

Potential einer Abfallklassifikation zur Beurteilung von geomechanischen Abfalleigenschaften

Ulrich Langer¹, Neil Dixon²

¹Wasteconsult international, Langenhagen

²Dept. of Civil & Building Engineering, Loughborough University, UK

Potential of a waste classification for the assessment of waste geotechnical properties

Abstract

A meaningful comparison of municipal solid waste mechanical properties is characterised by difficulties, as boundary conditions like composition, component size and shape, and degradation potential (in the long term) have an crucial impact on waste mechanical behaviour. A revised classification is introduced that incorporates the most important factors influencing waste mechanical behaviour. It provides a potential of classifying waste according to its mechanical behaviour. Based on an in-situ sorting analysis of waste a family of synthetic waste was engineered and different synthetic waste compositions were tested for their mechanical behaviour. The results were linked to the classification system and trends related to waste composition and mechanical behaviour were indicated.

Abstract deutsch

Der Vergleich des mechanischen Verhaltens von Siedlungsabfallproben gestaltet sich schwierig, da unterschiedliche Einflußfaktoren, wie Abfallzusammensetzung, Abfallkomponentengröße und -form sowie Abbaubarkeit auf die lange Sicht, das mechanischen Verhalten variieren lassen. Im folgenden ist eine Klassifikation vorgestellt, die die wichtigsten Einflußfaktoren auf das mechanische Abfallverhalten berücksichtigt und so qualitativ eine mechanische Klassifizierung von Siedlungsabfall erlaubt. Basierend auf einer Sortieranalyse wurde ein synthetischer Abfall generiert. Verschiedene Zusammensetzungen dieses Abfalls wurden auf ihr mechanisches Verhalten untersucht. Die Ergebnisse wurden mit dem Klassifikationssystem kombiniert und Trends bezüglich Abfallzusammensetzung und mechanischem Verhalten konnten aufgezeigt werden.

Keywords

Abfallklassifikation, Scherverhalten, Kompressionsverhalten, synthetischer Abfall

Waste classification, shear behaviour, compression behaviour, synthetic waste

1 Einleitung

Die Stabilität einer Deponie und die Integrität ihrer Dichtungs- und Drainagesysteme sind zu einem sehr großen Teil geprägt vom mechanischen Verhalten des Abfallkörpers. Kompressions- und Scherverhalten sind die Hauptmerkmale, mit denen Aussagen über die Mechanik eines Abfallkörpers getroffen werden. Die Variabilität in der Zusammensetzung von Abfall macht es jedoch schwer, mechanische Eigenschaften von Abfäll-

len aus unterschiedlichen Quellen ohne zusätzliche Informationen zu den bodenmechanischen Parametern zu vergleichen, und das mechanische Verhalten von einer Probe auf die andere zu übertragen, um damit Rückschlüsse auf ein repräsentatives Abfallverhalten zu ziehen.

Um Ergebnisse von Untersuchungen aus unterschiedlichen Quellen vergleichen zu können, fehlt es bisher an einer uniformen Basis. Außerdem sind oft die Randbedingungen der Untersuchung (z.B. Versuchsrandbedingung, Abfallzusammensetzung, Abfallkomponentengröße und -form, Scherweg) unbekannt, bzw. nicht angegeben.

Im Folgenden wird die Abfallklassifikation kurz umrissen, die als Vergleichsbasis für Versuchsdaten dienen kann. Ferner werden Versuchsergebnisse aus labortechnischen Scher- und Kompressionstests in Verbindung mit der Klassifikation präsentiert und Trends aufgezeigt.

2 Geotechnische Abfallklassifikation

Die Abfallklassifikation basiert auf den Ergebnissen einer Literaturrecherche. Sie ist so konzipiert, daß die Möglichkeit besteht, jede Abfallart beschreiben zu können, sofern eine Sortieranalyse inklusive Größenverteilung und Formbeschreibung der Komponenten vorliegt. Die Ergebnisse der Literaturstudie, sowie Details der Klassifikation wurden dargestellt in LANGER UND DIXON (2004) und überarbeitet in DIXON UND LANGER (2006). An dieser Stelle seien die wichtigsten Punkte kurz dargestellt.

2.1 Elemente der Abfallklassifikation

2.1.1 Abfallgruppen

Die Abfallmaterialgruppen wurden leicht modifiziert von KÖLSCH (1996) übernommen. Hierbei lag der Schwerpunkt darauf, eine Materialgruppe mit ihren Untergruppen möglichst umfassend, aber dennoch einfach zu beschreiben. Dafür wurden die mechanischen Eigenschaften (Scher-, Zugfestigkeit, Elastizitätsmodul, Bruchdehnung, etc.) von Abfallkomponenten verglichen. Komponenten mit ähnlichen Materialeigenschaften wurden zu einer Gruppe zusammengefaßt. Damit ergaben sich die Materialgruppen, wie folgt:

- | | |
|------------------------------|------------------------------------|
| 1. Organisches Material | 5. Flexibles Kunststoffe |
| 2. Papier und Pappe | 6. Metalle |
| 3. Holz, Leder und Textilien | 7. Mineralische Stoffe |
| 4. Starres Kunststoffe | 8. Mischmaterialien (Feinmaterial) |

2.1.2 Formbezogene Komponenteneigenschaften und Komponentengröße

Die Form einer Abfallkomponente beschreibt oft auch gleichzeitig ihren mechanischen Charakter (z.B. läßt sich eine Kartonbox leicht zusammendrücken, oder dünnes „zweidimensionales“ Papier und Plastikfolie können als Bewehrungselemente dienen). Aus diesem Grund muß die Komponentenform in der Abfallklassifikation berücksichtigt werden. Im Folgenden wird von ein-, zwei- und dreidimensionalen Gruppierungen gesprochen. Hiermit werden nur die vergleichsweise längsten Seiten hervorgehoben, d.h. Papier oder Plastikfolie besitzen im Gegensatz zu ihrer Stärke zwei lange Seiten, aus diesem Grund wird es als zweidimensional definiert. Zur Vereinfachung wurden zwei Basisgruppen gewählt.

- Ein- und zweidimensionale Komponenten
 - Bewehrende Komponenten (z.B. Textilfasern, Plastiktüten und Papier)
- Dreidimensionale Komponenten
 - Kompressible Komponenten
 - a) Leicht zu komprimieren (z.B. Organik, Plastikverpackung)
 - b) Schwer zu komprimieren (z.B. Getränkedosen und Konserven)
 - Inkompressible Komponenten (z.B. Ziegel, Metallstücke)

Die Unterscheidung von leicht und schwer komprimierbaren Komponenten ist notwendig, um Änderungen zu berücksichtigen, die auf zusätzliche Belastungen zurückzuführen sind, die während der Abfallaufbringung durch Verdichtung oder während des weiteren Ablagerungsprozesses durch weitere aufgebrauchte Schichten auftreten. Leicht komprimierbare Komponenten verlieren bei Belastung ihre Form eher als die schwer komprimierbaren Komponenten. Diese vereinfachte Unterscheidung bietet eine Lösung für Kurzzeitbetrachtungen (Einbringung und Verdichtung von Abfällen) und Langzeitüberlegungen (Belastung aus weiteren Abfallschichten und Kriechprozesse). Allerdings kann derzeit die Quantifizierung eines Grenzwertes für die Unterscheidung von leicht und schwer kompressiblen Komponenten nicht realisiert werden, da ungenügend experimentelle Daten zur Verfügung stehen.

Die Definition von bewehrenden Komponenten (ein- oder zweidimensional) muß in Relation zu den umgebenden Komponenten gesehen werden. Eine Komponente hat theoretisch nur dann eine bewehrende Wirkung, wenn sie mit ihrer längsten Seite den nominalen Durchmesser der umgebenden Komponenten überschreitet. Wird der Durchmesser unterschritten, kann die Bewehrungskomponente nicht verankert werden und die für die Bewehrungswirkung wichtigen Zugkräfte (siehe KÖLSCH, 1996) können nicht

generiert werden (Abbildung 1). Daher ist es wichtig, die Größe der Abfallkomponenten zu analysieren, bzw. Komponentengrößenverteilung aufzustellen. Für die Analysegrößen wurde wiederum KÖLSCH (1996) herangezogen: <10mm, 10-40mm, 40-120mm, 120-500mm, 500-1000mm, >1000mm.

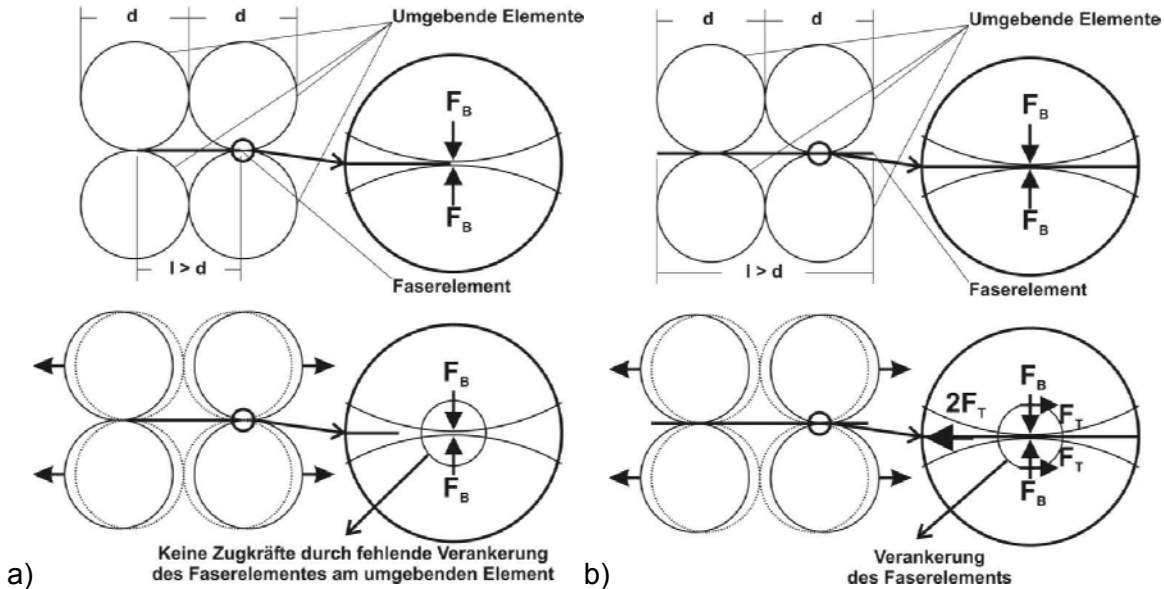


Abbildung 1 Idealisierteres Schema des Bewehrungseffektes a) fehlende Verankerung der Bewehrung und b) verankerte Bewehrung

2.1.3 Abbaubarkeit

Ein weiteres Element der Klassifikation ist die biologische Abbaubarkeit der Komponenten. Um Aussagen über Veränderungen der Abfallkomponenten und verbunden damit über eventuelle Verschiebungen in den Klassifikationsgruppen treffen zu können, ist es notwendig, das Abbaupotential der Komponenten zu kennen. Eine Unterscheidung in schnell, mittelfristig und langfristig abbaubar erscheint sinnvoll. Da die größte Veränderung des Abfalls durch biologischen Abbau hervorgerufen wird, ist in dieser Klassifikation nur der biologische Abbau berücksichtigt. Die Unterscheidung der unterschiedlichen Abbauphasen kann auch direkt den Abfallgruppen zugeordnet werden. Beispielsweise können organische Abfälle (vor allem Küchenabfälle) schneller abgebaut werden als Papier. Eine umfassende Klassifikation sollte dieses berücksichtigen. Zur Bestimmung der Abbaubarkeit existieren unterschiedliche Methoden. Die Bestimmung der Atmungsaktivität erscheint hierfür sehr geeignet.

2.1.4 Klassifikationsprozedur und –Anwendung

Die Abbildungen 2 und 3 demonstrieren die Klassifikationsprozedur sowie die Klassifikationsanwendung. Die Klassifikationsprozedur beinhaltet das Sichten der Abfallkomponenten, die Sortierung in Materialgruppen mit nachfolgender Sortierung in formbezogene Untergruppen sowie die Größenbestimmung der Komponenten. Anschließend

müssen die sogenannten bewehrenden Komponenten auf ihre Funktion in Bezug auf die Komponentengröße erneut anhand des Grössenverhältnisses zwischen bewehrenden und umgebenden Komponenten überprüft werden. Abschließend wird das Abbaupotential der Materialgruppen abgeschätzt bzw. bestimmt (Abbildung 2).

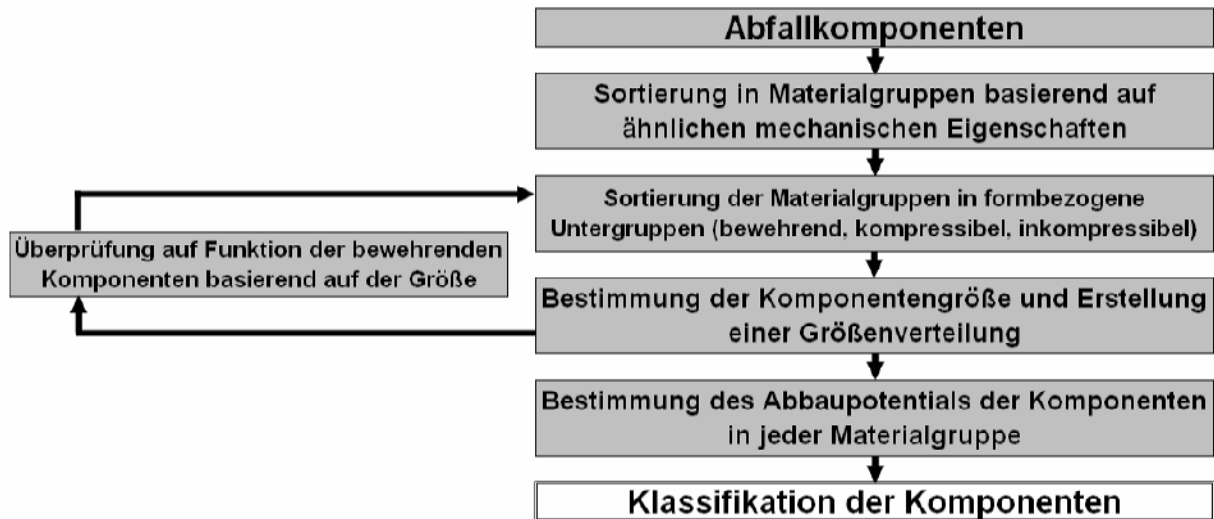


Abbildung 2 Klassifikationsprozedur

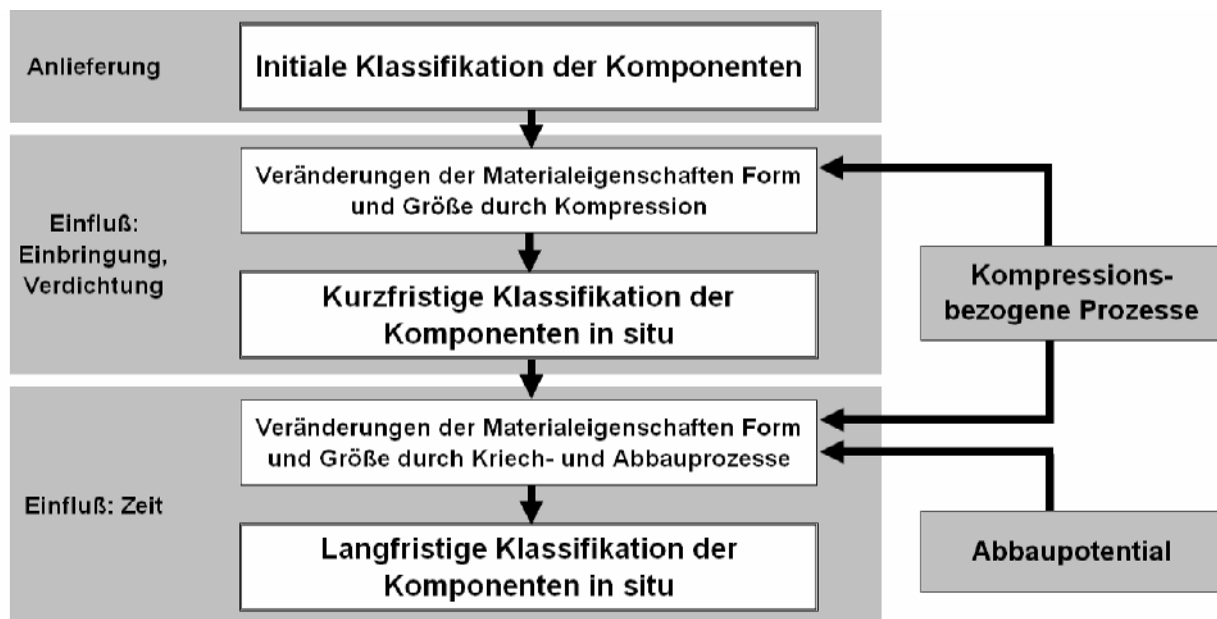


Abbildung 3 Klassifikationsanwendung

Die Klassifikation muß generell gewährleisten, daß die Komponenten je nach Betrachtungsmoment flexibel innerhalb der Klassifikationsmerkmale verschoben werden können. Das bedeutet, daß z.B. aus kompressiblen Komponenten nach Belastung bewehrende, bzw. inkompressible Komponenten werden.

Die Klassifikation kann schrittweise angewandt werden. Abbildung 3 zeigt drei Klassifikationsschritte beginnend mit einer anfänglichen Klassifikation. In dieser Phase befinden sich die Abfallkomponenten in dem Zustand, in dem sie zur Deponie geliefert wer-

den. Der zweite Zustand unterscheidet sich vom ersten durch den Einfluß der Einbringung und Verdichtung. Form und Größe sind durch kompressionsbezogene Prozesse verändert. Der dritte Zustand wird zusätzlich noch durch Abbauprozesse geprägt. Auch hier ändert sich die Größe und Form der Komponenten.

2.1.5 Darstellung der Klassifikationselemente

Die Klassifikationselemente lassen sich in zwei Schritten darstellen. Im Gegensatz zu Bodenarten besitzt Abfall eine große Auswahl an Materialeigenschaften, die die konventionelle Darstellung von Daten erschwert. Zusätzlich ist die Abbaubarkeit ein wichtiger Faktor. Abbildung 4 ist ein Beispieldiagramm für eine beliebige der formbezogene Untergruppe (bewehrend, kompressibel und inkompressibel). Dargestellt ist die Komponentengrößenverteilung eines jeden Materials (Material 1 bis 3) in dieser Untergruppe, berechenbar durch die Subtraktion des vorangehenden und nachfolgenden Materials (siehe Beispiel), und der gesamten Probe. Ferner ist das Abbaupotential jedes Materials in Form von abbaubarer Organik und Inertstoffen in einem Balkendiagramm angegeben. Die Prozentangaben beziehen sich auf 100% der Gesamtprobemasse.

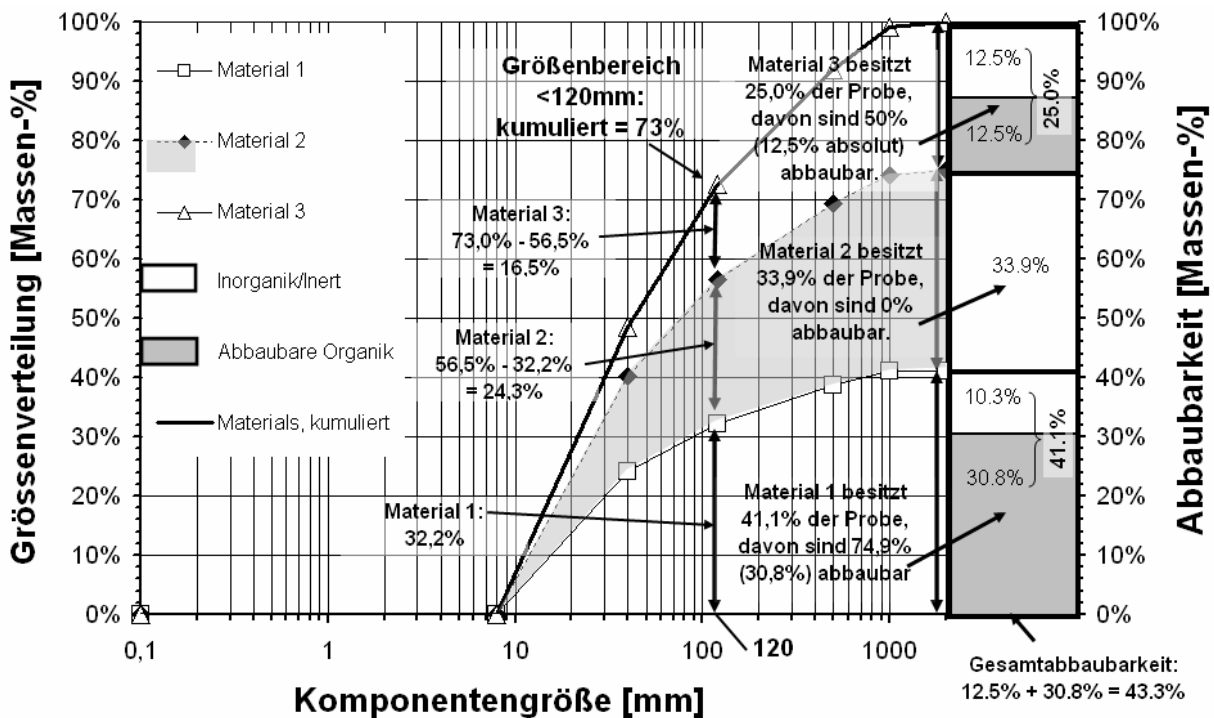


Abbildung 4 Beispieldiagramm für die Darstellung der Klassifikationsdaten

Die Angabe des Abbaupotentials ermöglicht die Einschätzung einer Massenreduzierung eines Materials und folglich auch der Gesamtprobe der formbezogenen Untergruppe. Diese Informationen können beispielsweise dazu verwendet werden, die o.g. Langzeitklassifizierung zu realisieren.

Abbildung 5 zeigt in einem Dreiecksdiagramm das Verhältnis der formbezogenen Untergruppen. Es sind drei verschiedene Zustände von zwei Datensätzen dargestellt: der Initialzustand, der Zustand nach Ablagerung und Verdichtung und der Finalzustand. Die zu Grunde liegenden Daten (für den Initialzustand) stammen von einer Abfallsortieranalyse auf der von SITA geführten Deponie in Narborough, Leicestershire, England, gekennzeichnet mit „N“, und von KÖLSCH (1996), gekennzeichnet mit „K“. Die verbleibenden beiden Zustände basieren auf Annahmen, die die Formveränderung der Komponenten beschreiben (Näheres hierzu in LANGER, 2005).

Es zeigt sich, daß sich das Verhältnis der formbezogenen Untergruppen zu Gunsten der bewehrenden Komponenten im Zustand nach Ablagerung und Verdichtung ändert, und der Anteil der inkompressiblen Komponenten zum Finalzustand ansteigt. Als ein Nachteil sei anzumerken, daß ein Massenverlust in dieser Art der Darstellung nicht ersichtlich ist.

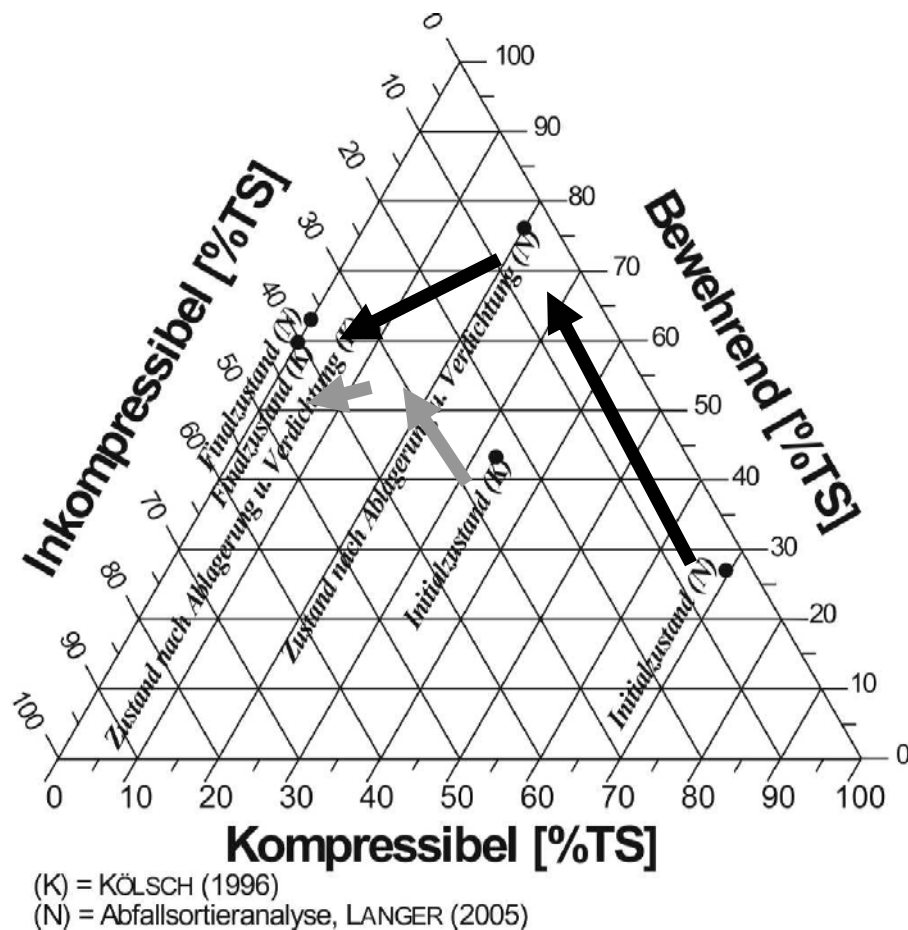


Abbildung 5 Dreiecksdiagramm mit den formbezogenen Untergruppen

3 Laboruntersuchungen

Um zu untersuchen, inwieweit die Klassifikation das mechanische Verhalten von Abfall beschreiben könnte, wurden das Scher- und Kompressionsverhalten von synthetischem

Abfall untersucht. Da realer Abfall üblicherweise nicht in seiner Zusammensetzung kontrollierbar ist, und somit auch die Faktoren, die das mechanische Verhalten von Abfall beeinflussen (siehe DIXON ET AL., 2004) nicht zu steuern sind, wurde ein einfacher synthetischer Abfall generiert. Dabei dienten die Ergebnisse der Sortieranalyse als Orientierungshilfe.

3.1 Synthetischer Abfall

Für den synthetischen Abfall wurden die Größenfraktionen der Abfallzusammensetzung, die sich bei der Abfallsortierung ergaben, zu einer geringen Menge reduziert. Auch die Materialgruppen wurden auf ein Minimum beschränkt. Damit ergab sich eine überschaubare Menge an Material- und Größenvariablen. Verwendet wurden:

- | | | |
|----------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 1. Aluminiumdosen | 2. a)-c)Steife Plastikverpackung | 3. Leighton-Buzzard Sand |
| 4. Textilien | 5. Papier | 6. Flexible Plastiktüten |
| 7. Ziegelbruchstücke | 8. Zerkleinertes Reifengummi | 9. Lehmklumpen (in Folie) |



Abbildung 6 Übersicht der verwendeten Komponenten für den synthetischen Abfall

Mit diesen Komponenten wurden verschiedene Abfallkompositionen erstellt. Generell konnte zwischen vier Kompositionsarten unterschieden werden: Inkompressible Zusammensetzungen (SW_01, SW_06, SW_07, SW_08), kompressible Zusammensetzungen (SW_02, SW_03), Monokomponenten-Zusammensetzungen (SW_04, SW_05) und eine Komposition (SW_09), die die Zusammensetzung von realem Abfall simuliert. Der Einfluß von Wasser wurde nicht untersucht.

3.2 Kompressionstests

Die Kompressionszelle befindet sich in einem mit Stahlplatten versehenen Stahlrahmen. Die Vorderseite besteht aus 35mm starkem Sicherheitsglas, mit dem das Kompressionsverhalten der Probe optisch überwacht werden konnte.

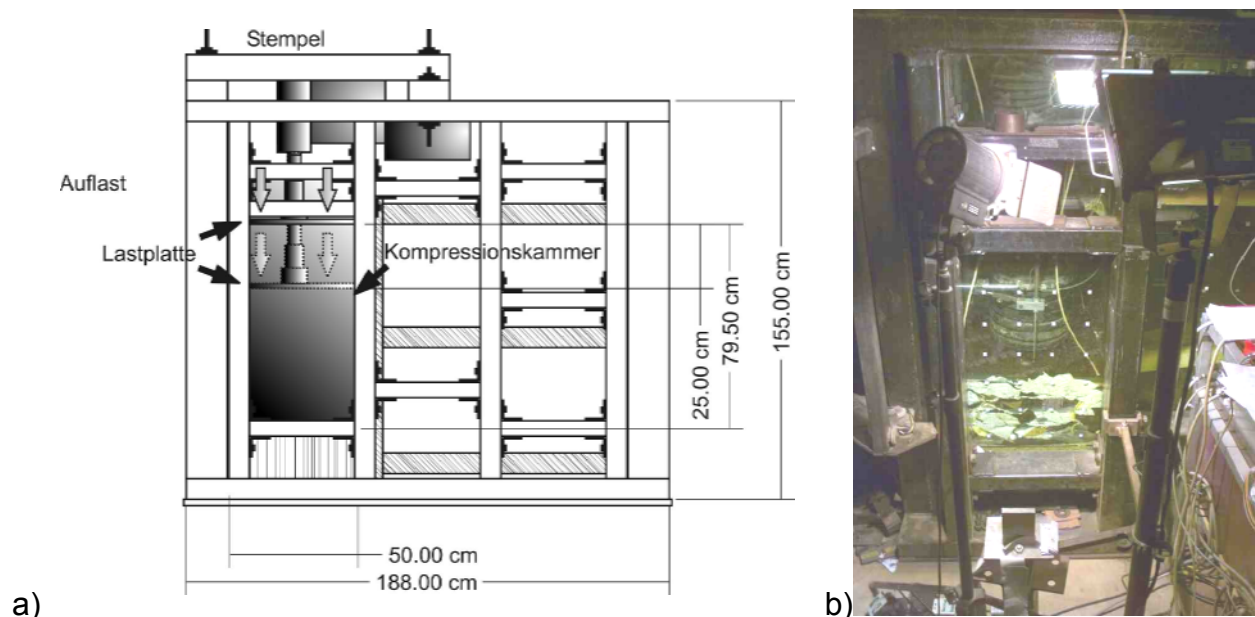


Abbildung 7 Kompressionszelle: a) Schema der gesamten Box b) Überwachungsfenster

Die effektiven Dimensionen der Zelle betragen (l/b/h) 0,5m/0,5m/0,75m. Die Normalkraft wurde mittels eines hydraulischen Stempels aufgebracht. Die Versuche waren Weggesteuert (4-10mm/min). Gemessen wurden die Setzung und die Normalkraft. Digitale Photos wurden in Abständen von 2 bis 5min zur späteren Auswertung aufgenommen.

3.3 Schertests

Das Schergerät in Abbildung 8 wurde vom LIRIGM der Joseph-Fourier-Universität Grenoble bereitgestellt und diente dort zur Untersuchung von Siedlungsabfall (GOTTELAND ET AL., 2000). Es wurde ebenfalls für die Untersuchung freigelegter, „ungestörter“ Proben in-situ eingesetzt (GOTTELAND ET AL., 1995).

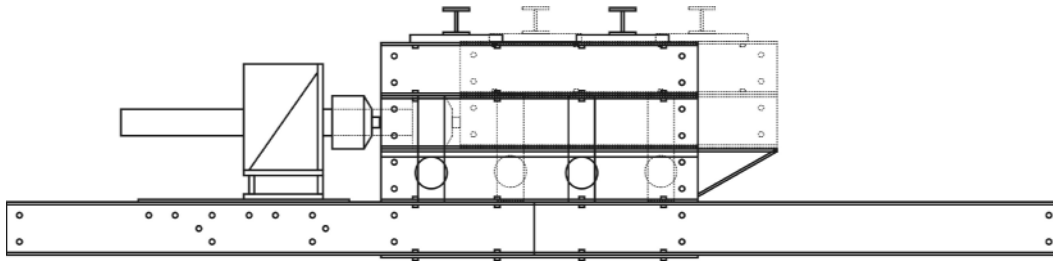


Abbildung 8 Seitenansicht des Groß-Schergeräts des LIRIGM, Grenoble

Die Horizontalkraft wurde durch ein elektrischen Stempel aufgebracht (Schervortrieb ca. 6mm/min), die erforderliche Normalkraft erfolgte durch vier hydraulische Stempel auf der Probe ($\sigma_{\max} = 150\text{kPa}$). Die maximalen Probenabmessungen betragen (l/b/h) 1,0m/1,0m/0,7m. Neben Scherweg und -kraft wurde zusätzlich die Volumenänderung beim Schervorgang gemessen.

4 Ergebnisse

Aus den Daten des Kompressionsversuchs wurde der Steifemodul berechnet. Die Daten des Scherversuches dienen unter anderem dazu den Schermodul zu ermitteln. Generell waren die Ergebnisse des mechanischen Verhaltens von synthetischem Abfall im Bereich von in der Literatur angegebenen Daten wieder zu finden, wie Abbildung 9 zeigt. Die Symbole stellen Literaturwerte dar, die sich über- und unterhalb der GDA-Empfehlung für frische Abfälle (DGGT, 1997) ansiedeln. Dementsprechend wurde eine obere und untere Grenze im Diagramm eingefügt (gestrichelte Linie). Innerhalb dieser Grenzen lassen sich auch die Ergebnisse des synthetischen Abfalls finden.

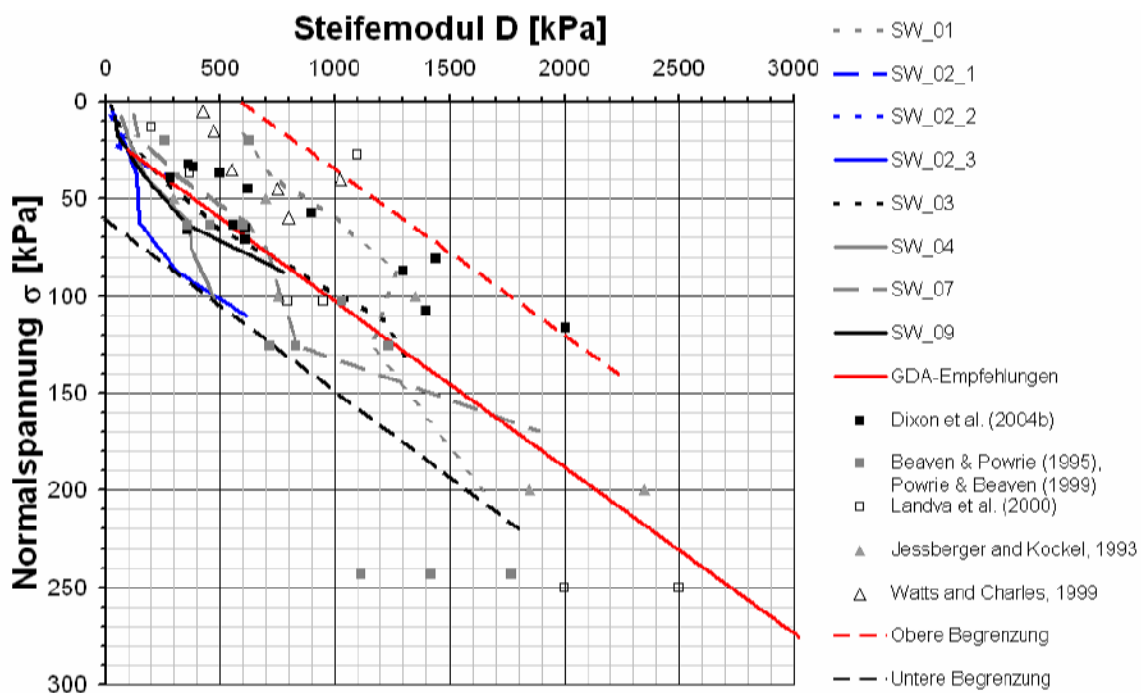


Abbildung 9 Steifemoduli des synthetischen Abfalls und Literaturwerte

Die Ergebnisse für Steife- und Schermoduli sind für die untersuchten Abfallzusammensetzungen in Abhängigkeit der formbezogenen Untergruppen in Abbildung 10 und 11 dargestellt.

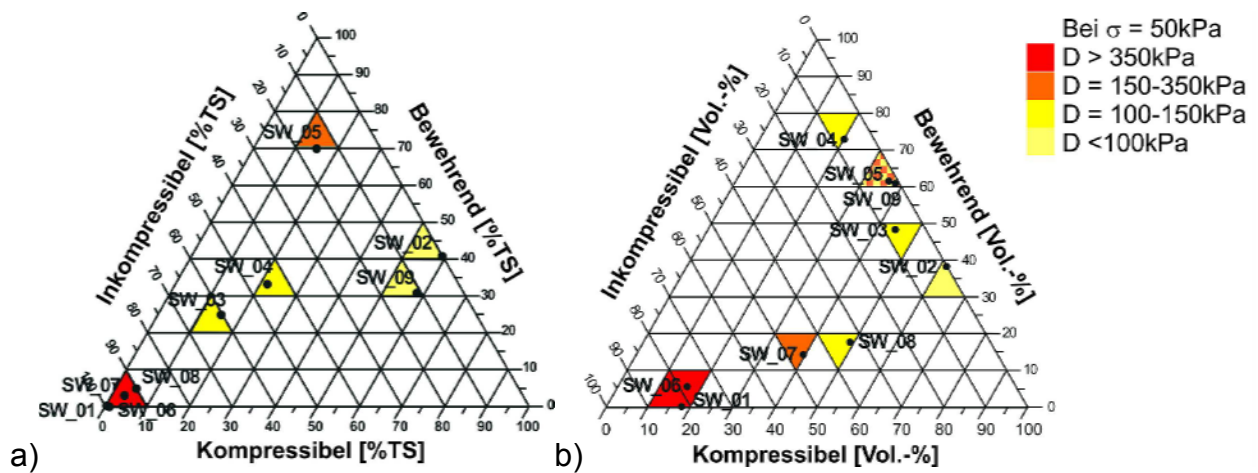


Abbildung 10 Dreiecksdiagramm der Klassifikation und Ergebnisse der Kompressionsversuche

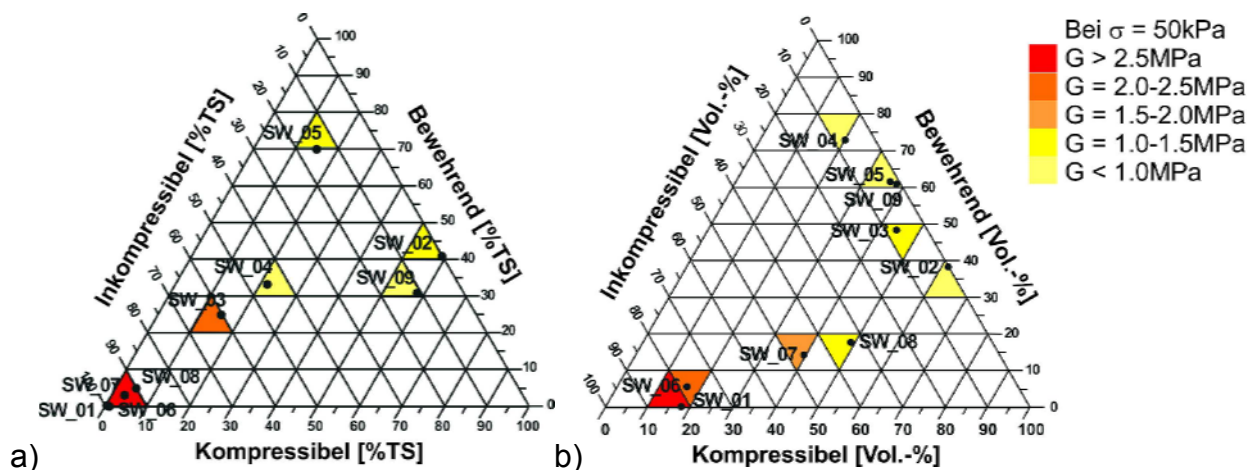


Abbildung 11 Dreiecksdiagramm der Klassifikation und Ergebnisse der Scherversuche

Zwei unterschiedliche Auswertungsvarianten sind abgebildet. Variante (a) bezieht sich auf die Massenverhältnisse, Variante (b) repräsentiert die Volumenverhältnisse dieser Untergruppen. Eine deutlichere Differenzierung ist in Variante (b) vor allem bei den „inkompressiblen“ Kompositionen (SW_01 und SW_06 bis SW_08) sichtbar. Im Allgemeinen ist eine Abnahme bei beiden Modulen mit steigendem Anteil an kompressiblen und bewehrenden Komponenten zu bemerken, während inkompressible Kompositionen mit einem hohen Sandanteil (und dementsprechend hohem Raumgewicht) hohe Scher- und Steifemodule aufweisen.

Zur Zeit basiert die volumenbezogene Auswertung nur auf Annahmen, da das untersuchte Material nicht oder nur teilweise einer Volumenmessung unterzogen wurde. Hier besteht Informationsbedarf.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Ein überarbeitetes Abfallklassifikationssystem wurde zusammenfassend vorgestellt. Dieses kann zum Vergleich von Daten für mechanische Eigenschaften von Abfall (vor allem Scher- und Kompressionsverhalten) aus unterschiedlichen Quellen eingesetzt werden, vorausgesetzt ein ausreichendes Maß an Informationen über die Randbedingungen wie Abfallzusammensetzung, Komponentengrößenverteilung, -form und -abbaubarkeit steht zur Verfügung, d.h. die für die Klassifikation notwendigen Elemente können identifiziert werden.

Die Ergebnisse der Scher- und Kompressionsversuche an synthetischem Abfall resultierten in Wertebereichen vergleichbar mit denen von realem Abfall. Es zeigte sich, daß diese Ergebnisse mit den formbezogenen Untergruppen des überarbeiteten Klassifikationssystems kombiniert werden konnten, um so Tendenzen des mechanischen Verhaltens in Bezug auf die Abfallzusammensetzung aufzeigen zu können. Derzeit basiert die volumenbezogene Betrachtung der Abfallkomponenten noch auf Annahmen, die verifiziert werden müssen. Hierfür wäre eine Untersuchung der Volumenreduzierung der Abfallkomponenten unter Last notwendig.

Auch MBA-Output könnte mit dem Klassifikationssystem beschrieben werden. Da MBA-Output nach der Behandlung eine viel größere Homogenität und Gleichförmigkeit aufweist und gering biologisch aktiv ist, sind jedoch große Verschiebungen innerhalb der formbezogenen Untergruppen wie in Abbildung 5 nicht zu erwarten.

6 Literatur

- | | | |
|--|-------|---|
| Beaven, R.P.,
Powrie, W | 1995 | Hydrogeological and Geotechnical Properties of Refuse Using a Large Scale Compression Cell. 5 th International Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italien, CISA. 745-760 |
| Deutsche Gesellschaft für
Geotechnik (DGGT) | 1997 | Geotechnik der Deponien der Deponien und Altlasten. GDA-Empfehlungen E2-24, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Ernst & Sohn Verlag, Berlin |
| Dixon, N.,
Langer, U. | 2006 | Development of a MSW Classification System for the Evaluation of Mechanical Properties. Waste Management. Vol. 26, Issue 3, 220-232 |
| Dixon, N., Langer, U.,
Gourc, J.P., Gotteland, P. | 2004 | Factors Influencing Shear Behaviour of MSW. Waste 2004, Stratford-Upon-Avon, UK, 591-600 |
| Dixon, N.,
Ng'Ambi, S.
Jones, D.R.V., | 2004b | Structural Performance of a Steep Slope Landfill Lining System. Geotechnical Engineering, 157(GE3), 115-125. |

- Gotteland, P., Gourc, J.P., Aboura, A., Thomas, S., 2000 On Site Determination of Geomechanical Characteristics of Waste. International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne, Australien.
- Gotteland, P., Lemarechal, D., Richard, P. 1995 Analysis and Monitoring of the Stability of a Domestic Waste Landfill. 5th International Landfill Symposium, Cagliari, Italien, 777-787.
- Jessberger, H.L., Kockel, R., 1993 Determination and Assessment of the Mechanical Properties of Waste Materials. 4th International Landfill Symposium, Sardinia, Italy, CISA. 167-177.
- Kölsch, F. 1996 Der Einfluß der Faserbestandteile auf die Scherfestigkeit von Siedlungsabfall, Dissertation, Technische Universität Braunschweig
- Landva, A.O. 2000 Lateral Earth Pressure at Rest and Compressability of Municipal Solid Waste. Canadian Geotechnical Journal, 37(No. 6), 1157-1165.
- Valsangkar, A.J. Pelkey, S.G.
- Langer, U. 2005 Shear and Compression Behaviour of Undegraded Municipal Solid Waste, PhD Thesis, Dept. of Civil & Building Eng., Loughborough University, UK (noch unveröffentlicht)
- Langer, U. 2004 Mechanische Eigenschaften von Siedlungsabfall: Entwicklung eines Klassifikationssystems. Abfallwirtschaftstage, Hannover, 78-93.
- Dixon, N.
- Powrie, W., Beaven, R.P. 1999 Hydraulic Properties of Household Waste and Implication for Landfills. Proceedings of the Institution of Civil Engineers; Geotechnical Engineering, 137, 235-247.
- Watts, K. S., Charles, J. A. 1999 Settlement characteristics of landfill wastes. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Geotechnical Engineering, October 1999, 137, 225-233.

Anschrift der Verfasser

Dipl.-Ing. Ulrich Langer
Wasteconsult international
Robert-Koch-Str. 48 b
D-30853 Langenhagen
Telefon +49 511 23 59 383
Email Langer@wasteconsult.de
Website: <http://www.wasteconsult.de>

Dr. Neil Dixon
Department of Civil & Building Engineering
Loughborough University
Loughborough, LE11 3TU, UK
Telefon +44 1509 22 8542
Email N.Dixon@lboro.ac.uk
Website: <http://www.lboro.ac.uk/departments/cv/>