

## E 2-16 Setzungs- und Verformungsmessungen bei Deponien

Stand: GDA 1997

### 1 Allgemeines

Die grundsätzlichen Anforderungen an das Mess- und Kontrollprogramm für die Durchführung von Eigenkontrollen bei oberirdischen Deponien in der Betriebs- und Nachsorgephase sind in der TA Abfall, Ausgabe 1991, Anhang G angegeben und gelten auch für die TA Siedlungsabfall, Ausgabe 1993. Hierzu werden in dieser Empfehlung in Anlehnung an DIN 4107 „Setzungsbeobachtungen bei entstehenden und fertigen Bauwerken“ entsprechende Setzungs-Meßsysteme für die Basisabdichtung, den Abfallkörper und die Oberflächenabdichtung angegeben. Zur Auswertung der Messungen für die Nachsorge der Oberflächenabdichtung werden im Sinne der Beobachtungsmethode nach DIN 1054-100 die Anforderungen an die Handlungs- und Reparaturrichtwerte dargestellt.

Außerdem wird dargestellt, wie Deponiegas- und Stauwasser-Messungen in der Rekultivierungsschicht durch Verwendung von Kombinationspegeln mit den Verformungsmessungen kombiniert werden können.

### 2 Meßsysteme und Meßmethoden

Die hier behandelten Setzungen und Verformungen liegen in der Regel über dem Wert von 3 cm, für den im Sinne der DIN 4107 eine relativ geringe Genauigkeitsanforderung für die Messverfahren gilt.

Für Deponien sollte jedoch über die DIN 4107 hinausgehend eine Genauigkeit von 5% des prognostizierten Endwertes der Verformung als maximaler mittlerer Fehler gefordert werden.

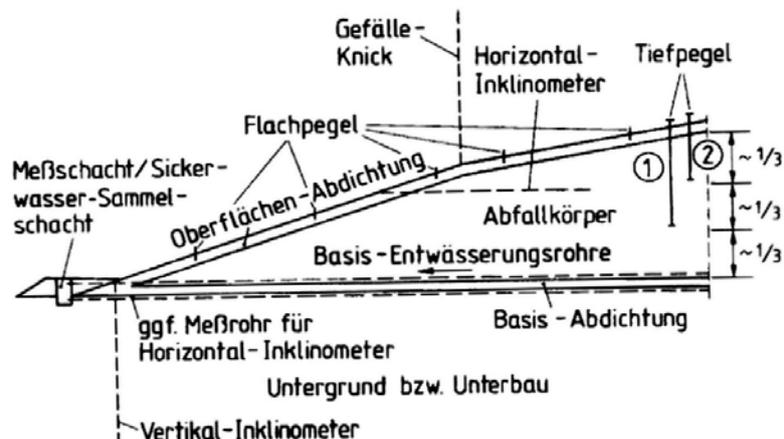


Bild 2-16.1: Anordnung der Mess-Systeme im Deponie-Querschnitt

Bei der Anordnung im Deponiequerschnitt wird zwischen vertikalen und horizontalen Meßsystemen gemäß Bild 2-16.1 unterschieden.

## 2.1 Vertikale Meßsysteme

### 2.1.1 Tiefpegel

Zur Ermittlung der Größenordnung der Abfallkörpersetzungen wird im Sinne der Angaben in Empfehlung E 2-6 vorgeschlagen, im Abfallkörper zwei Setzungstiefpegel bei Erreichen von  $\frac{1}{3}$  bzw.  $\frac{2}{3}$  der geplanten Endhöhe einzubauen (siehe Bild 2-16.1). Zweck dieser Anordnung ist es, aus dem Verformungsverhalten des Abfallkörpers in der Betriebsphase je nach den vorhandenen Abfällen die zeitabhängigen Verformungen der Abfalloberfläche bzw. der Oberflächenabdichtung abschätzen zu können.

Das Tiefpegel-Messraster ist deshalb an dem Abfallkataster bzw. Ablagerungsplan zu orientieren und mit dem geotechnisch qualifizierten Fachmann abzustimmen.

Die Tiefpegel sind entsprechend den rauen Deponiebetriebsbedingungen robust herzustellen. Dazu wird vorgeschlagen, gemäß Bild 2-16.2 ein Stahlbetonplattenfundament von  $1,5 \cdot 1,5 \cdot 0,4$  m mit einbetonierter Stahlplatte von  $80 \cdot 80 \cdot 1$  cm mit an die Stahlplatte angeschweißtem Rohrfuß herzustellen. Das aufgehende Messrohr aus verzinktem Stahl, 3 Zoll, wird in 3 m-Stößen fortlaufend mit der Deponierung verlängert und eingemessen. In einem Abstand von 0,5 m vom Messrohr darf bei der Umschüttung nicht besonders verdichtet werden.

Im Bedarfsfall können am Böschungsfuß ebenso wie innerhalb des Abfallkörpers Vertikal-Inklinometer in handelsüblicher Bauweise eingerichtet und die seitlichen Verformungen beobachtet werden.

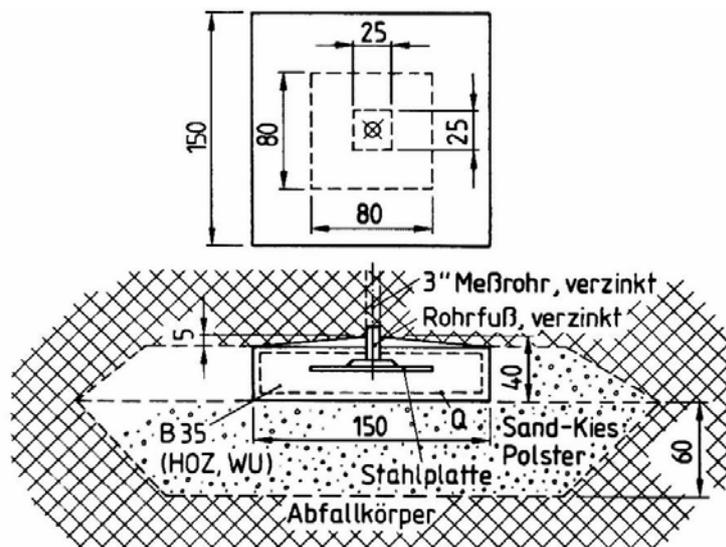


Bild 2-16.2: Beispiel Tiefpegel im Abfallkörper

### 2.1.2 Oberflächenpegel

An den Rändern der einzelnen Felder sind Hilfspegel gemäß Bild 2-16.3 anzuordnen, um das Setzungsverhalten infolge Aufbringung der Flächenbelastungen aus den einzelnen Schichten der Oberflächenabdeckung oder -abdichtung zu erfassen. Für die Hilfspegel genügen 2“-Rohre, die in ein frostfrei gegründetes einfaches Betonfundament einbetoniert werden.

Um erste Aussagen zu den eintretenden Querverformungen für das Oberflächenabdichtungssystem machen zu können, sind von den Hilfspegeln gemäß Bild 2-16.3 stets auch die Koordinaten einzumessen. Durch Vergleich zwischen benachbarten Hilfspegeln lässt sich feststellen, in welchen Bereichen es zu Dehnungen oder Verkürzungen kommt.

Ein wiederholt durchgeführtes Höhenrasteraufmaß für die Planungsebenen gemäß E 2-4, Tabelle 2-4.1, das gemäß E 3-5, Abschnitt 2 für den zerstörungsfreien Schichtdickennachweis z. B. mit einem Raster von 10 -10 m genutzt werden kann, liefert Aussagen über die zeitabhängige Größe und flächenhafte Verteilung der Setzungen im Bauzustand.

Zusammen mit der Fertigstellung der Rekultivierungsschicht der Deponieoberfläche gemäß E 2-4, Tabelle 2-4.1 sind an den Rändern der Baufelder gemäß Bild 2-16.3 so genannte Hauptpegel (Konstruktion z. B. gemäß Bild 2-16.4) in frostfreier Tiefe zu gründen.

Parallel zu dem feldweisen Einbau der Hauptpegel sind Flachpegel innerhalb der Felder in einem Raster von z. B. maximal etwa 30 • 30 m gemäß Bild 2-16.3 einzubauen. Die Flachpegel können ähnlich wie die Hilfspegel, jedoch mit verzinkten 2“-Rohren, eingebunden in ein frostfreies Betonfundament, in der Rekultivierungsschicht gegründet werden. Zusammen mit der ersten geodätischen Einmessung der Hauptpegel und Flachpegel sind die Hilfspegel nochmals einzumessen und können dann abgeworfen werden.

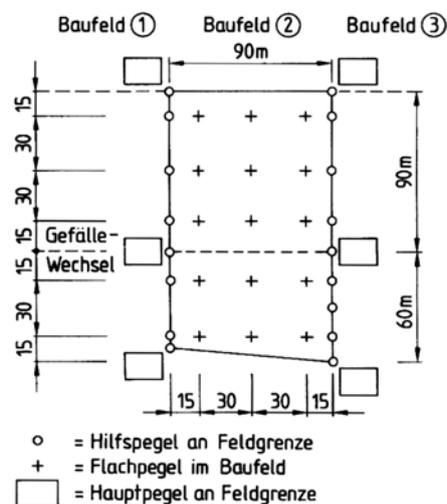


Bild 2-16.3: Beispiel zur Anordnung der Oberflächenpegel in einem Baufeld der Oberflächenabdichtung

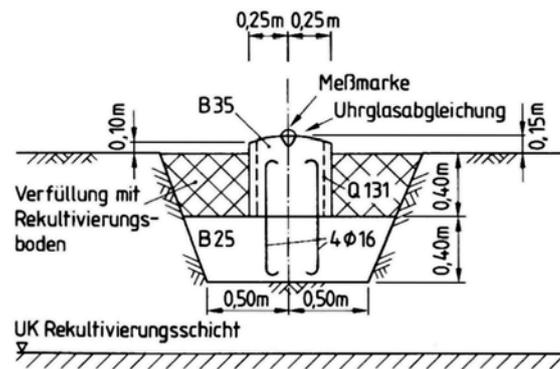


Bild 2-16.4: Beispiel für die Konstruktion eines Hauptpegels der Oberflächenabdichtung

In den ersten drei Jahren nach Fertigstellung der Oberflächenabdichtung sollten die geodätischen Messungen mindestens zweimal pro Jahr, danach einjährig und nach Auswertung und geotechnischer Beurteilung der ersten fünf Messjahre in größeren Zeitabständen durchgeführt werden. Ggf. sind nach dem Ergebnis der laufenden Auswertungen oder dem geotechnischen Bauentwurf bzw. behördlicher Vorgabe andere Messintervalle einzuhalten. Die Messdaten sind zweckmäßig in digitalisierter Form zur Verfügung zu stellen.

Solange noch mit größeren Verformungen gerechnet wird, sollte nur Gras- und Krautbewuchs vorhanden sein, der bedarfsweise gemäht werden kann. Geodätische Messungen können dann in verformungsanfälligen Baufeldern, in denen nach Abschnitt 4 Handlungsbedarf besteht, auf einfache Weise vom Betriebspersonal durch Maßbandkontrolle der Flachpegelabstände in kürzeren Zeitabständen ergänzt werden (Distanz-Meßmethode). Dementsprechend sollten die Abstände der Flachpegel das Rastermaß von 30 m nicht überschreiten, um Messungen mit einem 50 m-Invar-Band jederzeit vornehmen zu können.

Sollen die Flachpegel auch zur Kontrolle der Bodenluft auf Deponiegas und ggf. zur Kontrolle höherer Stauwasserstände in der Rekultivierungsschicht genutzt werden, so können sie gemäß Bild 2-16.5 zweckmäßigerweise als Kombinations-Flachpegel ausgebildet werden. Kombinations-Flachpegel ermöglichen die Messung der Setzungen, der Verformungen an der Pegeloberkante, die Prüfung auf eventuelle Deponiegasaustritte in die ungesättigte Zone mittels Bodenluftprobenentnahme und ggf. die Messung des Stauwasserstandes innerhalb der Rekultivierungsschicht.

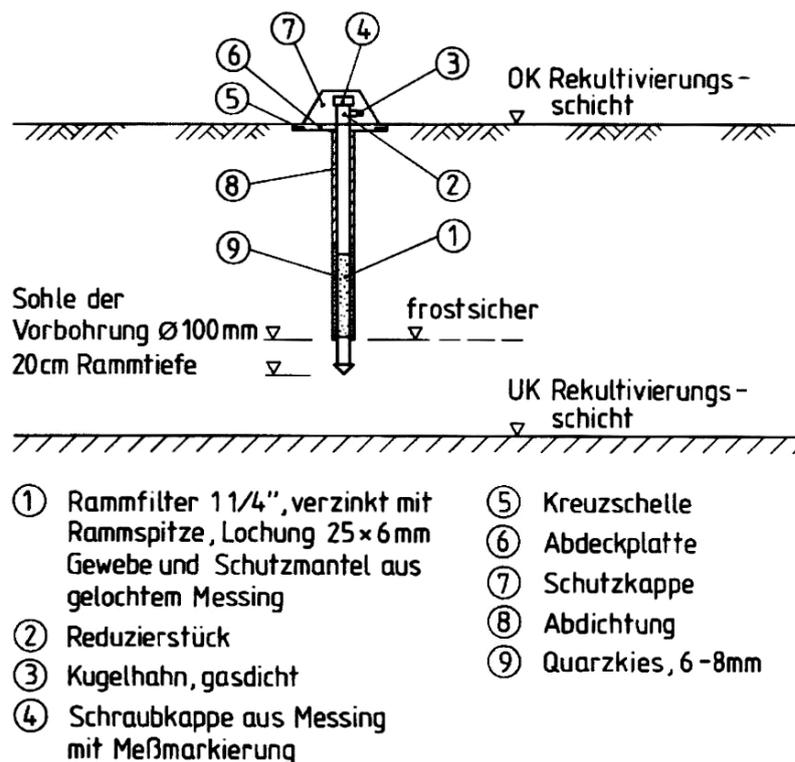


Bild 2-16.5: Beispiel für Flachpegel als Kombinationspegel für die Oberflächenabdichtung

## 2.2 Horizontale Meßsysteme

Für die Messung des Setzungsverhaltens der Basisabdichtungssysteme stehen zunächst die Entwässerungsrohre der Basisentwässerung gemäß E 2-14 zur Verfügung.

Diese Rohre können entweder mit Inklinometersonden oder mit hydrostatischen Sonden (nach dem Schlauchwaagen-Prinzip) befahren werden. Beide Sondertypen können bei der Befahrung mit Temperatursonden gekoppelt werden.

Bei den Inklinometersonden wird aus den gemessenen Neigungsveränderungen der Höhenzustand des befahrenen Rohres ermittelt [1]. Beim Befahren der Rohre mit dem hydrostatischen Messkopf wird die Veränderung des Druckes erfasst und daraus die Höhenänderung abgeleitet. Diese Messsonde kann auch als hydrostatischer Messpegel eingesetzt werden. Sie verbleibt dann im Rohr und das Höhensignal wird zeitgesteuert aufgezeichnet [3]. Nach vorliegenden Erfahrungen ist der Einsatz des hydrostatischen Messverfahrens jedoch auf Temperaturbereiche bis max  $t = 50\text{ °C}$  im Messrohr begrenzt.

Für den Fall, dass das Basisabdichtungssystem auf einer verdichteten und entsprechend profilierten Zwischenschicht erstellt werden soll, kann es geotechnisch zweckmäßig sein, bereits die Untergrundsetzungen infolge Belastung durch die Zwischenschicht zu erfassen. Hierzu können in der Basis der Zwischenschicht Messrohre für Horizontal-Inklinometer eingebaut werden [1]. Darüber hinaus können auch im Bereich der aufgehenden Setzungen Horizontal-Rohre eingebaut und überschüttet werden [1] und [2].

### **3 Auswertung der Messergebnisse**

#### **3.1 Setzungen des Basisabdichtungssystems**

Die Darstellung der Höhenvermessung des Entwässerungrohrsystems gestattet entlang der Entwässerungsrohre eine Darstellung der sich in Abhängigkeit von Untergrund und Lasthöhe einstellenden Setzungsverteilung, insbesondere von Setzungsmulden in den Achsen der Entwässerungsrohre. Durch die räumliche Darstellung mehrerer Entwässerungsachsen werden Setzungsmulden erfasst und dadurch Kontrollen der Krümmungsgradien ermöglicht. Dies gilt insbesondere für Horizontal-Messrohre, die unabhängig vom Entwässerungssystem unterhalb des Basisabdichtungssystems angeordnet sind (s. Bild 2-16.1) [1].

Für den Fall, daß unterhalb des Basisabdichtungssystems eine verbesserte Bodenschicht eingebaut wird, können die aus einer solchen Vorbelastung gewonnenen Setzungsmessergebnisse zur Kalibrierung der Setzungsprognose vor dem Aufbau des Basisabdichtungssystems genutzt werden (siehe auch E 1-5).

#### **3.2 Setzung des Abfallkörpers**

Solange der Abfallkörper noch aufgebaut wird, stehen nur die Messergebnisse der Basismesseinrichtungen und der Tiefpegel im Abfallkörper zur Verfügung. Im Sinne der DIN 4107 sind zum Zeitpunkt der Messungen die Flächenausdehnung und die jeweiligen Deponiehöhen zu protokollieren. Die daraus resultierende Lasthöhe ist zusammen mit den Setzungsmessungen in entsprechenden Zeit-Last- und Zeit-Setzungs-Diagrammen gemäß Bild 2-16.6 darzustellen. Danach ist die Setzungsprognose für den Abfallkörper im Sinne der E 2-6 zu erstellen.

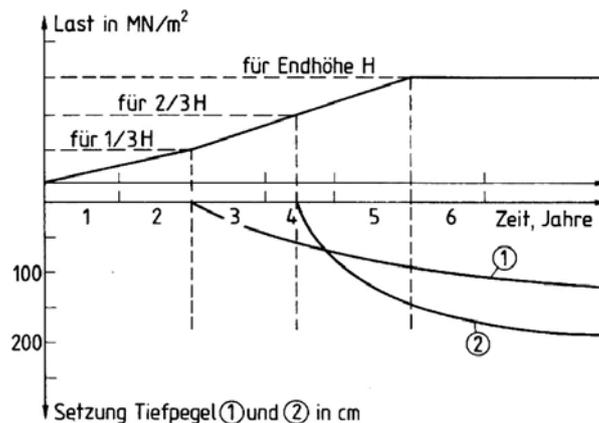


Bild 2-16.6: Beispiel für ein Zeit-Last- und Zeit-Setzungsdiagramm von Tiefpegeln im Abfallkörper

### 3.3 Setzungen und Verformungen des Oberflächenabdichtungssystems

Die Verformungsbeanspruchung des Oberflächenabdichtungssystems resultiert sowohl aus ungleichmäßigen Setzungen als auch aus Querverformungen in Form von Längungen (Zugbeanspruchung) und Verkürzungen (Druckbeanspruchung) der Messpunktabstände.

Für die Auswertung der Messungen empfiehlt sich, die Verformungen bzw. Setzungen und Lageveränderungen der Haupt- und Flachpegel der Oberflächenabdichtung EDV-gestützt dreidimensional darzustellen. Die Verformungsvektoren benachbarter Pegel sind dabei miteinander zu vergleichen; die räumliche Ausbildung von Setzungsmulden ist zu erfassen.

Durch Auswertprogramme, mit deren Hilfe das Auftreten von Zug- oder Druckzonen auch im zeitlichen Ablauf durch Stichtagvergleiche ohne besonderen Aufwand lokalisiert und dokumentiert wird, können Nachsorgeentscheidungen des Deponiebetreibers unterstützt werden [2]. Auffällige Zonen können mit der Distanzmeßmethode nach 2.1.2, ggf. unterstützt durch einfache Setzungsmuldenkontrolle mit Richtschnur und Zollstock, in kürzeren Zeitabständen zusätzlich kontrolliert und deren Ergebnisse in das räumliche Datennetz eingehängt werden.

### 3.4 Deponiegas- und Stauwasser-Messungen mit Kombinationspegeln

Durch regelmäßige Analyse von Bodenluftproben aus den Kombinationsflachpegeln auf auffällige  $\text{CH}_4$ - und  $\text{O}_2$ -Gehalte besteht bei Siedlungsabfalldeponien eine von den geodätischen Messungen unabhängige Kontrollmöglichkeit der Abdichtungswirkung solcher Oberflächenabdichtungssysteme. Das Ergebnis der Messungen des Stauwasserspiegels wird in die Standsicherheitsbetrachtung des Oberflächenabdichtungssystems mit einbezogen.

## **4 Handlungs- und Reparatur-Richtwerte für eine Oberflächenabdichtung**

### **4.1 Allgemeine Grundsätze**

Zur Realisierung der Nachsorge im Sinne der Beobachtungsmethode nach DIN 1054-100 wird bei den Richtwerten wie folgt unterschieden:

- Handlungs-Richtwerte sind Richtwerte, nach deren Überschreitung die Messüberwachung in den auffälligen Bereichen lokal intensiviert werden muss. Gleichzeitig müssen die vorbereitenden Veranlassungen getroffen werden, um ggf. beim Erreichen der Reparatur-Richtwerte die erforderlichen Reparaturen ohne weitere Vorbereitung, d. h. unverzüglich ausführen zu können.
- Reparatur-Richtwerte sind solche, nach deren Erreichen die Reparaturen an dem Oberflächenabdichtungssystem sofort auszuführen sind.

Dazu sind im Bauentwurf parallel zu den Standsicherheitsuntersuchungen nach E 2-6, in Verbindung mit Verformungsuntersuchungen der mineralischen Abdichtungselemente nach E 2-13, Kriterien zu entwickeln, nach denen die Handlungs- und Reparatur-Richtwerte für den Deponiebetrieb anzugeben sind.

Diese Richtwerte beziehen sich auf Verformungen und ggf. Deponiegas- und Stauwassermessungen. Die Abdichtungswirkung der Oberflächenabdichtung kann durch die Ausbildung von Zugzonen gefährdet werden. Dabei ist weniger das Auftreten vertikaler Setzungen sondern das räumliche Verformungsverhalten der mineralischen Abdichtungsschicht in Form von Dehnungen, Stauchungen und/ oder Ausbildung von Setzungsmulden sowie deren zeitliche Entwicklung für die Beurteilung ausschlaggebend. Voraussetzung für die spannungsverformungsabhängige Beurteilung der Abdichtungswirkung ist, dass nicht gleichzeitig Schrumpfrisse auftreten. Dies kann stichprobenartig durch Aufschürfungen bis zur Oberkante der mineralischen Dichtungsschicht überprüft werden.

Die Größe der Richtwerte hängt stets von einer geotechnisch fundierten Einzeluntersuchung ab. Es ist somit Sache des geotechnischen Entwurfs, diese Richtwerte zu erarbeiten und in den ersten drei Beobachtungsjahren aufgrund der Ausweitungen und gemachten Erfahrungen den betrieblichen Belangen der Deponie-Nachsorge anzupassen.

Für die Betriebsplanung wird empfohlen, bereits in den ersten drei Jahren der Nachsorge entsprechendes Fachpersonal zur Einarbeitung in das selbständige Monitoring einzuplanen.

Tabelle 2-16.1: Beispiel Handlungs- und Reparatur-Richtwerte für die Nachsorge einer Siedlungsabfall-Deponie [2]

Richtwerte für	Dehnung	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	Stauwassertiefe
Handlungsbedarf	≥ 2 ‰	≥ 2 %	≤ 15 %	≤ 0,80 m
Reparatur Mineral- abdichtung	Riss > 3 cm in der Rekultivierungsschicht	≥ 5 %	-	-

#### 4.2 Beispiel [2]

Als Beispiel werden gemäß Tabelle 2-16.1 die Richtwerte für eine ertüchtigte Siedlungsabfalldeponie mit bis zu 40 m hohen Böschungen 1:3 und anschließendem Plateau 1:20 angegeben, die aus dem Rissverhalten eines Versuchsfeldes in Verbindung mit der Auswertung von Hilfspegeln gewonnen wurden. Hier ist eine Dicke der Wurzelbodenabdeckung von 1,50 m sowie eine dreitägige mineralische Abdichtung von 0,60 m Gesamtdicke (ohne Flächendrainage und ohne Kunststoffdichtungsbahn) berücksichtigt. Das Flachpegelraster wurde gemäß Bild 2-16.3, die Flachpegelkonstruktion als Kombinationspegel gemäß Bild 2-16.5 vorgesehen.

Aus den Messergebnissen der ersten Jahre werden zusätzlich noch Richtwerte für die zulässigen Krümmungsradien der Setzungsmulden abgeleitet.

**Literatur zu E 2-16:**

- [1] JOLAS, P: Eignung von Bergbaukippen als Deponiebasis – Auswertung von Großversuchen. Kongress „West-Ost-Transfer Umwelt 93“ im Rahmen der Terratec, Fachmesse für Umwelttechnik und Umweltschutz, Kongressteil „Planung, Ertüchtigung und Bau von Deponien“, Leipzig 10./11.03.1993.
- [2] NEFF, H. K. WALTER, H.: Handlungs- und Reparaturrichtwerte für die Nachsorge der Siedlungsabfalldeponie Dreieich-Buchsschlag der Stadt Frankfurt am Main. Unveröffentlichtes Gutachten, ETN Erdbaulaboratorium Tropp-Neff und Partner, Hungen 1991 und unveröffentlichtes EDV-Programm-Paket zur dreidimensionalen Auswertung der Verformungsmessungen 1993.
- [3] KÖLSCH, F., COLLINS, H.-J.: Kontinuierliche Höhenmessung von nicht begehbaren Rohren. Untersuchungen auf Deponien und in Abwasserleitungen. Bauingenieur 67, S.303-305, 1992.