglichst genauen Erfassung der zeitlichen und räumlichen Verformungsvorgänge. Die darauf basierenden Prognosen sollten die Verfüllung mit dem Ziel optimieren das planfestgestellte Volumen voll auszunutzen und nach Abschluß der Deponie das Abfließen des Oberflächenwassers sicherzustellen.

Zunächst wurden Messungen durchgeführt und einzelne Schichtsetzungen abgeschätzt. Mit Schichtenmodellberechnungen (Abb. 2), die sich aus der Überlagerung der Einzelschichten ergeben, wurde die erforderliche Überhöhung der Abfallverbringung in Abhängigkeit von der Verfüllungsgeschwindigkeit bemessen und schließlich im Jahre 1988 planfestgestellt.

Abb. 2: Schichtenmodell für die Verformungsprognose der Oberfläche



Auf den so weit aufgefüllten Hügelkuppen der Deponie wurden Meßpunkte eingerichtet und in den folgenden Betriebsjahren 1989 – 1996 beobachtet (Meßperiode 0). Die Ergebnisse der bis zu 6 Jahre umfassenden Meßreihen wurden gemäß o.a. Schichtenmodell mit einer Approximationsfunktion der Form

$$S_r(t) / D = S_{r,o} + S_{r,t} \cdot (1 - e^{-\beta \cdot t}) \quad (-)$$

mathematisch- statistisch untersucht, um die Beträge sowie den zeitlichen Verlauf der Restverformungen zu bestimmen ( $S_{r,\infty} / D = S_{r,o} + S_{r,t}$ ).

Die ermittelten Parameter der Näherungsfunktion für jeden Meßpunkt (Hügel) sind in der nachstehenden Tabelle 1 aufgeführt:

Meßpunkt	Verformung	Anfangswert	Zeitwert	Gesamtwert	Konstante
		$S_{r,o}$ (%)	$S_{r,t}$ (%)	$S_r$ (%)	$\beta$
Hügel Ia		1,8	14,7	16,5	0,61
Hügel Ib		1,0	11,7	12,7	0,40
Hügel Ic		0,1	12,5	12,6	0,43
Hügel IIa		0,7	07,4	08,1	0,89
Hügel IIb		3,2	10,0	13,2	0,51
Hügel IIc		1,6	12,0	13,6	0,38
Schichtenmodell	$n=10, t_a=10$	0,0	16,7	16,7	0,25

Tab. 1: Ergebnisse der Approximationen (Parameter)

Aufgrund der somit möglichen Extrapolationen waren nach Verfüllung der Deponie noch Restverformungen von bis zu 3 % der Füllhöhe (30 m) zu erwarten, d.h. ca. 1 m Setzung. Durch folgende Arbeiten im Zusammenhang mit der Schließung der Deponie wurden diese Verhältnisse jedoch gestört, so daß mit höheren Restverformungen zu rechnen ist:

- Umlagerung von Abfällen in z.T. mehreren Metern Mächtigkeit
- Unterbrechung der laufenden Entgasung über mehrere Monate

### 3. Oberflächenabdichtung

Gemäß Planfeststellungsbeschuß war auf der Deponie eine Oberflächenabdichtung nach TA- Siedlungsabfall einzubauen. Zur Sicherstellung einer langfristigen Funktionstüchtigkeit sollte nach Möglichkeit ein Teil der Restverformungen vor Aufbringen der endgültigen Dichtung abgeklungen sein. Aus diesem Grunde wurde der Abdichtungsbau wie folgt gestaffelt:

Deponiephase		Jahr	1980 - 1993	1993 - 1995	1996	1997	1998	1999	2000	ab 2001
Bewirtschaftung										
Prognosephase (Meßperiode 0)	N									
	S									
Mineralische Dichtung (Abdichtung Phase 1)	N									
	S									
Ruhephase (Meßperiode 1)	N									
	S									
Kunststoffdichtungsbahn (Abdichtung Phase 2)	N									
	S									
Nachsorgephase (Meßperiode 2)	N									
	S									

Abb. 3: Zeitablauf der Oberflächenabdichtungsmaßnahmen

In der Phase 1 der Abdichtungsarbeiten wurde zunächst die Umlagerung der Abfälle in verdichteten Lagen von ca. 50 bis 70 cm vorgenommen (Nordhälfte der Deponie in 1996, Südhälfte in 1997). Aus der Kenntnis des Verformungsverhaltens wurden diese Umlagerungsmengen vornehmlich auf den Hügelkuppen eingebracht um soweit wie möglich sicherzustellen

len, daß die absolute Restsetzung der Kuppen immer größer ist als die der dazwischen liegenden Mulden damit eine Dehnung der Dichtungselemente vermieden wird.

Der Bauablauf folgte räumlich dem früheren Verbringungsablauf, damit in den zuletzt verfüllten Abschnitten noch Verformungen abklingen konnten während der Einbau der mineralischen Dichtung schon begann. Aufgrund der Verdichtungsanforderungen an das Auflager der mineralischen Dichtung und der minderen Tragfähigkeit der Abfälle erwies es sich als notwendig, die Ausgleichsschicht aus Kiessand in einer Stärke von 70 cm herzustellen. Die mineralische Dichtung selbst wurde anschließend mit insgesamt 60 cm Stärke in 3 Lagen je 20 cm aufgebracht. Dafür wurde ein Geschiebemergel steifer Konsistenz verwendet, der mit einer 30 bis 40 cm starken Schutzschicht aus Sand abgedeckt und begrünt wurde.



Abb. 4: Einbau der Ausgleichsschicht und der mineralischen Dichtung

Im Anschluß an diese erste Bauphase wurde je Deponiehälfte eine zweijährige Ruhephase eingeschaltet, die zur meßtechnischen Beobachtung genutzt wurde (Meßperiode 1).

Phase 2 der Abdichtungsarbeiten (Nordhälfte der Deponie in 1999, Südhälfte in 2000) umfaßte zunächst den Abtrag der Schutzschicht und darauf folgend die erneute Aufarbeitung der obersten Lage der mineralischen Dichtung in einer Stärke von 20 cm. Unmittelbar im Anschluß daran wurde in den schmal gehaltenen Arbeitsabschnitten die Kunststoffdichtungsbahn sowie die endgültige Entgasungseinrichtung eingebaut. Die Kunststoffdichtung wurde schließlich mit einer 30 cm starken Entwässerungsschicht versehen und mit 100 cm dickem Rekultivierungsboden abgedeckt.



Abb. 5: Mineralische Dichtung und Einbau der Kunststoffdichtungsbahn 1999



Abb. 6: Mineralische Dichtung und Einbau der Kunststoffdichtungsbahn 2000

#### 4. Meßsystem, Ergebnisse und Auswertung

Nach Anhang G der TA-Siedlungsabfall und TA-Abfall wird für die Nachsorgephase gefordert die Funktionsfähigkeit des Abdichtungssystems der Deponieoberfläche regelmäßig zu kontrollieren. In diesem Zusammenhang ist die jährliche Ermittlung der Systemverformungen durchzuführen und mit den entsprechenden Prognosen zu vergleichen.

Im Unterschied zur Verformungsprognose aufgrund punktueller Messungen in möglichst ausgedehnten Zeitreihen ist zwischen den Bauphasen (Meßperiode 1) und in der Nachsorgephase (Meßperiode 2) eine Kontrolle der setzungsempfindlichen Abdichtungssysteme als detaillierte Bauwerksüberwachung notwendig. Dabei müssen die Meßsysteme möglichst direkt am Untersuchungsobjekt (d.h. auf dem Dichtungssystem) installiert werden und die örtlich und zeitlich lückenlose Datenerfassung in den kritischen Bereichen gestatten. Daher sind linienförmige Meßsysteme vorteilhaft weil bei diesen eine hohe Detailgenauigkeit wirtschaftlich vertretbar erreicht werden kann.

Bereits für die Meßperiode 1 wurden linienförmige Meßprofile auf der mineralischen Dichtung als Meßpegel eingebaut und regelmäßig eine Satellitenvermessung (GPS) durchgeführt. Die Meßgenauigkeit liegt bei ca. 1 cm. Insgesamt wurden 17 Regelmeßlinien in den kritischen Bereichen angeordnet, d.h. an den Rändern im Übergang zum Urgelände und in den Mulden zwischen benachbarten Hügeln. Die Anordnung der Meßlinien ergibt sich aus Abb. 7.



Abb. 7: Lageplan der Deponieoberfläche mit 17 Regelmeßlinien

In der Meßperiode 1 zwischen den Bauphasen bestanden die Meßpunkte aus einfachen Holzpflocken mit Fußplatten, die unmittelbar auf der Oberkante der mineralischen Dichtung gesetzt waren.

Für die Meßperiode 2 wurden verzinkte Stahlrohre eingebaut, die mit gelenkiger Konstruktion an PEHD- Platten verschraubt wurden. Die PEHD- Platten selbst sind an die Kunststoffdichtungsbahn angeschweißt.



Abb. 8: Regelmesslinie für Meßperiode 2

Aus den Meßperioden liegt somit jeweils eine Meßreihe für jede Regelmesslinie vor, die im Falle der Meßperiode 1 abgeschlossen ist und für die Meßperiode 2 in der Nachsorgephase laufend aktualisiert wird. Im folgenden werden für drei charakteristische Regelmesslinien (siehe Lageplan auf Abb. 7) die Ergebnisse aufgetragen und erläutert.

In den dargestellten Setzungs- Zerrungs- Diagrammen zeigt die Abszisse die Meßpunkte der Linie mit unmaßstäblichem Abstand (Station oder Punkt- Nr.). Die rechte Ordinate zeigt die Setzung (m), ihr ist das Liniendiagramm zugeordnet. Dagegen ist auf der linken Ordinate der Maßstab für die Zerrung ( $\text{‰}$ ) dargestellt, die sich aus der rechnerischen Höhenverschiebung der Punkte und deren Abstand im Meßzeitraum ergibt. Die Zerrungen zwischen den Meßpunkten sind als Balkendiagramm dargestellt, wobei die Stauchungen negativ und die Dehnungen positiv definiert sind.

**Regelmesslinie 01:** Die Meßlinie liegt an der Westböschung der nördlichen Deponiehälfte im Übergang der Kuppe von Hügel Ia zum Urgelände (ältester Deponiebereich). In den 26 Monaten der Meßperiode 1 wurden hier Setzungen von 1,5 cm (Rand) bis zu 20,6 cm (unterhalb der Kuppe) ermittelt. Daraus läßt sich eine mittlere Setzungsrate von ca. 0,8 cm / Monat errechnen. Dehnungen treten hier im Randbereich praktisch nicht auf, die maximale lokale Stauchung der Dichtung beträgt ca. 6,5  $\text{‰}$  (Abb. 9).

Während der Meßperiode 2, also seit August 1999 (Abb. 10), wurden in 25 Monaten Setzungen von 1,5 bis 20,3 cm erhalten, die ebenfalls zu einer mittleren Setzungsrate von 0,8 cm / Monat führen. Ein nennenswertes Abklingen der Verformungen ist somit noch nicht zu ver-

zeichnen. Die maximale lokale Stauchung ist mit ca. 3,8 ‰ jedoch deutlich geringer als in der Meßperiode 1.

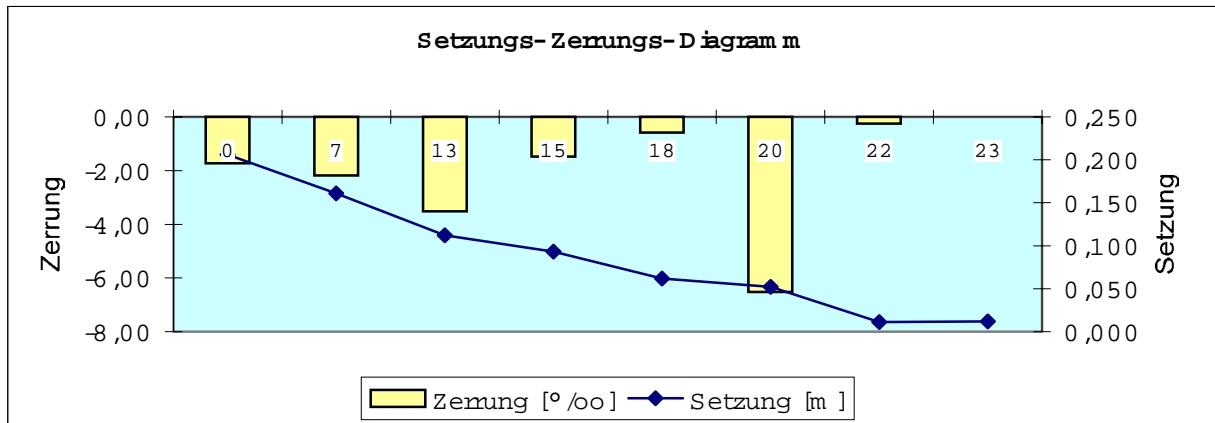


Abb. 9: Regelmeßlinie 01 – Ergebnisse Meßperiode 1 (27.01.1997 – 25.03.1999)

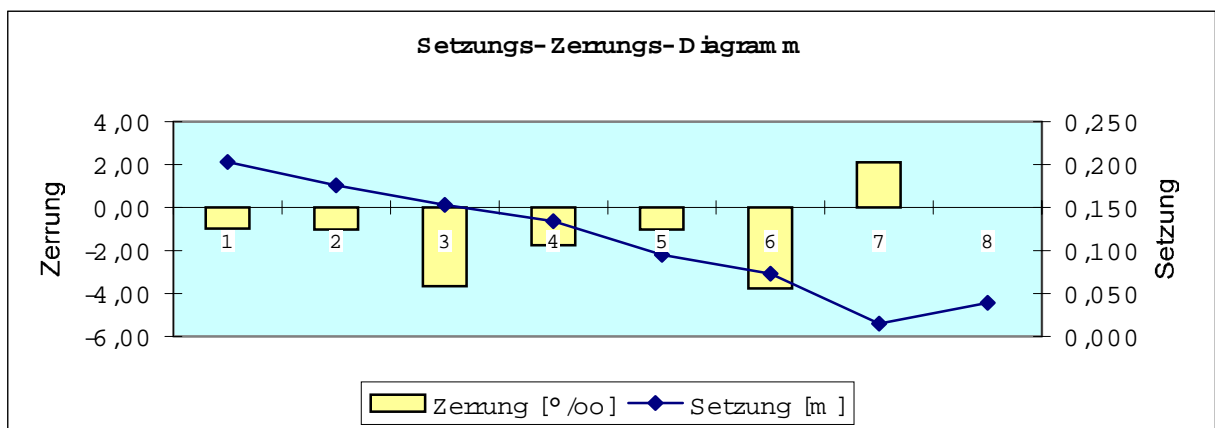


Abb. 10: Regelmeßlinie 01 neu – Ergebnisse Meßperiode 2 (24.08.1999 – 02.10.2001)

**Regelmeßlinie 02:** Diese Meßlinie wurde in der Mulde zwischen den Kuppen der Hügel Ia und Ib, also ebenfalls im ältesten Bereich der Ablagerung angeordnet. Die Sattellage der Meßlinie bedingt erwartungsgemäß ein gleichmäßigeres Verformungsverhalten mit Setzungen von 14,1 bis 21,5 cm innerhalb von 26 Monaten in Meßperiode 1 und entsprechend mittleren Setzungsraten von 0,5 bis 0,8 cm / Monat. Aus diesen Verschiebungen resultieren lokale Dehnungen von bis zu 0,56 ‰ und Stauchungen von bis zu 0,39 ‰.

In der laufenden Meßperiode 2 wurden Setzungen von 5,4 bis 7,4 cm in 15 Monaten und Setzungsraten zwischen 0,4 und 0,5 cm / Monat bestimmt, die damit gegenüber Meßperiode 1 schon deutlich vermindert sind. Somit sind auch die Zerrungen geringer ausgefallen, sie liegen bei Dehnungen von bis zu 0,11 ‰ und Stauchungen von bis zu 0,06 ‰.

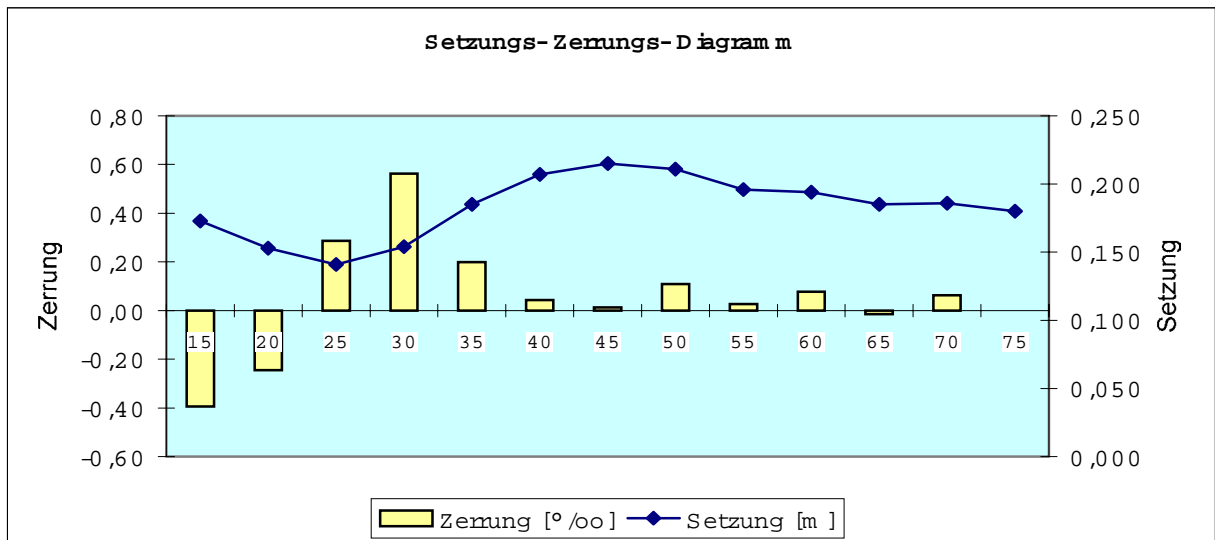


Abb. 11: Regelmeßlinie 02 – Ergebnisse Meßperiode 1 (27.01.1997 – 25.03.1999)

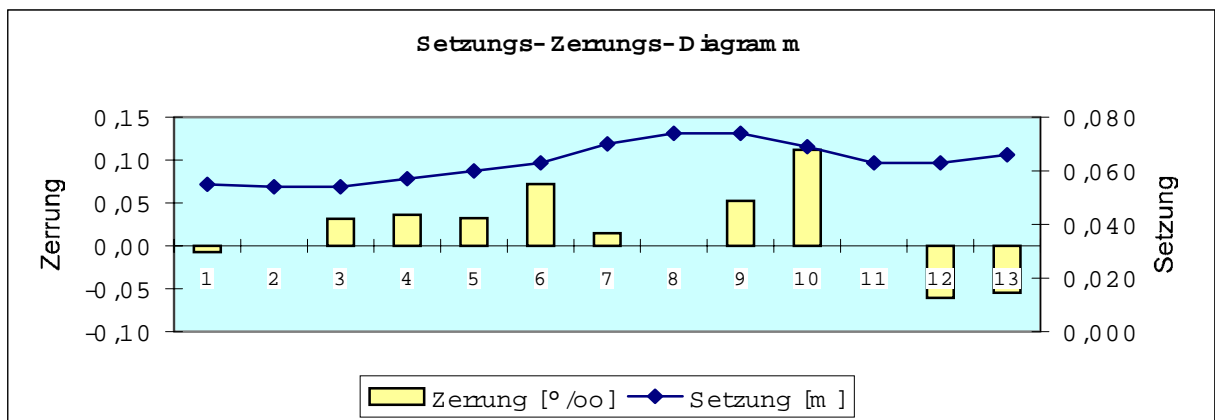


Abb. 12: Regelmeßlinie 02 neu – Ergebnisse Meßperiode 2 (11.07.2000 – 02.10.2001)

**Regelmeßlinie 15:** Die Regelmeßlinie liegt in der Mulde zwischen den Kuppen der Hügel Ib und Ic. In den Flächen Ic wurden noch bis zur Schließung der Deponie Abfälle verbracht und es wurden auch Profilierungsarbeiten (Umlagerungen) erforderlich.

Entsprechend diesen Voraussetzungen sind relativ große Verformungen zu erwarten, die mit Setzungen von 18,4 bis 37,6 cm innerhalb von 23 Monaten in Meßperiode 1 und somit vergleichsweise hohen Setzungsraten von 0,8 bis 1,6 cm / Monat auch eingetreten sind. Aus diesen Vertikalverformungen sind aber nur lokale Dehnungen von bis zu 0,06 ‰ zu berechnen, die als sehr gering bezeichnet werden können. Die Stauchungen betragen bis zu 0,74 ‰.

Im Laufe der Meßperiode 2 wurden Setzungen von 3,9 bis 5,8 cm in 7 Monaten und gegenüber Meßperiode 2 sehr viel geringere Setzungsraten zwischen 0,6 und 0,8 cm / Monat bestimmt. Auch die Zerrungen sind günstig zu beurteilen, sie liegen bei Dehnungen von bis zu 0,01 ‰ und Stauchungen von bis zu 0,03 ‰.

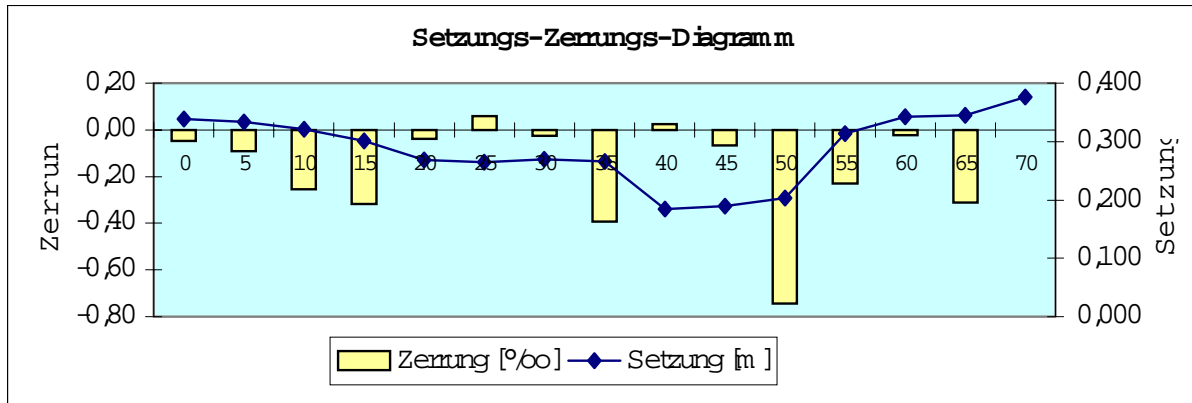


Abb. 13: Regelmeßlinie 15 – Ergebnisse Meßperiode 1 (09.12.1997 – 08.11.1999)

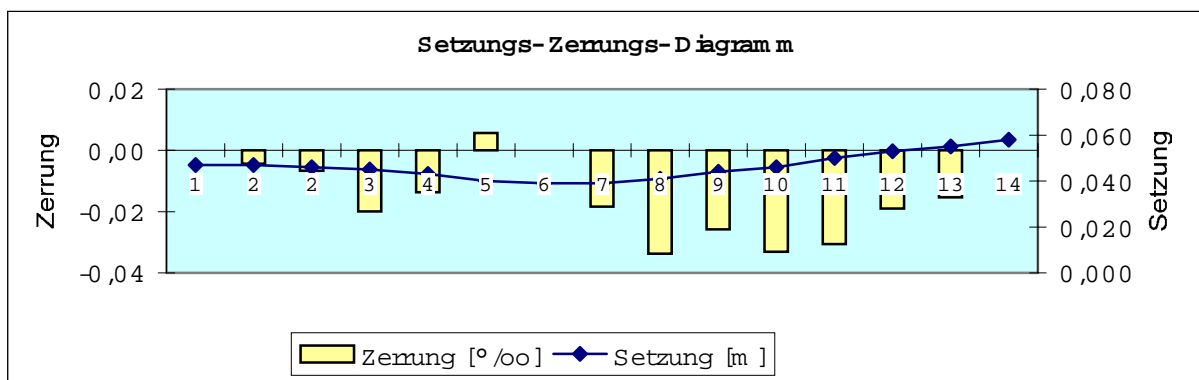


Abb. 14: Regelmeßlinie 15 neu – Ergebnisse Meßperiode 2 (27.02.2001 – 02.10.2001)

## 5. Beanspruchung der Dichtungselemente

Die während des Betriebes (Meßperiode 0) gemessenen und in dieser Zeit prognostizierten Verformungen mit örtlich unterschiedlichen Beträgen und zeitlichen Verläufen lassen ungleichmäßige Relativverformungen zwischen benachbarten Bereichen der Deponieoberfläche erwarten. Unterschiedliche Restsetzungen können zu Unverträglichkeiten im Abdichtungssystem durch lokale Zerrungen und ggf. zum Versagen der Dichtungselemente führen.

Grundsätzlich werden mineralische Dichtungen und Kunststoffdichtungsbahnen von Verformungen beansprucht, weil sie sich im eingebauten Zustand nicht durch Ausweichen dieser Beanspruchung entziehen können. Kunststoffdichtungsbahnen aus PEHD können vergleichsweise große Stauchungen und Dehnungen ohne Beschädigung aufnehmen, sofern diese nicht sehr kleinräumig auftreten. Die infolge der Verformungen entstehenden Spannungen bauen sich im Laufe der Zeit durch Relaxation wieder ab.

Mineralische Dichtungen können im Vergleich zu Dichtungsbahnen aus definiertem Material aus sehr unterschiedliche Mineralkombinationen zusammengesetzt sein, so daß zunächst jedes Dichtungsmaterial ein anderes zeitabhängiges Spannungs- Verformungs- Verhalten aufweist. Generell erfolgt bei zeitlich andauernder Stauchung eine Konsolidierung, d.h. die Abgabe des freien Porenwassers unter der neuen Belastung; dabei wird der dieser Spannung entsprechende Porenwasserüberdruck abgebaut. Der elastische Anteil der Verformung ist gering. Im konsolidierten Zustand trägt allein das Korngerüst des Materials.

Auf Dehnungen reagiert mineralisches Material grundsätzlich anders, weil das Korngerüst nicht mehr die tragende Funktion übernimmt. Eine Zugfestigkeit ist bei mineralischen Böden überhaupt nur vorhanden, wenn die Materialteilchen durch Haftkräfte (Kohäsion) gehalten

werden können. Diese ist stark abhängig von der Zustandsform und Homogenität des Dichtungsmaterials, also von der optimalen Menge und Verteilung des Wassers im Porenraum.

Für das mineralische Dichtungsmaterial der Oberflächenabdichtung wurde bei der Zentralmülldeponie Damsdorf / Tensfeld ein steifer Geschiebemergel verwendet. In einer Serie von Laborversuchen an ungestörten Proben aus der eingebauten Dichtung wurde für dieses Material eine Grenzzugdehnung von mindestens 2,5 ‰ (und Mittel 3,8 ‰) erhalten.

In der folgenden Abbildung 15 sind die wesentlich Meßdaten und die daraus rechnerisch abgeleiteten Beanspruchungsgrößen zusammenfassend dargestellt. Es wird ersichtlich, daß die Grenzzugdehnung der mineralischen Dichtung in keinem Fall erreicht wurde und noch deutliche Sicherheitsabstände vorhanden sind. Mit der in Meßperiode 2 erkennbar werdenden Tendenz zu geringeren Setzungsraten werden auch die Zerrungen vom Betrag her kleiner und ausgeglichener.

Regelmeßlinie	Meßperiode	Dauer (Monate)	Setzungen (cm)		Setzung (cm/Monat)		Zerrung (‰)	
			min	max	min	max	Stauchung	Dehnung
01 – Kuppe Ia, Randlage	1	26	1,2	20,6	0,0	0,8	<b>6,52</b>	-
01 – neu	2	25	1,5	20,3	0,0	0,8	<b>3,76</b>	-
02 – Mulde Ia – Ib, Sattellage	1	26	14,1	21,5	0,5	0,8	<b>0,39</b>	<b>0,56</b> < 2,5
02 – neu	2	15	5,4	7,4	0,4	0,5	<b>0,06</b>	<b>0,11</b> < 2,5
15 – Mulde Ib – Ic, Sattellage	1	23	18,4	37,6	0,8	1,6	<b>0,74</b>	<b>0,06</b> < 2,5
15 – neu	2	7	3,9	5,8	0,6	0,8	<b>0,03</b>	<b>0,01</b> < 2,5

Abb. 15: Verformungsmessungen und Beanspruchung der Dichtungselemente

Gleichwohl zeichnet sich schon ab, daß die prognostizierten Endverformungen wahrscheinlich überschritten werden, denn eine Setzungsrate von 0,8 cm / Monat entspricht etwa 0,32 % der Füllhöhe / Jahr. Somit muß davon ausgegangen werden, daß noch ca. 3 bis 5 % der Füllhöhe, d.h. ca. 0,9 bis 1,5 m Vertikalverformung, in den kommenden 20 Jahren eintreten werden.

Sofern sich die Beanspruchungen der Dichtungselemente jedoch wie bisher verhalten sind verformungsbedingte Schäden trotz großer Setzungen nicht zu erwarten.

## 6. Schlußfolgerungen

Die bei der Zentralmülldeponie Damsdorf / Tensfeld vorgenommene zeitliche Staffelung der Oberflächenabdichtung mit Rücksicht auf die noch zu erwartenden Restverformungen der Deponieoberfläche hat sich aus mehreren Gründen bewährt. Zum einen konnte in dem ge-

samten Zeitraum von ca. 3 Jahren bis zur endgültigen Abdichtung ein großer Teil der umlagerungsbedingten zusätzlichen Verformungen abklingen. Zum anderen bestand durch die meßtechnische Überwachung in der Ruhephase die Möglichkeit lokale Störungen im Bedarfsfall ohne unverhältnismäßig großen Aufwand zu sanieren.

Folgende Punkte sind für die Errichtung von Oberflächenabdichtungen zu beachten:

- in der Betriebsphase sollten schon Abfallverformungen gemessen werden um Ausgangswerte für die Planung der Oberflächenabdichtung zu erhalten
- Steuerungsmöglichkeiten der Verformungen durch Wahl / Sortierung der Abfallarten oder Vorbehandlung sollten genutzt werden
- Abfallumlagerungen sollten auch unter Verformungsgesichtspunkten geplant werden um Dehnungen der Dichtungselemente zu vermeiden
- die Überwachung und Auswertung der Oberflächenverformungen in Linienprofilen ist erforderlich um sinnvolle Aussagen zur Beanspruchung der Dichtung treffen zu können

DGEG (Hrsg.): Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ - GDA, 2. Auflage, Berlin 1993, fortgeschrieben

DIN (Hrsg.): Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln  
DIN V 4019-100: Baugrund / Setzungsberechnungen, April 1996  
DIN 4107: Setzungsbeobachtungen an entstehenden und fertigen Bauwerken, Januar 1978

Lehners, C.: Sachberichte zu den Verformungen der Zentralmülldeponie Damsdorf/Tensfeld und der 1. Erweiterung, 1985 bis 2002

Lehners, C. et al.: Verformungen von Deponiekörpern Müll und Abfall, 29.Jg., H.7, 1997

Lehners, C.: Langfristige Setzungsmessungen an der Oberfläche der Deponie Damsdorf, 14. Fachtagung *Die sichere Deponie*, SKZ Würzburg 1998

### Autor

Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Christoph Lehners,  
Dr.-Ing. Lehners und Dipl.-Ing. Wittdorf  
Ingenieurbüro für Geotechnik  
An der Dänischburg 10  
23569 Lübeck  
Telefon: 0171 / 855 30 73 e-mail:Lehners@geo-technik.com