

## **E 2-24 Setzungsprognosen für nicht bodenähnliche Abfälle**

Stand: GDA 1997

### **1 Allgemeines**

Bei bodenähnlichen körnigen Abfällen nach E 1-8 werden die zu erwartenden Setzungen aus Spannungs-Verformungsuntersuchungen nach E 3-6 abgeleitet. Für Abfallkörper aus Abfällen, die der Gruppe der nicht bodenähnlichen Abfälle zuzuordnen sind oder eine Mischablagerung aus nicht bodenähnlichen und bodenähnlichen Abfällen nach E 1-8 darstellen, ist eine Ermittlung der Setzungen im Vergleich zu Setzungsberechnungen nach DIN 4019 beim derzeitigen Stand der Kenntnisse über die allgemeinen Zusammenhänge nur anhand von Beobachtungen an vergleichbar aufgebauten Abfallkörpern bzw. anhand von Messungen an der betrachteten Deponie entsprechend der Beobachtungsmethode möglich. Hinweise zur Ermittlung von Oberflächensetzungen von solchen Deponien werden in der vorliegenden Empfehlung anhand des Modells einer idealisierten Zeit-Setzungslinie von Deponien gegeben.

Setzungen von nicht bodenähnlichen Abfällen und Mischablagerungen werden durch auflastabhängige Zusammendrückung der einzelnen Bestandteile des Abfalls, durch Verringerung des Porenraumes z. B. infolge von Umlagerung der Bestandteile, durch Zersetzung von Inhaltsstoffen und damit verbundenen weiteren Umlagerungsprozessen der einzelnen Komponenten verursacht [2]. Die Größe dieser Setzungen ist von vielen Einflussfaktoren und Randbedingungen abhängig, z. B. der Zusammensetzung des Abfalls, dem Spannungszustand, dem Wassergehalt, der Einbaudichte, der Zeit, dem Zersetzungsgrad und der Geometrie des Abfallkörpers sowie dem zeitlichen Ablauf des schichtweisen Einbaus. Aufgrund der Vielzahl von Einflussfaktoren und Randbedingungen - die auch häufig unbekannt sind - ist zu erwarten, dass dem Setzungsverhalten jeder Deponie unterschiedliche Verhältnisse zugrunde liegen. Dieses ist bei der Setzungsermittlung möglichst zu berücksichtigen.

Nachfolgend wird zwischen Setzungsabschätzung und Setzungsprognose unterschieden. Mit einer Setzungsabschätzung werden die Setzungen des betrachteten Abfallkörpers durch Übertragung von Erkenntnissen ermittelt, welche an vergleichbaren Deponien oder aus Versuchen gewonnen wurden. Diese Vorgehensweise ist zu empfehlen, wenn keine Messdaten an der betrachteten Deponie vorliegen.

Als Setzungsprognose wird die Ermittlung von Setzungen auf der Basis von Messdaten an der betrachteten Deponie nach E 2-16 bezeichnet. Die Einbeziehung dieser Messdaten gewährleistet, im Gegensatz zur Setzungsabschätzung, die Berücksichtigung der an der betrachteten Deponie maßgebenden Einflussfaktoren und Randbedingungen. In Abhängigkeit des Beobachtungszeitraumes ist ein fließender Übergang zwischen Setzungsabschätzung und Setzungsprognose möglich.

## 2 Idealisierte Zeit-Setzungslinie des Abfallkörpers

Basierend auf Feldmessungen an Betriebs- und Altdeponien [3] wird die Zeit-Setzungslinie von Abfallkörpern, die vorwiegend aus nicht bodenähnlichen Abfällen bzw. aus Mischablagerung bestehen, ab Ende der Auffüllung gemäß Bild 2-24. 1 idealisiert und in drei Bereiche aufgeteilt:

- Auflastabhängige Setzungen  $s_\sigma$  treten mit und kurz nach Aufbringung einer Auflast (z. B. aus einer Oberflächabdichtung) auf. Diese Setzungen sind nach Erfahrungen aus in-situ-Belastungsversuchen und Laborversuchen nach 10 Tagen abgeschlossen. Sie können mit einem spannungsabhängigen Steifemodul  $E_s(\sigma)$  berechnet werden:

$$s_\sigma = \sigma_w \int_0^{H_0} \frac{dz}{E_s(\sigma)} \quad (1)$$

mit  $\sigma_w$  setzungswirksame Spannung

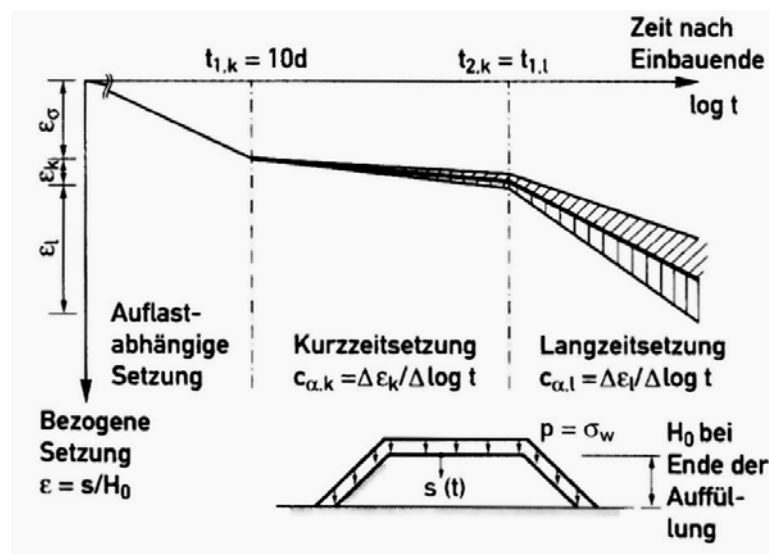


Bild 2-24.1: Idealisierte Zeit-Setzungslinie [3]

- Die Kurzzeitsetzungen  $s_k$ , gekennzeichnet durch einen flachen Verlauf der Zeit-Setzungslinie in halblogarithmischer Darstellung, treten zwischen den Zeitpunkten  $t_{1,k} = 10$  Tagen und  $t_{2,k}$  nach Ende des Einbaus der Deponie ein. Der Zeitpunkt  $t_{1,k} = 10$  Tage berücksichtigt die Tatsache, dass für den Zeitraum unterhalb von 10 Tagen eine Trennung zwischen auflastabhängigen Setzungen und Kurzzeitsetzungen nicht vorgenommen werden kann.

Die Kurzzeitsetzungen können mit Hilfe eines Kurzzeit-Kompressionsparameters  $c_{\alpha,k}$  bestimmt werden:

$$s_k = H_0 \cdot c_{\alpha,k} \cdot \log(t_{i,k} / t_{1,k}) \quad (2)$$

mit  $H_0$  Deponiehöhe bei Ende der Deponierung

$t_{i,k}$  Zeitpunkt nach Ende der Deponierung,  
für den die Kurzzeitsetzung bestimmt  
werden soll

(10 Tage <  $t_{i,k}$  <  $t_{2,k}$ )

$t_{1,k}$  Beginn der Kurzzeitsetzungen  
( $t_{1,k}=10$ Tage)

$t_{2,k}$  Ende der Kurzzeitsetzungen

- Zum Zeitpunkt  $t_{2,k} = t_{1,1}$  nach Ende des Aufbaus des Abfallkörpers der Deponie ist in der halblogarithmischen Darstellung eine Zunahme der Kurvensteigung der Zeit-Setzungslinie erkennbar. Die Setzungen ab diesem Übergangszeitpunkt  $t_{2,k}=t_{1,1}$  werden als Langzeitsetzungen  $s_1$  bezeichnet. Die Ermittlung der Langzeitsetzungen erfolgt mit Hilfe des Langzeit-Kompressionsparameters  $c_{\alpha,1}$ :

$$s_1 = H_0 \cdot c_{\alpha,1} \cdot \log(t_{i,1} / t_{1,1}) \quad (3)$$

mit  $H_0$  Deponiehöhe bei Ende der Auffüllung

$t_{i,1}$  Zeitpunkt nach Ende der Auffüllung,  
für den die Langzeitsetzung bestimmt  
werden soll

( $t_{1,1} < t_{i,1}$ )

$t_{1,1}=t_{2,k}$  Beginn der Langzeitsetzungen

### 3 Setzungsabschätzung

Die Setzungsabschätzung erfolgt auf Grundlage der in Kapitel 2 vorgestellten idealisierten Zeit-Setzungslinie. Die erforderlichen Parameter, Steifemodul  $Es(\sigma)$ , Übergangszeitpunkt  $t_{2,k}=t_{1,1}$  und die Kompressionsparameter  $c_{\alpha,k}$  und  $c_{\alpha,1}$ , sind anhand von Laborversuchen und Feldmessungen an vergleichbaren Deponien abzuschätzen.

### 3.1 Ermittlung des Steifemoduls $E_s(\sigma)$

Der Steifemodul  $E_s(\sigma)$  kann nach E 3-11 durch großmaßstäbliche Kompressionsversuche bestimmt werden. Die Abhängigkeit des Steifemoduls von dem Spannungszustand kann für Spannungen  $\sigma > 50 \text{ kN/m}^2$  näherungsweise linear angenommen werden:

$$E_s [\text{kN/m}^2] = a + b \cdot \sigma [\text{kN/m}^2] \quad (4)$$

Kompressionsversuche an Abfällen unterschiedlichen Alters von verschiedenen Betriebs- und Altdeponien (Mischablagerungen) in Großödometern [1] ergaben Parameter a zwischen -300  $\text{kN/m}^2$  und -100  $\text{kN/m}^2$  und b zwischen 10 und 12 (Tabelle 2-24.1). Diese Ergebnisse gelten für Erstbelastungen.

Tabelle 2-24.1: Auswertung von 21 Kompressionsversuchen im Großödometer an verschiedenen Abfällen [3]

	a $\text{kN/m}^2$	b -
Grundgesamtheit	21	21,0
Mittelwert	-200	11,7
Standardabweichung	206	1,72
obere Grenze des 95%-Vertrauensintervalles	-106	12,5
untere Grenze des 95%-Vertrauensintervalles	-294	10,9

### 3.2 Ermittlung des Übergangszeitpunktes $t_{2,k}=t_{1,1}$

Der Übergangszeitpunkt  $t_{2,k}=t_{1,1}$  wird durch Auswertung von Setzungsmessungen an vergleichbaren Deponien gemäß Bild 2-24. 1 ermittelt.

Eine Auswertung von 24 Feldmessungen an Betriebs- und Altdeponien (Mischablagerungen) [3] ergab Übergangszeitpunkte zwischen 200 und 650 Tagen (Tabelle 2-24.2)

Tabelle 2-24.2: Auswertung von 24 Feldmessungen zur Bestimmung der Kompressionsparameter [3]

	$c_{a,k}$ -	$c_{\alpha,1}$ -	$t_{2,k}=t_{1,1}$ d
Grundgesamtheit	16,000	20,000	20
Mittelwert	0,030	0,102	425
Standardabweichung	0,017	0,077	472
obere Grenze des 95%-Vertrauensintervalles	0,039	0,138	645
untere Grenze des 95%-Vertrauensintervalles	0,021	0,066	204

### 3.3 Bestimmung der Kompressionsparameter $c_{a,k}$ und $c_{\alpha,1}$

Die Kompressionsparameter  $c_{a,k}$  und  $c_{\alpha,1}$  werden durch Auswertung von Setzungsmessungen an vergleichbaren Deponien gemäß Bild 2-24.1 ermittelt.

Die o. a. 24 Feldmessungen von 24 Betriebs- und Altdeponien (Mischablagerungen) [3] mit einem Beobachtungszeitraum von bis zu 27 Jahren ergaben Werte für die Kompressionsparameter  $c_{a,k}$  zwischen 0,02 und 0,04 und  $c_{\alpha,1}$  zwischen 0,07 und 0,14 (Tabelle 2-24.2).

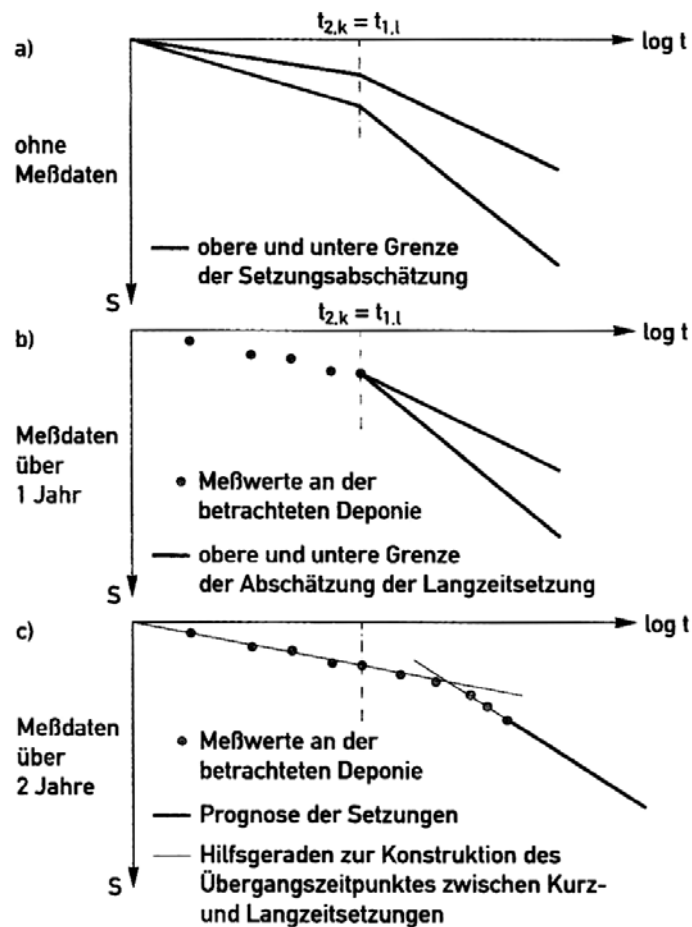


Bild 2-42.2: Setzungsermittlung für einen Abfallkörper mit der Ausgabehöhe  $H_0$  um Zeitpunkt  $t = 0$  ohne Daten aus Setzungsmessungen (Setzungsabschätzung, a), mit Daten aus Setzungsmessungen (Setzungsprognose) über einen Zeitraum von 1 Jahr b) und 2 Jahre c)

## 4 Setzungsprognose

Zur Setzungsprognose werden die Messwerte der Oberflächensetzungen der betrachteten Deponie entsprechend der in Kapitel 2 vorgestellten idealisierten Zeit-Setzungslinie in halblogarithmischer Form aufgetragen, wobei die Zeitachse auf das Ende der Deponierung bezogen ist. Liegt eine Datenbasis über einen ausreichend großen Zeitraum vor, kann der Kurzzeit-Kompressionsparameter  $c_{a,k}$  und später der Langzeit-Kompressionsparameter  $c_{a,l}$  bestimmt werden. Der Zeitpunkt des Übergangs zwischen Kurzzeitsetzungen und Langzeitsetzungen  $t_{2,k}=t_{1,l}$  wird dabei nach den gemessenen Setzungen festgelegt.

Die Vorgehensweise, ausgehend von der Setzungsabschätzung nach Kapitel 3 zur Setzungsprognose mit zunehmendem Beobachtungszeitraum, ist in Bild 2-24.2 schematisch dargestellt.

Ein weiterer Ansatz zur Setzungsprognose wurde in [4] vorgestellt. Dabei wird der zeitabhängige Setzungsverlauf (Kurzzeit- und Langzeitsetzungen) ab dem Zeitpunkt einer Nullmessung durch folgende Gleichung beschrieben:

$$s = s_K \cdot (1 - c_K^t) + s_L \cdot (1 - c_L^t) \quad (5)$$

mit  $s$       Setzung zum Zeitpunkt  $t$   
                   (Setzungsbeginn:  $s_0 = 0$ ,  $t_0 = 0$ )  
 $s_K$       Endbetrag der Kurzzeitsetzung  
 $c_K$       Zeitkonstante der Kurzzeitsetzung  
 $s_L$       Endbetrag der Langzeitsetzung  
 $c_L$       Zeitkonstante der Langzeitsetzung

Die Endbeträge der Kurz- und Langzeitsetzungen sowie die Zeitkonstanten werden aus den Messdaten iterativ ermittelt.

**Literatur zu E 2-24:**

- [1] RICHTLINIEN FÜR DIE BESCHREIBUNG UND BEURTEILUNG DER BODEN-  
VERHÄLTNISSE. Bodenerkundung im Straßenbau. Teil I. Köln:  
Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e. V. 1968.
  
- [2] WIEMER, K.: Qualitative und quantitative Kriterien zur Bestimmung der  
Dichte von Abfällen in geordneten Deponien. Dissertation am  
Fachbereich Abfallwirtschaft, TU Berlin, 1982.
  
- [3] KÖNIG, D., KOCKEL, R., JESSBERGER, H. L.: Zur Beurteilung der  
Standsicherheit und zur Prognose der Setzungen von  
Mischabfalldeponien. 12. Nürnberger Deponieseminar.  
Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstituts, H. 75, 1996.
  
- [4] GERTLOFF, K.-H.: Setzungsanalyse und Setzungsprognosen für eine  
Hausmülldeponie. Müll und Abfall (1996) H. 10, S. 752-766.