

Deponien als Rohstofflagerstätten von morgen – Ergebnisse einer hessenweiten Untersuchung

Klaus Wiemer, Brigitte Bartsch, Helge Schmeisky

Zusammenfassung

Auf elf von sechzehn hessischen Deponien wurden in dem Zeitraum zwischen 1972 und 2005 insgesamt 56 Mio. Tonnen Abfall abgelagert. In diesen Abfällen sind zahlreiche Wertstoffe enthalten, welche in einer Studie des Hessischen Forschungsverbundes Abfall im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz näher untersucht wurden.

Im Ergebnis kann festgestellt werden, dass in den Referenzdeponien, unter Berücksichtigung stattgefundener Abbauvorgänge, rund **6 Mio. Tonnen Biomasse**, knapp **4 Mio. Tonnen Kunst- und Verbundstoffe** und knapp **1 Mio. Tonnen an Metallen** lagern.

Das CO₂-Äquivalent der abgelagerten Organik entspricht etwa 6 Mio. Tonnen.

Die abgelagerten organischen Stoffe entsprechen einem Energieäquivalent von rund 140 Petajoule bzw. 3,5 Mio. Tonnen Rohöl. Diese Energiemenge entspricht in etwa 1 % des jährlichen deutschen Primärenergiebedarfs. Mit anderen Worten ausgedrückt, entspricht die wieder auffindbare vegetabile und fossile Organik einem Äquivalent von 22 Mio. Barrel Rohöl, dessen Preis im vergangenen Jahr zwischen ca. 50 und knapp 150 Dollar/Barrel gehandelt wurde.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass die Wertstoffgehalte einzelner Deponien sehr unterschiedlich sein können. Unterschiede wurden auch bei der Betrachtung unterschiedlich alter Deponieabschnitte erkennbar.

Als Ergebnis kann festgestellt werden, dass die Wertstoffgehalte der vorhandenen Deponien oder einzelner Deponieabschnitte beträchtlich sind und zu vermuten ist, dass etliche dieser Anlagen zu einem späteren Zeitpunkt wieder rückgebaut werden. In der Zwischenzeit können Deponien als Ressourcenlager betrachtet werden.

1 Veranlassung

Das Hessische Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMULV) beauftragte im Herbst 2008 den Hessischen Forschungsverbund Abfall (HFvA) mit einer orientierenden Untersuchung des Wertstoffpotenzials in hessischen Deponien. Dabei ging es um eine erste Bestandsaufnahme an möglichst

vielen Deponien des Landes unter Verwendung vereinfachter Methoden der Erhebung, deren Ergebnisse im Folgenden dargestellt werden.

2 Problematik der Untersuchung

Deponien sind Haufwerke unterschiedlichster Zusammensetzung und unterschiedlichsten Alters.

Die Qualität des abgelagerten Deponats wird maßgeblich durch die Beschaffenheit des Hausmülls und der Gewerbeabfälle bestimmt, welche selbst wieder zeitlichen Veränderungen unterlegen sind.

Die Beschaffenheit der Abfälle aus diesen Herkunftsbereichen wird überlagert durch den Erdaushub und Bauschuttanteil, welcher vor 1990 in den meisten Fällen deutlich mehr als 50 Gew.-% ausmachte. Erst mit dem hessischen Verwertungsgebot für inerte Abfälle sank dieser Anteil signifikant.

Deponien mit zentralem Charakter entstanden, abgesehen von Ballungsräumen, erst nach dem Inkrafttreten des ersten hessischen Abfallgesetzes im Jahr 1971 (erstes Bundesabfallgesetz 1972). Zuvor lag die Abfalldeponierung in der Obhut der Gemeinden und war entsprechend unkontrolliert, ungeordnet und desolat. Brände waren an der Tagesordnung, Deponien waren selten bewacht, die vermischte Ablagerung von festen oder flüssigen Sonderabfällen, gemeinsam mit Hausmüll, war nicht ungewöhnlich.

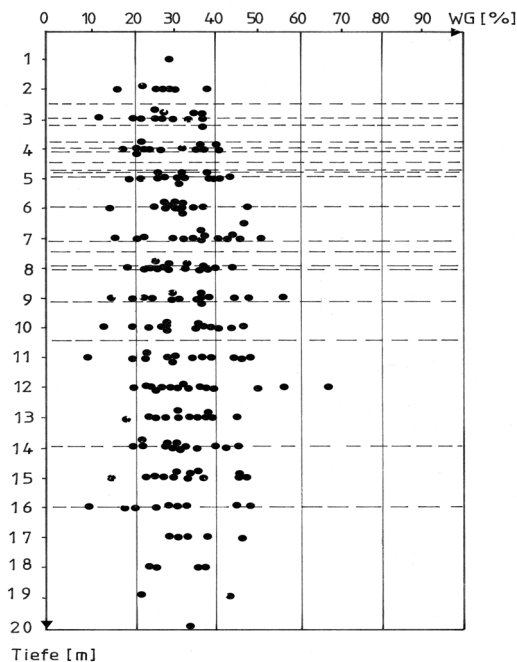
Die sogenannte **geordnete Deponie**, welche ab 1972 betrieben wurde, ordnete in erster Linie den Betrieb und nicht die Stoffströme unterschiedlicher Charakteristik oder Herkunft. Abfälle wurden im Regelfall, nach einbautechnischen Gesichtspunkten, im vermischten Zustand eingelagert.

Nicht nur Einbautechniken und Abfallbeschaffenheit auch die Witterungsbedingungen, unter denen eingebaut wurde, unterschieden sich. Somit kann von unterschiedlichen Abbaubedingungen und Abbauraten der organischen Substanz ausgegangen werden.

Die Einbaudichte der Abfälle schwankte nach eigenen Untersuchungen an acht verschiedenen Deponien je nach Einbautechnik zwischen 0,7 und 1,2 Mg/m³ (ohne Erdaushub und Bauschuttanteil). Niedrige Einbaudichten führen bereits während des Einbaubetriebes zu aeroben Abbauvorgängen mit entsprechendem Substanzverlust, ähnlich den Vorgängen in einer Rottedeponie. Außerdem variiert die Wasserwegsamkeit innerhalb einer Deponie je nach Einbautechnik und -dichte. Auch der Niederschlagseintrag, welcher in einem Bundesland um 50 % schwanken kann, fördert entsprechend unterschiedliche Primärabbauraten.

Die Wasserverteilung innerhalb eines Deponiekörpers und damit der Abbau der organischen Substanz können nicht sicher prognostiziert werden. Außerdem ist davon auszugehen, dass jede Deponie ihre eigene Charakteristik aufweist. Zur Untersu-

chung der Wasserverteilung und Abfallbeschaffenheit im Deponiekörper einer hoch verdichteten Deponie wurden im Rahmen eines früheren Projektes 16 Kernbohrungen (Durchmesser 143 mm) bis zu 20 m Tiefe niedergebracht. Die ungestörten Proben wurden analysiert, verwogen und getrocknet (1).



Die gestrichelten Linien zeigen angetroffenes Schichtwasser

Abb. 1: Wassergehalt in unterschiedlichen Tiefen einer hoch verdichteten Deponie mit Dünnschichtbetrieb

Die Wassergehaltsbestimmung von insgesamt 270 Bohrm Metern zeigte extrem unterschiedliche Wassergehalte längs der einzelnen Bohrungen. Der Wechsel zwischen Schichtwasser und trockenen bzw. trockenstabilen, tiefer liegenden Bereichen war nahezu die Regel, Stauschichten traten in verschiedenen Höhenlagen der Deponie auf. Im Wasserhaushaltsmodell dieser Deponie muss von bevorzugten Fließwegen und Einstaubereichen ausgegangen werden, welche im Laufe der Zeit ihre Lage bzw. ihre Wasserwegsamkeit verändern.

Eine sichere Prognose des Abbauverhaltens der organischen Substanz in einer derartigen Deponie ist nur schwerlich darstellbar. Allerdings kann festgestellt werden, dass abbaubezogene Milieubedingungen innerhalb des Deponiekörpers in unterschiedlicher Weise gegeben sind und sich über die Zeit verändern.

Die gefundenen Ergebnisse zeigen aber auch, dass, bei differenzierter Wasserwegsamkeit, gezielte Auslaugvorgänge sich nur auf Teilbereiche beschränken können, unabhängig davon, ob die jeweilige Deponie nachträglich gezielt bewässert wird oder nicht. Ein wesentlicher Teil bioabbaubarer organischer Substanz wird somit auf lange Zeit erhalten bleiben.

Ein weiterer Problemkreis betrifft den Sachverhalt unterschiedlicher Datenerfassung einzelner Deponiebetreiber, selbst nachdem die Abfallverwiegung zum Standard wurde. Somit kann davon ausgegangen werden, dass, je nach Satzung, die Zuordnung einzelner Abfallqualitäten in Abfallgruppen sehr unterschiedlich erfolgte, bis über Abfallschlüsselnummern diese Zuordnung präzisiert wurde. Dennoch bleibt im Rückblick die Zuordnung von Wiegedaten zu einem Gesamtbild schwierig, da die Daten unterschiedlich gespeichert, zusammengefasst und ausgewertet wurden.

3 Welche Rohstoffe sind von Interesse

Abfälle sind gebrauchte Rohstoffe, bestehend aus Biomasse, Mineralien, Kunststoffen, Textilien oder Metallen. Die Veränderung des Zustands durch den Gebrauch oder die Ablagerung mag zwar die Nutzbarkeit der ehemaligen Produkte verändern, stofflich gesehen bleiben Abfälle langfristig interessante Rohstoffquellen. Somit kann davon ausgegangen werden, dass ein Teil der Deponien aus wirtschaftlichen Gründen zu einem späteren Zeitpunkt zurückgebaut werden wird.

Wirtschaftlich gesehen ist die Werthaltigkeit eines Roh- oder Abfallstoffes in Deponien die Funktion seiner Wertschätzung (seines Rohstoffpreises) zu einem bestimmten Zeitpunkt sowie der technologischen Möglichkeit, diese wirtschaftlich zu erschließen.

Die steigende Wertschätzung lässt sich nur qualitativ in die Zukunft projizieren und der begrenzten Verfügbarkeit bestimmter Ressourcen, wie beispielsweise fossiler Energieträger, verschiedener Metalle, Phosphor, Mineralien etc., gegenüberstellen.

In den vergangenen fünf Jahren zeigte der Rohstoffmarkt skandalöse Auf- und Abwärtsbewegungen. Beginnend mit dem Jahr 2004 verdrei- bis verfünffachten sich die Werte nahezu sämtlicher Basismetalle innerhalb von achtzehn Monaten, um dann binnen Jahresfrist auf das Ausgangsniveau oder sogar darunter abzustürzen.

Öl stieg von einem Ausgangsniveau von unter 30 auf 144 Dollar pro Barrel an, um dann wieder bei 35 Dollar zu landen.

Dabei sank das globale ehemals positive Wirtschaftswachstum lediglich um weniger als zehn Prozentpunkte auf Bereiche um den Nullpunkt oder leicht darunter (Deutschland $-3,7\%$, März 2009). In Indien, dem in absehbarer Zeit mit 1,7 Mrd. Menschen bevölkerungsreichsten Land der Erde, liegt dagegen das aktuelle Wirtschaftswachstum mit rund 5% nur 4% -Punkte niedriger als zuvor, aber immer noch im positiven Bereich. Ähnliches gilt für China.

In Ergänzung zu dem perspektivisch sich wieder erholenden Wirtschaftswachstum werden nach Schätzungen der UNO im Jahr 2050, mit 9,1 gegenüber 6,1 Mrd., rund die Hälfte mehr Menschen auf diesem Globus leben als dies im Jahr 2000 der Fall war. Im Jahr 1950 lebten 2,5 Mrd., um 1900 nur 1,65 Mrd. Menschen auf dieser Er-

de. Die wesentliche Ausbeutung der Ressourcen fand somit in den vergangenen fünfzig Jahren statt und wird mit gesteigerter Intensität voranschreiten.

Im Zuge der technologischen Entwicklung werden technische Geräte und Anlagen, zu denen insbesondere Verbrennungskraftmaschinen gehören, kostengünstiger produziert werden können und damit für größere und ärmere Bevölkerungskreise erschwinglich sein, als dies in der Vergangenheit der Fall war. Somit spricht eine Reihe von Gründen dafür, dass die Rohstoffpreise zukünftig noch deutlicher ansteigen, als dies in der Vergangenheit der Fall war.

Bekanntermaßen ist die Rohstoffverfügbarkeit auch eine Frage der Rohstoffexploration. Der Rohstoffbedarf, insbesondere von Schwellenländern, war in der Vergangenheit falsch eingeschätzt worden. Dem hohen Rohstoffbedarf stand eine zu geringere Explorationstätigkeit gegenüber, welche zeitversetzt wirkt, also nicht kurzfristig auf Angebot- und Nachfragesituationen reagieren kann. Es ist zu befürchten, dass die gegenwärtige Weltwirtschaftskrise zu einem Rückgang der globalen Explorationstätigkeit führt. Beispielsweise ist einer der größten Rohstoffproduzenten der Welt, Rio Tinto, wirtschaftlich ins Straucheln gekommen. Somit wird die antizyklisch vor einer Boomphase erforderliche Explorationstätigkeit in ihrem Kern beeinträchtigt. Es ist zu befürchten, dass diese verschiedenartigen Faktoren eine exponentiell wirksame Rohstoffverknappung erwarten lassen, mit der exponentielle Preissteigerungen einhergehen werden (2, 3).

3.1 Beispielhafte Abfallzusammensetzung einer Deponie

Deponien sind Rohstofflagerstätten, deren wertgebende Inhaltsstoffe derzeit weniger, zukünftig jedoch vermehrt von Interesse sein werden. Eine beispielhafte Abschätzung der möglichen Potenziale von Wertstoffen in Deponien zeigen Sortieranalysen an Abgrabungen der rückgebauten Deponie Rennerod, welche vom Witzenhausen-Institut durchgeführt wurden (4).

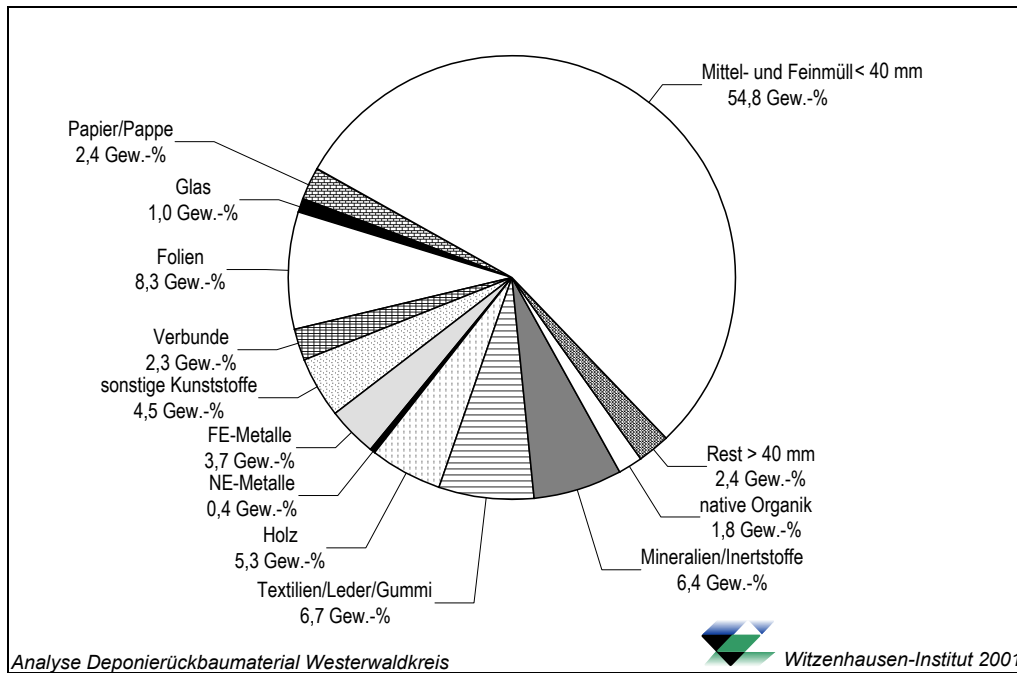


Abb. 2: Zusammensetzung von Deponierückbaumaterial (4)

Sortieranalysen von Deponieprobungen sind im Regelfall unbefriedigend, da der Feinfraktionsanteil kleiner 40 mm den überwiegenden Anteil von 50 bis 80 Gew.-% ausmacht. Dies mag zwar technisch-wirtschaftlich von Interesse sein, spiegelt aber die reale Abfallzusammensetzung nur unbefriedigend wider. Zur tatsächlichen Gehaltsbestimmung wurde daher eine kaskadenförmige Sortieranalyse durchgeführt, welche Wassergehalts- und Glühverlustbestimmung auch der Fraktion kleiner 8 mm mit einschloss.

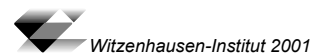
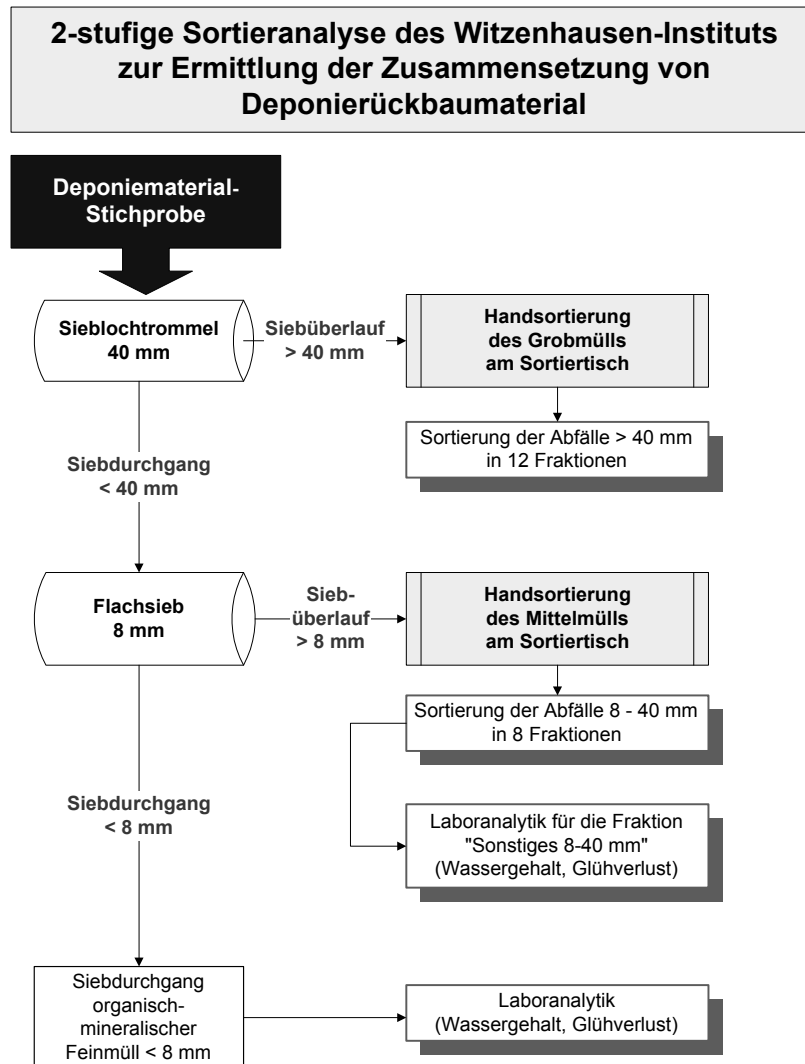


Abb. 3: Systematik der Sortieranalyse zur Zusammensetzung von Deponierückbaumaterial gemäß Abbildung 2

Die vertiefende Analyse der Stoffströme gemäß Abbildung 2 vermittelt ein weitgehend überraschendes Bild.

Mineralien:

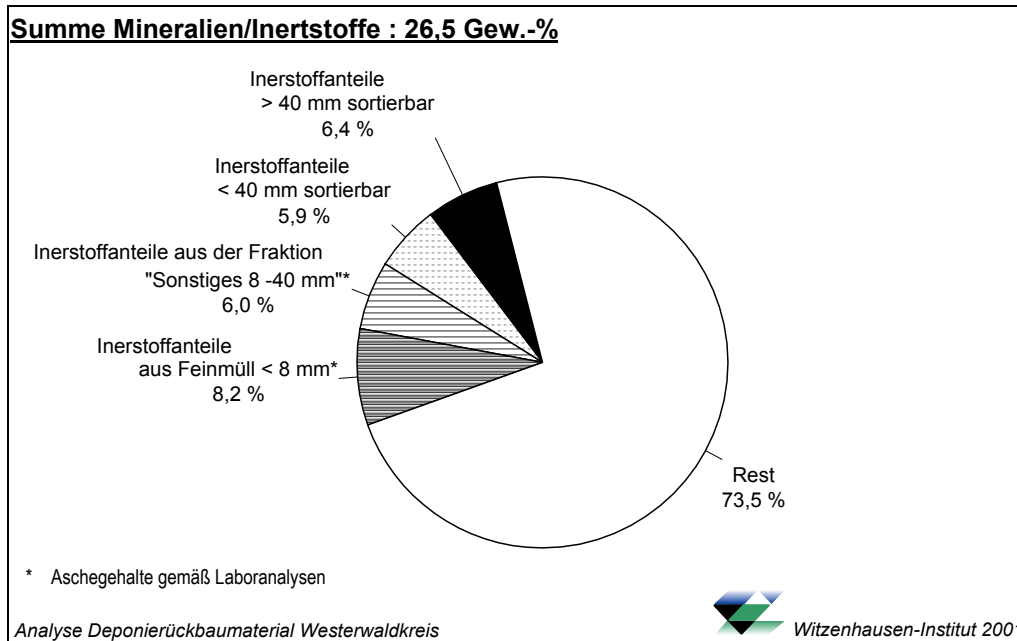


Abb. 4: Mineralienanteil in Deponierückbaumaterial (ohne Glas) (4)

Der Mineralienanteil liegt mit gut 26 % niedriger, als die Grobanalyse gemäß Abbildung 2 dieses erwarten lässt. Der wesentliche Anteil ist mit rund 20 Gew.-% in der Fraktion kleiner 40 mm enthalten. Die Feinmüllfraktion kleiner 8 mm enthält rund 8 % des Deponierückbaumaterials. Nicht enthalten in dieser Darstellung ist der Glasanteil, welcher mit rund 5 Gew.-% ermittelt wurde.

Heizwertreiche Fraktion:

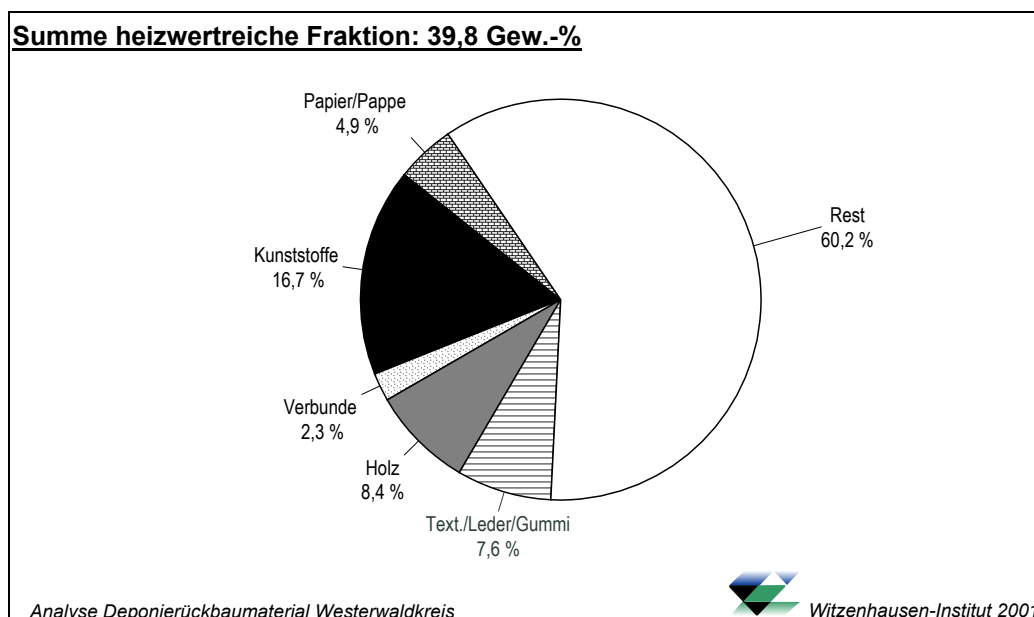


Abb. 5: Heizwertreiche Fraktion im Deponierückbaumaterial (4)

Die heizwertreiche Fraktion macht mit rund 40 Gew.-% den bestimmenden Anteil des Deponierückbaumaterials aus. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass in der heizwertreichen Fraktion ein Teil der biogenen Stoffe enthalten ist, welcher in Abbildung 6 als Biomasseanteil erneut aufgeführt wird.

Im Rahmen der hessenweiten Deponieuntersuchung kann davon ausgegangen werden, dass der ausgewiesene Kunststoffanteil erheblichen Schwankungen unterlegen ist, da produktionsspezifische Abfälle in einzelnen Deponien das Gesamtbild bestimmen.

Organische Fraktion:

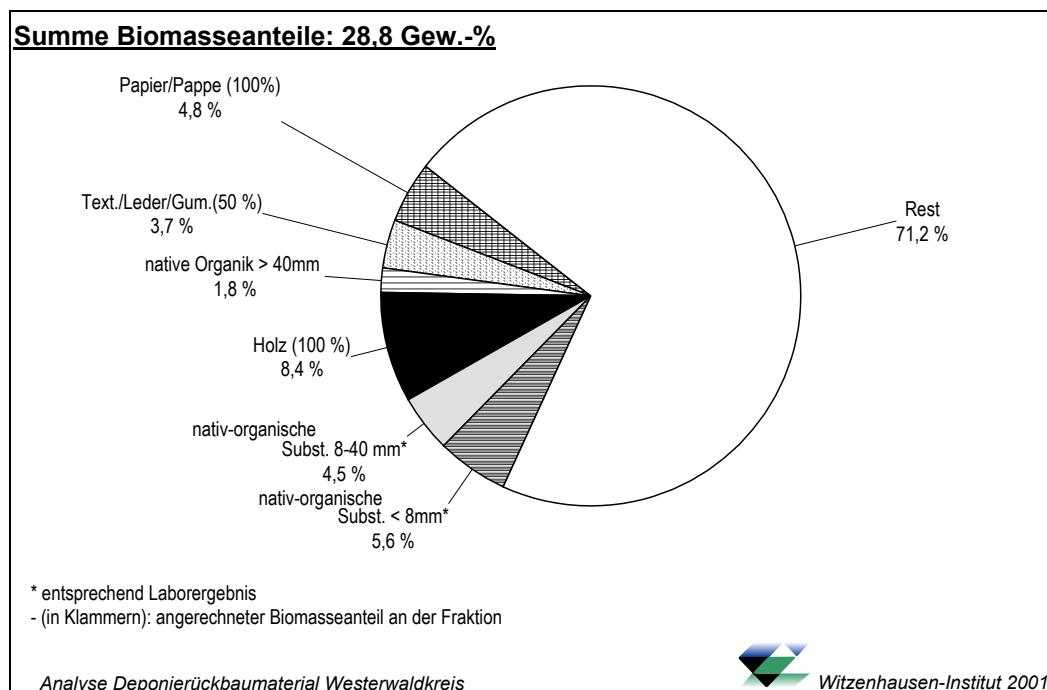


Abb. 6: Organische Fraktion im Deponierückbaumaterial (4)

Die Summe des Biomasseanteils entspricht mit rund 29 Gew.-% dem theoretischen Ansatz, dass rund 50 % der Organik in der Deponie im Laufe der Ablagerung abgebaut wird. Dem entspricht eine spezifische Deponiegasproduktion von 100 bis 140 m³ pro Tonne des abgelagerten Abfalls. Das Deponat enthält im Regelfall 55 bis 65 Gew.-% biogener Stoffe.

Metalle:

Die Wiederfindungsrate der Metalle betrug bei dieser Deponie rund 5 Gew.-%. Hier- von entfallen erfahrungsgemäß 20 bis 30 % auf NE-Metalle. (7)

3.2 Übertragbarkeit der Analyseergebnisse von Deponieinhaltsstoffen

Analysenergebnisse zu Deponieinhaltsstoffen sind nicht übertragbar, können aber einen qualitativen Einblick vermitteln, mit welchen Wertstoffpotenzialen grundsätzlich zu rechnen ist.

Potenziale von Deponien werden maßgeblich von der Industrie- und Gewerbestruktur bestimmt. Diese unterliegt zeitlichen Veränderungen. Sehr häufig zeigt es sich, dass produktionsspezifische Abfälle in großen Mengen über längere Zeiträume anfallen und dann plötzlich weg brechen. Dies betrifft beispielsweise Papierschlämme, Spuckstoffe, Teppichbodenreste oder metallhaltige Abfälle, für die sich plötzlich Verwertungsmöglichkeiten eröffnet haben. Somit sind nicht nur Deponien untereinander wenig vergleichbar, sondern auch innerhalb einzelner Deponien gibt es unterschiedliche Deponieabschnitte mit unterschiedlich werthaltigen Abfallstoffen.

3.3 Technisch-wirtschaftliche Kriterien zur Erschließung der Deponierohstoffpotenziale

Das allgemeine Preisniveau für Sekundärrohstoffe bestimmt im Regelfall den Zeitpunkt eines lohnenden Deponierückbaus, aber grundsätzlich können vielfältige Gründe für einen Rückbau ausschlaggebend sein:

- Erlöse aus der Sekundärrohstoffvermarktung
- Verkürzung der Deponienachsorgephase
- Anstrengungen zum weitergehenden Grundwasserschutz
- Flächennutzung des belegten Deponiegeländes
- Fiskalische Nutzung der Rückstellungsreserve für die Deponieoberflächenabdeckung.

Beim Deponierückbau sollte es nicht darum gehen, ehemalige „Anlagen zur Beseitigung“ erneut zu beseitigen, sondern wertgebende Inhaltsstoffe mit hoher Effizienz einer Wertschöpfung zuzuführen.

Deponien sind Ressourcenlager auf Zeit. Vor 20 Jahren wäre es nicht annähernd möglich gewesen, Wertstoffe mit hoher Effizienz in immer sortenreinere Wertstoffströme aufzutrennen. Weder die Trenntechnologie noch die Rechnerleistung waren für angemessene Kosten verfügbar. In 20 Jahren wird mit Sicherheit die Trenntechnologie effizienter, präziser und kostengünstiger sein als heute. Aber nicht nur die Trenntechnologie hat sich verbessert, auch Anlagen zur effizienten Weiterverarbeitung von Stoffströmen sind mittlerweile entstanden und in die Industrielandschaft integriert worden. Dabei handelt es sich überwiegend um Anlagen hoher Effizienz.

In letzter Konsequenz sollten Deponien erst dann zurückgebaut werden, wenn die Zeit hierfür reif ist. Dies setzt voraus, dass Wirtschaftlichkeit und Effizienz der Maßnahmen in befriedigendem Maß gegeben sind.

Betrachtungen, jenseits des Kostenaspektes

Losgelöst von Kosten-Nutzen-Aspekten ist es theoretisch möglich nahezu 100 % der abgelagerten Abfälle einer wertgebenden Folgenutzung zuzuführen.

Mineralien können nach dem Stand der Technik abgetrennt, gewaschen oder auf sonstige Art gereinigt und als Ersatzbaustoff eingesetzt werden. Die Trockenstabilanlage in Aßlar zeigte erste Ansätze hierzu.

Glas wurde bereits in der Vergangenheit aus komplexen Abfallgemischen mit hoher Sortenreinheit und getrennt nach Farben hüttenfertig bereitgestellt.

Die **Metallseparierung**, getrennt nach Fe- und NE-Metallen, ist Stand der Technik. Die Ne-Metalle können unter Einsatz von NIR oder Röntgentechnik weitergehend in unterschiedliche Buntmetalle aufgetrennt und hüttenfertig aufbereitet werden.

Die Abtrennung der **vegetabilen Organik** ist bereits heute technisch möglich, hier sind jedoch erhebliche Optimierungspotenziale gegeben.

Die Abtrennung von mehr als zehn **Kunststoffsorten** aus gemischten Kunststoff- bzw. Abfallgemischen ist bereits heute Stand der Technik. Dabei kann sowohl eine Positiv- als auch Negativauslese erfolgen. Als Ergebnis können stofflich oder energetisch verwertbare Qualitäten erzeugt werden.

So sehr sich der Stand der Technik auch entwickelt und ein erneutes Anziehen der Rohstoffpreise zu erwarten ist, können dennoch Hindernisse administrativer Art nicht ausgeschlossen werden, welche einer Verwertung von Stoffströmen aus Deponien entgegen stehen.

Die Regelungen der TASI bezüglich des zu limitierenden organischen Gehaltes von Ablagerungsgut sind in dieser Hinsicht unproblematisch, sofern von Wertstoffen entfrachtetes Rückbaumaterial an gleicher Stelle wieder eingebaut wird. Problematisch würde mit Sicherheit die geplante Ersatzbaustoffverordnung in ihrer derzeitigen Entwurfsform sein, welche die Verwertung derartig gewonnener mineralischer Stoffe nahezu ausschließt. An dieser Stelle ist Diskussionsbedarf gegeben. Ähnliches gilt im Umgang mit asbesthaltigen Abfällen.

4 Methodisches Vorgehen

Zur Untersuchung des Ressourcenpotenzials von Deponien empfiehlt sich ein gestuftes, hierarchisch gegliedertes Vorgehen:

- **Stufe 1: Übergeordnete Evaluation** des Gesamtpotenzials der Deponie ausgehend von der verfügbaren Datenlage, unter Einbeziehung von Erkenntnissen aus der Literatur

- **Stufe 2: Verfeinerte Evaluation** zur Eingrenzung der Werthaltigkeit einzelner Deponieabschnitte nach Lage und Höhe ausgehend von Stufe 1 unter Einbeziehung differenzierterer Datenlage
- **Stufe 3: Sortieranalyse** von Proben aus Bohrungen, Schürfen oder Abgrabungen zur Verdichtung der Erkenntnisse aus den Stufen 1 oder 2
- **Stufe 4:** Festlegung der für den Rückbau bestimmten Deponieabschnitte
- **Stufe 5: Begleitende Analyse** während des Deponierückbaus zur Lenkung des Baufortschritts.

Die hessenweite Untersuchung zur Bestimmung des Rohstoffpotenzials bezog sich in ihrer Bearbeitungstiefe auf Stufe 1.

4.1 Datenlage zur Evaluation des Gesamtpotenzials

Bei näherer Sicht zeigte sich eine vertrauenerweckende Datengesamtheit, mit der sich die Evaluation aus mehreren Blickwinkeln eingrenzen ließ. Im Einzelnen waren dies:

- Abfallbilanzen des Hessischen Landesamtes für Umwelt und Geologie (HLUG)
- Abfallbeseitigungspläne des Landes Hessen
- Abfallbilanzen der Kreise
- Abfallanalysen der Kreise
- Abfallbilanzen der Deponiebetreiber
- Abfallanalysen der Deponiebetreiber
- bundesweite Hausmüllanalysen
- Gewerbeabfallkataster für das Land Hessen
- Gewerbeabfallkataster für einzelne Gebietskörperschaften
- zielführende Informationen aus der Literatur

Den Bilanzen über die Jahrzehnte der Ablagerung sind die stattgefundenen teilweise einschneidenden Entwicklungen gegenüberzustellen, welche die Beschaffenheit der abgelagerten Abfälle nachhaltig und unterschiedlich prägten. Folgende Sachverhalte sind hierbei hervorzuheben (5, 6).

1971: Hessen führt als erstes Bundesland ein **Abfallgesetz** ein (Bund 1972), welches die Zuständigkeit der Entsorgung von den Gemeinden auf die Kreise und kreisfreien Städte überträgt. Zentrale geordnete Deponien lösen ungeordnete Dorfkippen ab. Die Abfalldatenerfassung und die Führung von Betriebstagebüchern werden zur Pflicht.

1973: Auf der Deponie Wicker im Main-Taunus-Kreis kommt Deutschlands erster **Müllkompaktor** (Rex Trashmaster) zum Einsatz. Auf allen Deponien ändert sich in der Folge die Einbautechnik hin zu höheren Ablagerungsdichten, weniger Deponiebränden und geänderten Reaktionsmechanismen innerhalb der Deponien.

1975: Die Firma Edelhoff führt in Lethmate die ersten erfolgreichen Versuche zur Ablösung der Ringtonne durch die sogenannten **Müllgroßbehälter (MGB 120/240)** durch. Deren rasche bundesweite Einführung steigerte, aufgrund des erhöhten spezifischen Tonnenvolumens, schlagartig das bundesweite Abfallaufkommen um 20 bis 50 %. Mit dem erhöhten Volumen änderte sich die Zusammensetzung der gesammelten Abfälle. Maßnahmen zur Reduzierung des spezifischen Tonnenvolumens, wie sie in den letzten Jahren in zahlreichen hessischen Kommunen erfolgten, reduzierten nach den damals gewonnenen Gesetzmäßigkeiten in umgekehrter Weise Abfallaufkommen und -beschaffenheit.

1975: Die Bundesregierung nimmt die **umweltbezogene Abfallhierarchie**: Vermeiden, Verwerten, schadlos Beseitigen in ihr Grundsatzprogramm auf. Recycling beginnt, an Bedeutung zu gewinnen.

1982/83: Hessen führt als erstes Bundesland die **Pflicht zur Getrennsammlung von Glas und Papier** nach dem Bringsystem ein. Die Gebietskörperschaften werden verpflichtet, mindestens einen Depotcontainer pro 500 Einwohner aufzustellen. Außerdem hat jede Gebietskörperschaft mindestens einen Abfallberater mit Aufgaben der Öffentlichkeitsarbeit zu betrauen. In den folgenden Jahren werden die Containerdichten gesteigert und vermehrt bürgernahe Getrennsammlungssysteme eingeführt. Das Land fördert diese Maßnahmen in umfassender Weise.

1985/86: Im Werra-Meißner-Kreis und später im Lahn-Dill-Kreis wird zum ersten Mal in Deutschland die **Bioabfallkompostierung** eingeführt. In beiden Landkreisen verändert sich hierdurch die Beschaffenheit des Restmülls.

1990: Hessen führt als erstes Bundesland die Pflicht zur **landesweiten Getrennsammlung von Bioabfällen** ein.

1990: Hessen führt als erstes Bundesland das **Verwertungsgebot für Erdaushub und Bau-schutt** ein.

1991: Die im Juni 1991 eingeführte **Verpackungsverordnung** änderte in ihrer Konsequenz die Beschaffenheit und Menge der abgelagerten Restabfälle. In einigen Gebietskörperschaften werden heute mehr Verpackungen getrennt erfasst, als Restabfälle den örtlichen Entsorgungsträgern über die graue Tonne angedient.

1993: Die im Mai 1993 verfügte **TA Siedlungsabfall** verändert in ihrer Konsequenz in den darauf folgenden 13 Jahren die Praxis der Restabfallbehandlung und damit die Beschaffenheit der zu den Deponien gelangenden Restabfälle.

1996: Mit dem Inkrafttreten des **Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes** brechen den Kommunen die Gewerbeabfälle weg. Die Zusammensetzung der zur Ablagerung kommenden Abfälle ändert sich grundlegend.

2005: Ab Juni 2005 ist die Ablagerung von vorbehandelten Restabfällen gemäß Vorgaben der TAsi nur noch eingeschränkt möglich. **Ende der klassischen Deponie.**

Die Wirkung derart bestimmender Parameter beeinflusst die Beschaffenheit der abgelagerten Abfälle sämtlicher Deponien auf der Zeitschiene und unterstreicht, dass

Deponien sowohl als Ganzes als auch differenziert nach einzelnen Deponieabschnitten beurteilt werden sollten.

4.2 Strukturierung der Datenerfassung

Vor der Befragung wurde eine Strukturierung der zu untersuchenden Zeiträume vorgenommen. Hierbei musste eine Gewichtung zwischen der, für bestimmte Zeiträume aussagekräftigen, deponiebezogenen Datenlage und externer Datenquellen vorgenommen werden. Darüber hinaus war darauf zu achten, dass die Komplexität der Abfrage die einzelnen Deponiebetreiber nicht überforderte. Im Einzelnen wurden folgende Zeiträume ausgewählt:

- **1973–1980**, die Zeit der Entwicklung geordneter Deponietechnik, noch weitgehend frei von Anstrengungen des Recyclings von Haushaltsabfällen. In diesem Zeitraum wurde noch überdurchschnittlich viel Erdaushub und Bauschutt abgelagert, welcher meist mehr als 50 % des Deponats ausmachte.
- **1981–1992**, die Zeit der beginnenden Abfallverwertung und der bundesweiten Hausmüllanalysen. Die höheren Deponiekosten führten bereits zu einem ersten Rückgang des Erdaushub- und Bauschuttanteils. Die Abfallverwertung vor der Deponierung bekam einen hohen Stellenwert.
- **1993–1998**, die flächendeckende Bioabfallkompostierung sowie das Verwertungsgebot für Erdaushub und Bauschutt beginnen zu wirken. Durch die Einführung der Verpackungsverwertung ändert sich die Zusammensetzung des Resthausmülls. Die Steigerung der Deponierungskosten führt zu einem Verdrängungswettbewerb in Verbindung mit Scheinverwertung und Mülltourismus. Erhebliche Abfallmengen werden in den neuen Bundesländern entsorgt.
- **1999–2005**, Gewerbeabfälle brachen aufgrund der Rahmenbedingungen des neuen Abfallgesetzes weitgehend weg. Deponiekontingente werden zu Dumpingpreisen verschleudert. Das Ende des Deponiezeitalters kündigt sich an.

Der Zeitraum ab 2005 wurde nicht weitergehend betrachtet.

4.3 Durchführung der Erhebungen

Die Aufgliederung in einzelne Zeitabschnitte erwies sich für die Aufgabenstellung als ausgesprochen vorteilhaft. Hierbei wurde unterschieden nach Art und Menge der Abfälle sowie in einem zweiten Schritt nach Qualitäten.

Untersuchungen nach Art und Menge

Die **Befragung** der 16 hessische Deponiebetreiber wurde in schriftlicher Form an diese gerichtet, telefonisch hinterfragt und teilweise durch Besuche vor Ort ergänzt. Elf der sechzehn Betreiber waren in der Lage, das bestehende Datenmaterial zu

sichten und gemäß der Vorgaben in vertretbarem Aufwand zeitgerecht auszuwerten. Bei anderen hätte die Struktur der Aufzeichnungen zu einem erhöhten Aufwand geführt, da deren Aufzeichnungen über die letzten Jahrzehnte nicht in ausgewerteter Form vorlagen.

Eine **Ergänzung der Befragung** erfolgte durch die Auswertung der Daten des statistischen Landesamtes, der Hessischen Landesanstalt für Umwelt und Geologie (HLUG) und der kreisspezifischen Aufzeichnungen (7–9).

Untersuchungen nach Qualität

Zu Abschätzung der **Qualität des abgelagerten Hausmülls** wurden für die Zeit vor 1981 Ergebnisse aus Hausmüllanalysen herangezogen, welche in der Literatur dokumentiert waren.

Für den Zeitraum zwischen 1981 und 1992 wurden die Ergebnisse der beiden bundesweiten Hausmüllanalysen herangezogen und übertragen.

Für die Zeiträume zwischen 1993 und 2005 wurden übertragbare Analysendaten aus der Literatur sowie insbesondere des Witzenhausen-Instituts herangezogen, welches neben bundesweiten Analysen über hessenspezifische Daten verfügte.

Die **Qualität der gewerblichen Abfälle** ist für die Charakteristik der meisten Deponien im besonderen Maß bestimmend. Das Bundesland Hessen verfügt über ein landesweites Gewerbeabfallkataster, welche in den 90er-Jahren durch das Witzenhausen-Institut erstellt wurde. Im Rahmen dieses Katasters wurden über den Zeitraum von mindestens einer Woche sämtliche gewerbliche Fahrzeuganlieferungen an allen Deponien und Umladeanlagen des Landes nach insgesamt 180 verschiedenen Stoffmerkmalen untersucht (10, 11).

Witzenhausen-Institut		Gewerbeabfallsichtung Landkreis XY		2008	
Gutachter:	KFZ:	Firma/Institution:			
Datum:	Transporteur:	Ort:			
Uhrzeit:	Schätzung:	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein	Preiscont.	Preisplatt.
	Ladegewicht:	Drehtrom.	Ballen	Regelabf.	
	Fahrzeugvolumen:				

HOLZ		PAPIER/PAPPE		VERBUNDMATERIAL		METALLE	
VERPACK.	WERKSTOFFE	PAPIER	PAPPE	VERPACKG.	PRODUKTIONSRESTE	FE-METALLE	NE-METALLE
	Faserplatte	Burp.	Weilpappe	Kst/Alurol	Gum/Met (Reif.)	Behälter	Geräte
	Spanplatte	Packp.	Voipappe	Kst/Paprol	Pap/Kunststoff	Fasser	Möbel
	Mehw Palet.	Sacke	Rollen	Kst/Metfol	Holz/Kunststoff	Draht	Zaun besch.
	Obststreigen	Zeitungen	Preßplatte	Pap/Alurol	Holz/Textil	Baustahl	Verschlusse
	Kisten	Schnitzel	Obststreigen	Tetrapek	Kunststoff/Metall	Bänder	Aluminium
	Holzwole			Sacke	Sonstige	Heizkörper	
	SCHNITTHOLZ			Behälter	Reifen (Kf-Z)	Späne	Metal-verzinkt
	Balken			Papffässer	Bauverbund	Teile	Regenrinne
	Breiter/Latten			Mischfolien	Schleifpap.	Rohre	NE-Blech
	Schnitzel			Folien	Blumenverb.	FE-Blech	Spraydosen
					PU-S-Verb.		
					Kabeltrommeln		
					Sortierreste		
					Mineralverb.		
					Tapete		

KUNSTSTOFFE		ORGANIK		GLAS		SONSTIGE	
K-FOLIEN	HART-K.	SCHAUM-K.	SONST. K.	VERWERTBAR	SONSTIGE MI.	HOHLGLAS	FLACHGLAS
Schnumpf.	Behälter	PU-Schaum	K/K-Verbund	Bausteine	Asche	Bruch	Dratnglas
Stretch-	Formteile	PU-Bau	Bänder	Natursteine	Schlacke	Faschen	Scheiben
Sacke	Autoteile	PU-Verpck	Bigbags	Dachziegel	Ofenabbruch		Auto
Rollen	Rohre	Styroverpack.	Gummi	Putz/Schut	Gleieisande		
Einlagen	Granulat	Baustyro	Latex	Beton	Minerawolle		
Bleier	Extrusionsr.	sauber. Styro.	Netze	Sand	Olversch Erde		
Luftkammer	Späne		Gewebe	Erde	Glasfaser		
Sonst. Verp.F.	Pflanzenpel.		Duroplaste	Rigips	Asbestmineral		
Folien Bau			Kunstharz	Asphalt	Strahlisand		
div. Folie/Verp.			Sortrest.	Keramik	Faserplatten		
					Staub(Graphit)		

TEXTIL.		SCHLÄMME	
Wolle/Baumw.	SONSTIGE O.	Klärschlamm	Alu-Oxid-Schlamm
Kleidung	Wurzeln		
Stoff	Staub		
Garn	Gras/Straße		
Filz	Friedhofverb.		
Vlies	Stämme		
Putzlappen	Pflanzenr. sonst.		
Leder	Bioabfall		
Fasern/Staub	Lebensmittel		
Teppich	Teppich		
Reißwolle	Reißwolle		
Juliesäcke	Juliesäcke		

Bemerkungen: _____

Beleg-Nr. _____

Abb. 7: Sichtungsbogen des Witzenhausen-Instituts für gewerbliche Abfälle (8)

Das landesweite Gewerbeabfallkataster wurde von einer Vielzahl hessischer Gebietskörperschaften durch kreisbezogene Gewerbeabfallkataster ergänzt. Diese Kataster nach dem identischen Erfassungsbogen umfassten eine vierwöchige Verwiegung und Analyse sämtlicher Fahrzeuganlieferungen. Bei den meisten Gebietskörperschaften wurden diese Untersuchungen im Rahmen der jährlichen oder zweijährigen „Katasterpflegen“ wiederholt. Ergänzend hierzu wurden zyklisch stattfindende Betriebsbefragungen und Betriebsbegehungen bzw. Betriebsberatungen bei mehr als zweihundert Großanlieferern durchgeführt. (9)

5 Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden differenziert nach Einzeldeponien bzw. Hochrechnungen, bezogen auf das Bundesland Hessen, ausgewertet.

Folgende Deponien haben sich an dieser Studie beteiligt:

- Kirschenplantage, Landkreis Kassel
- Kalbach, Landkreis Fulda
- Am Mittelrück, Landkreis Hersfeld-Rotenburg
- Beselich, Landkreis Limburg-Weilburg
- Büttelborn, Landkreis Groß-Gerau
- Bastwald, Vogelsbergkreis
- Lampertheim, Landkreis Bergstraße
- Brombachtal, Odenwaldkreis
- Am Breitenberg, Werra-Meißner-Kreis
- Dyckerhoffbruch, Stadt Wiesbaden

5.1 Systematik der Darstellung ermittelter Ergebnisse

Sämtliche Ergebnisse beziehen sich auf relative Anteile der abgelagerten Fraktionen, nicht jedoch auf den Anlageninput. Hierbei wird pauschal davon ausgegangen, dass während der Ablagerungszeit 50 % der vegetabilen Komponenten abgebaut wurden. Inputmengen in die Anlage wurden entsprechend umgerechnet. Diese Abschätzung korreliert in erster Annäherung mit dem erwarteten Deponiegasertrag.

5.2 Anlagenspezifische Ergebnisse

Stellvertretend für die übrigen Deponien werden im Folgenden die Ergebnisse der Deponie Kirschenplantage dargestellt, welche sich nach wie vor in Betrieb befindet.

Deponie Kirschenplantage, Hofgeismar



Abb. 8: Deponie des Landkreises Kassel

In die Abfalldeponie „Kirschenplantage“ wurde bereits in den 50er-Jahren Abfall aus der Stadt Hofgeismar auf dem sogenannten Altbereich abgelagert. Der Landkreis Kassel betreibt die Anlage als Zentraldeponie seit dem Jahr 1987.

Nach Norden und Osten grenzt die Deponie an den hofgeismarer Stadtwald, ansonsten grenzt sie an landwirtschaftlich genutzte Flächen. Die Deponie liegt auf dem Gelände eines ehemaligen Kalksteinbruches.

Die Deponie besitzt eine Fläche von ca. 28 ha. Hiervon entfallen ca. 9 ha auf die seit 1989 verfüllte und inzwischen endabgedeckte Altdeponie, ca. 1 ha auf Verkehrsflächen und ca. 18 ha auf den neueren, sogenannten Erweiterungsbereich.

Im Bereich der Altdeponie sind die abgelagerten Abfälle hinsichtlich ihrer Mengen und Zusammensetzung nicht bekannt. Aufgrund der Geometrie des Deponiekörpers und der Topografie der Deponie wird in diesem Bereich von einer Ablagerungsmenge von 1 bis 1,2 Mio. m³ ausgegangen.

Die Kapazität des Erweiterungsbereichs beläuft sich auf insgesamt ca. 3,2 Mio. m³. Von dieser Kapazität wurden im Zeitraum 1988 bis 2006 insgesamt 1,375 Mio. Mg Abfälle in den Ablagerungssektoren 1 bis 4 eingelagert.

Über die Zusammensetzung dieser Abfälle existieren relativ exakte Aufzeichnungen. Somit lassen sich Abfallqualitäten nicht nur einzelnen Zeitabschnitten, sondern auch verschiedenen Ablagerungssektoren zuordnen (12).

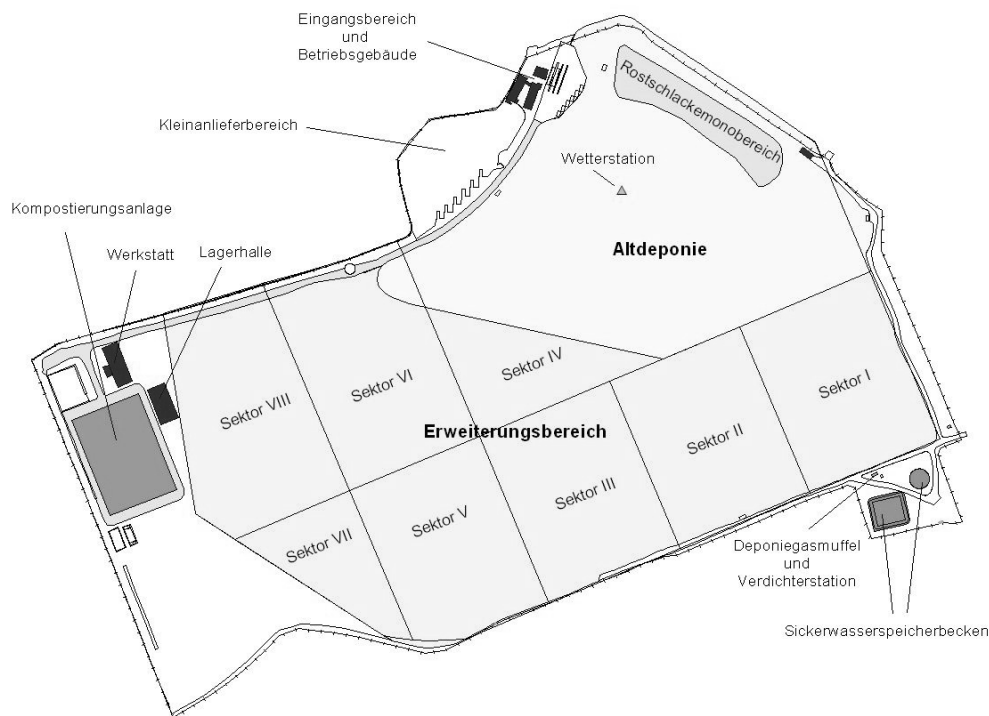


Abb. 9: Lageplan der Deponie „Kirschenplantage“

Auf der Deponie Kirschenplantage lagern zum überwiegenden Teil Abfälle aus dem Landkreis, sowie geringe Mengen aus der Stadt Kassel. –

Die Daten zu den abgelagerten Stoffströmen wurden vom Betreiber der Deponie sehr differenziert zur Verfügung gestellt. Gemäß den Abbildungen 10 und 11 ergeben sich hieraus folgende Stoffstromanteile.

Tab. 1: Abgelagerte Stoffströme auf der Deponie Kirschenplantage für den Zeitraum 1973 bis 2005 (Nettomengen nach erfolgtem fünfzigprozentigem Organikabbau)

	Zeitraum 1973/–80 [Mg]	Zeitraum 1981/–92 [Mg]	Zeitraum 1993/–98 [Mg]	Zeitraum 1999/–05 [Mg]	Gesamt- menge [Mg]
Organik	102.069	228.943	87.978	51.388	470.379
Kunststoffe	31.745	69.644	59.680	45.997	207.066
Monocharge	7.520	18.255	3.816	1.641	31.232
Metalle	15.265	32.541	13.757	11.327	72.891
Glas	32.291	55.850	21.312	14.725	124.178
Klärschlamm	5.725	55.052	9.738	1.049	71.564
Mineralien	115.796	333.161	98.187	173.373	720.517
Sonstiges	51.523	117.493	79.332	131.275	379.622
					2.077.450

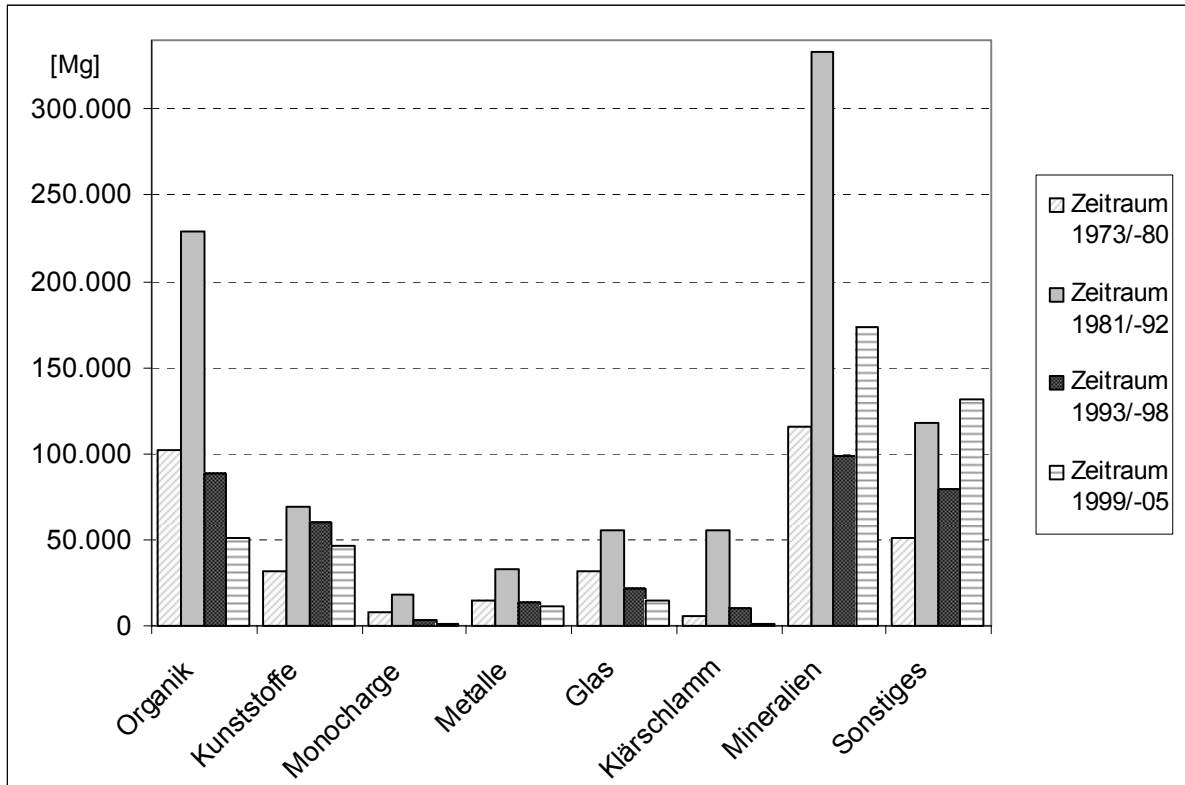


Abb. 10: Abgelagerte Abfallfraktionen auf der Deponie Kirchenplantage. Nettomengen, nach erfolgtem fünfzigprozentigem Organikabbau, differenziert nach verschiedenen Ablagerungszeiträumen

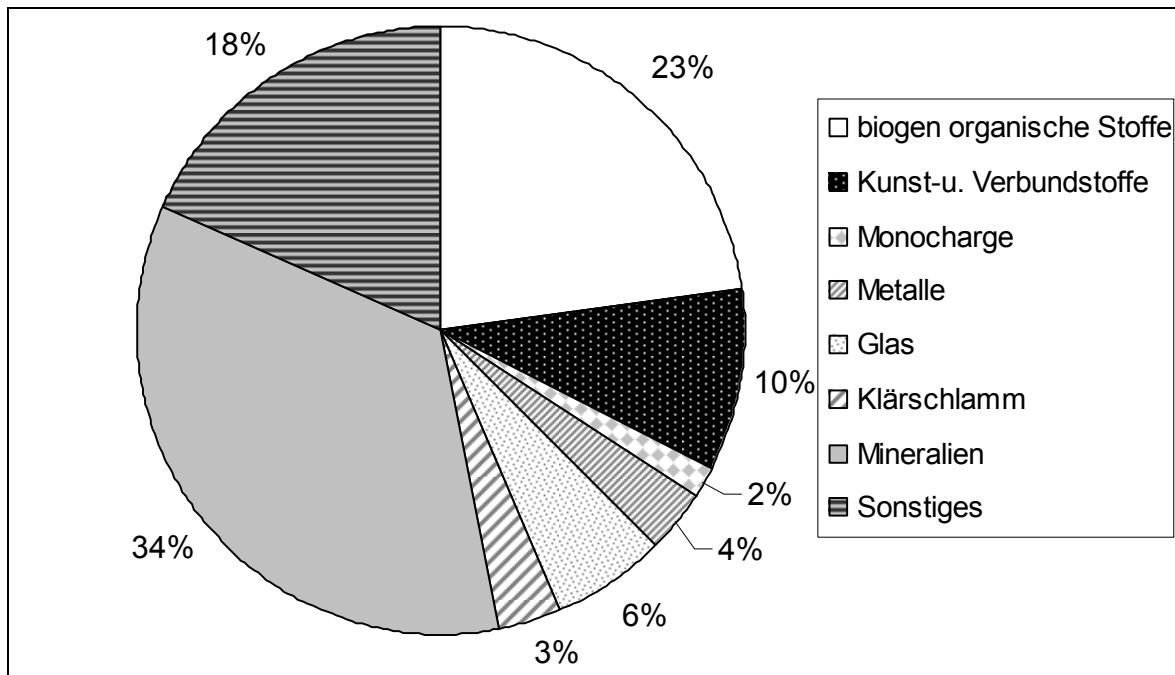


Abb. 11: Verteilung der abgelagerten Abfälle auf der Deponie Kirschenplantage nach Stoffgruppen (Nettomengen, nach erfolgtem fünfzigprozentigem Organikabbau)

Auffallend an der spezifizierten Abfallzusammensetzung sind der hohe Mineralienanteil sowie der Organikanteil von rund 470.000 Tonnen. Die hochkalorische Eigenschaft der Kunststoffanteile mit rund 10 % bzw. 207.000 Tonnen bestimmt maßgeblich die Wertigkeit des Restmülls. Metalle machen rund 4 % der vorgefundenen Stoffgruppen aus und setzen sich zu rund 85 % aus Eisenmetallen, 13 % aus NE-Metallen und 2 % Aluminium zusammen.

Sollte sich ein Deponierückbau in erster Linie auf die Gewinnung einer heizwertreichen Fraktion sowie des Metallanteils beziehen, wäre größenordnungsmäßig, einschließlich eines hochkalorigen vegetabilen Organikanteils, von rund 350.000 Tonnen auszugehen (vergl. Abbildung 5). Die abgelagerte Metallfraktion betrifft rund 70.000 Tonnen.

5.3 Landesspezifische Ergebnisse

Im Bundesland Hessen wohnten im Untersuchungszeitraum rund 6 Mio. Bürger. Deren Abfälle wurden zu dieser Zeit in den Anlagen Darmstadt, Offenbach, Frankfurt und Kassel verbrannt, in den Anlagen Aßlar und Wetterau mechanisch-biologisch vorbehandelt und im Übrigen deponiert. Aber nicht immer war es so.

Die MBA wurden erst ab dem Ende der 90er-Jahre betrieben, die MVA waren nicht immer mit gleicher Menge ausgelastet und die Deponien erhielten nicht immer die gleiche Mengenströme und Abfallqualitäten. Aufgrund von Entsorgungsengpässen wurde speziell in den 80er-Jahren ein nicht unwesentlicher Teil der Abfälle außerhalb des Bundeslandes entsorgt.

Die Abfallbilanz des Landes Hessen zum Rohstoffpotenzial seiner Deponien ist eine Momentaufnahme, zusammengesetzt aus aneinandergereihten Momentaufnahmen verschiedener Zeitabschnitte, die bis zum Jahr 1972 zurückreichen und das Jahr 2005 einschließen. Für diesen Zeitraum wurde das Wertstoffpotenzial von elf Referenzdeponien untersucht, an die rund 2 Mio. Bürger angeschlossen waren.

Der individuelle Charakter einzelner Deponien bezieht sich sowohl auf die vorzufindenden Deponieinhaltsstoffe nach erfolgtem organischem Abbau (Deponieinventar) als auch auf die unterschiedlichen Abfallmengen in den Bemessungszeiträumen.

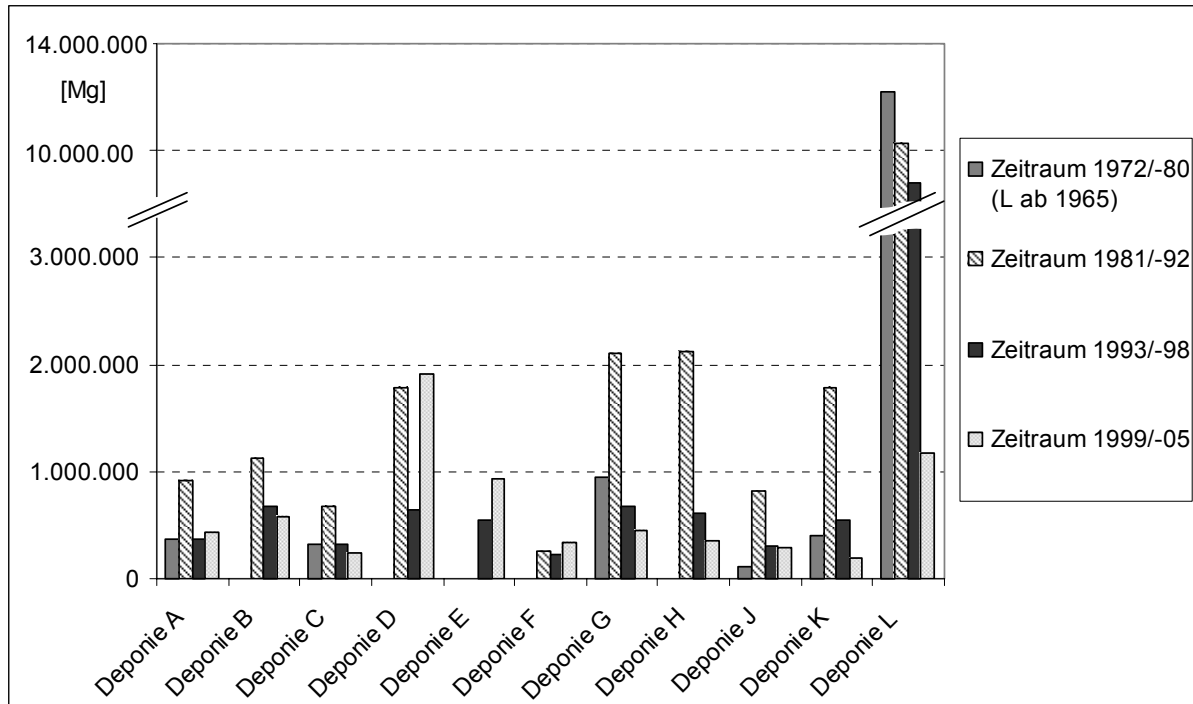


Abb. 12: Abfallmengen (Deponieinventar) der untersuchten elf hessischen Referenzdeponien in verschiedenen Untersuchungszeiträumen

Abbildung 12 verdeutlicht, dass allein bezüglich des spezifischen Abfallaufkommens jede Deponie ihre eigenen Fingerprints aufweist. Ein allgemeiner Trend ist allerdings darin zu erkennen, dass bei den meisten Deponien in den 90er-Jahren die Ablagemengen zurückgingen.

5.3.1 Qualitative Zusammensetzung des „Deponieinventars“

Wie zu erwarten, weisen die Deponien eine sehr unterschiedliche Verteilung einzelner Wertstoffgruppen auf. Maßgebend hierfür waren im Regelfall gewerbliche Abfallanlieferungen bzw. Monochargen. Abbildung 13 zeigt die Unterschiede der qualitativen Verteilung von Deponieinhaltsstoffen über alle hessischen Referenzdeponien.

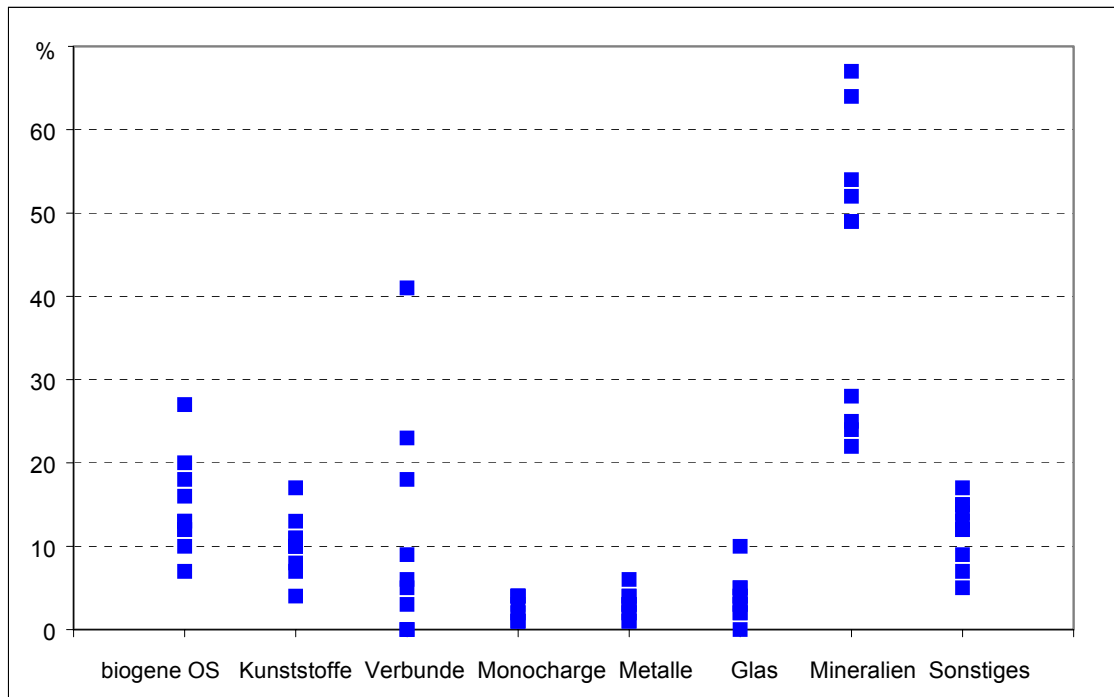


Abb. 13: Unterschiedliche Verteilung verschiedener Rohstoffe in elf hessischen Deponien

Abbildung 13 verdeutlicht die relativ große Streubreite einzelner Wertstoffgruppen in den einzelnen Deponien, beispielsweise bei der biogenen organischen Substanz oder auch den Verbundfraktionen. Maßgeblich hierfür waren im Regelfall gewerbliche Anlieferungen in Verbindung mit Monochargen.

Wie sehr sich die Zusammensetzung einzelner Stoffgruppen innerhalb der verschiedenen Untersuchungszeiträume veränderte, zeigt Abbildung 14.

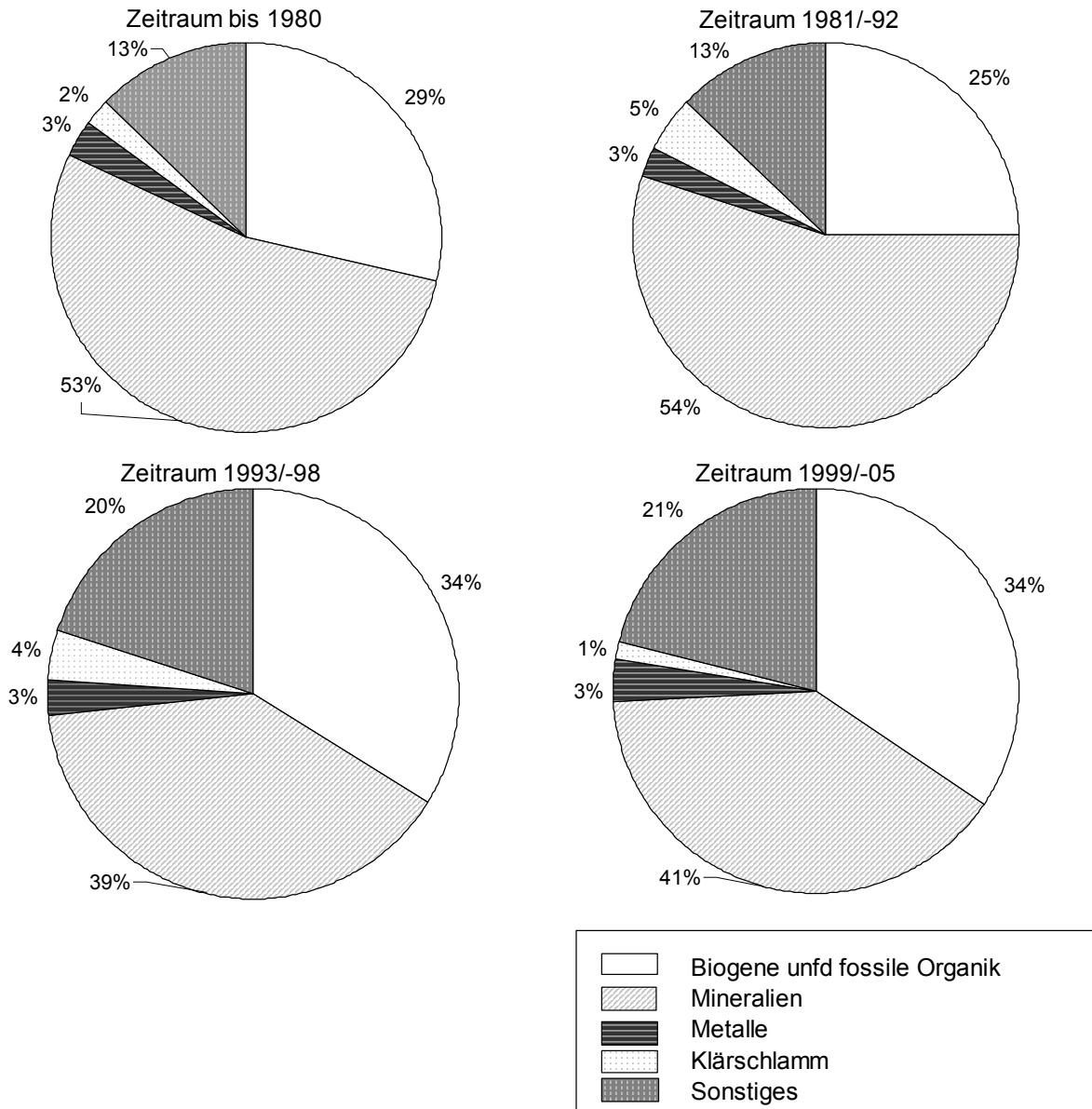


Abb. 14: Veränderte Sekundärrohstoffanteile aus verschiedenen Zeitabschnitten von zehn hessischen Deponien

Signifikant ist gemäß Abbildung 14 die Zunahme der organischen Fraktion aus fossilen und vegetabilen Ausgangsstoffen. Auffallend ist der Rückgang des Anteils mineralischer Reststoffe, allerdings nicht in dem Maß, wie man es aufgrund des seit 1990 geltenden Verwertungsgebotes für diese Stoffe erwarten könnte. Ursächlich hierfür ist der allgemeine Rückgang der abgelagerten Abfälle seit den 90er-Jahren, welcher relative Verschiebungen innerhalb der Stoffgruppen bewirkte. Bei den hier benannten mineralischen Abfällen handelt es sich um überwiegend kontaminierte oder grenzwertige Stoffgruppen, welcher in relativer Konstanz angeliefert wurden.

Die prozentuale Verteilung ausgewählter Sekundärrohstoffe über alle elf Deponien zeigen die Abbildungen 15 und 16.

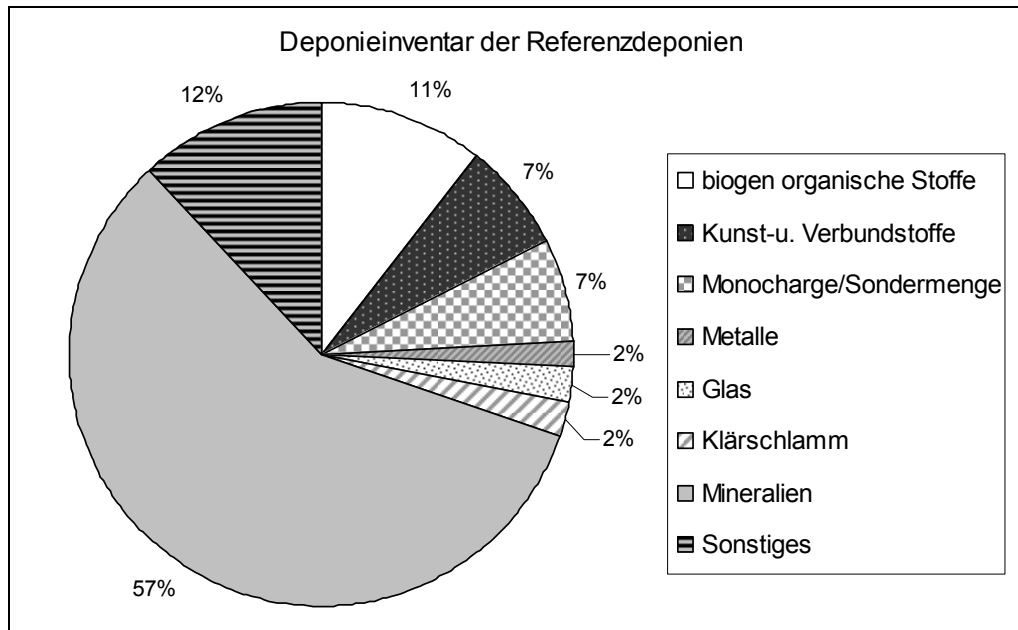


Abb. 15: Kumulierte Sekundärrohstoffanteile der elf hessischen Referenzdeponien für den Zeitraum zwischen 1972 und 2005 unter Berücksichtigung eines fünfzigprozentigen Abbaus der abgelagerten Organik (Deponieinventar)

In Abbildung 15 erscheint der Mineralienanteil überbetont. Dies ist darauf zurückzuführen, dass auf einer sehr großen hessischen Deponie (Deponie L, Abbildung 16) überproportional viel kontaminiertes Erdreich abgelagert wurde. Repräsentativer sind in dieser Hinsicht die Abbildungen 14 und 16.

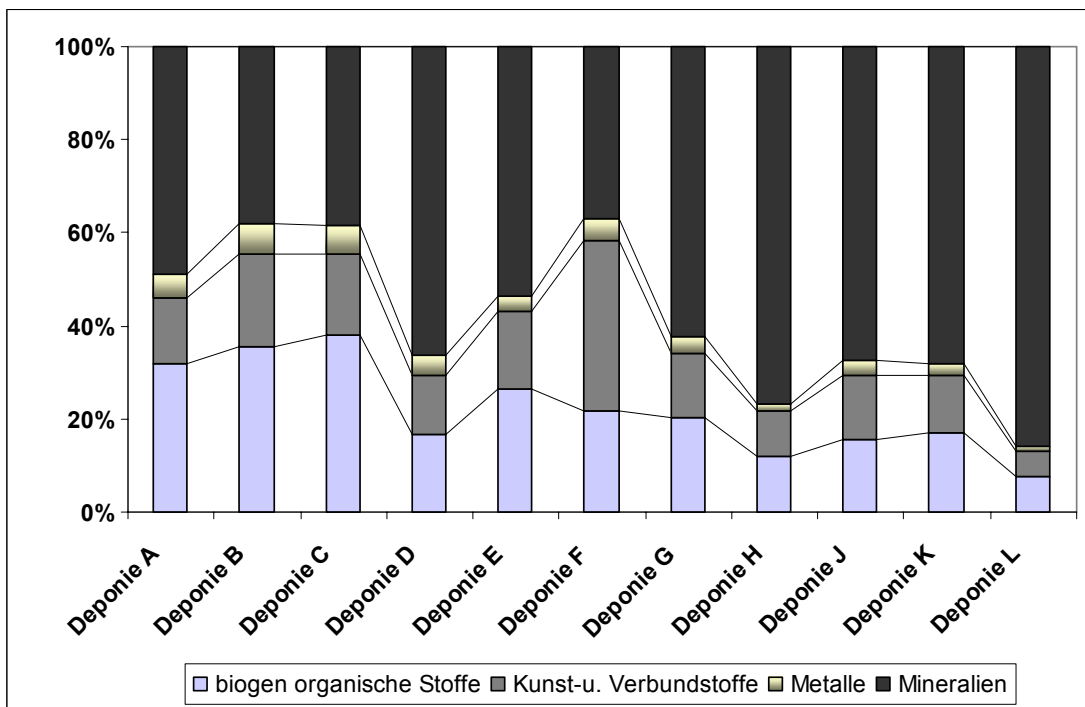


Abb. 16: Spezifische Sekundärrohstoffanteile ausgewählter Stoffgruppen in elf hessischen Deponien

Die prozentuale Verteilung des Sekundärrohstoffanteils in den verschiedenen Deponien unterstreicht die Bedeutung der jeweils individuellen Evaluierung. Diese wird in der Praxis nicht nur Mengenanteile der Gesamtdeponie, sondern die Höffigkeit einzelner Ablagerungsabschnitte in Betracht ziehen.

5.3.2 Quantitative Zusammensetzung des „Deponieinventars“

Die quantitative Zusammenstellung des Deponieinventars zeigt die Summe aller Werte, welche in den Deponien vorhanden sind. In den elf untersuchten Deponien wurden im Bemessungszeitraum rund 56 Mio. Tonnen Abfälle abgelagert. In diesen sind folgende Stoffe enthalten.

Metalle

Die Metalle sind im Regelfall die am höchsten bewerteten Stoffkomponenten einer Deponie. Diese Aussage ist nur bedingt richtig. Untere Stahlsorten, welche noch im Sommer des vergangenen Jahres 125 Euro pro Tonne erzielten, lagen im November des gleichen Jahres bereits im deutlichen Zuzahlungsbereich. Buntmetalle fielen auf ein Drittel ihrer Werte gegenüber 2007 oder darunter. Allerdings ist dieser Zustand nicht normal. Es ist davon auszugehen, dass die Metallpreise perspektivisch wieder anziehen.

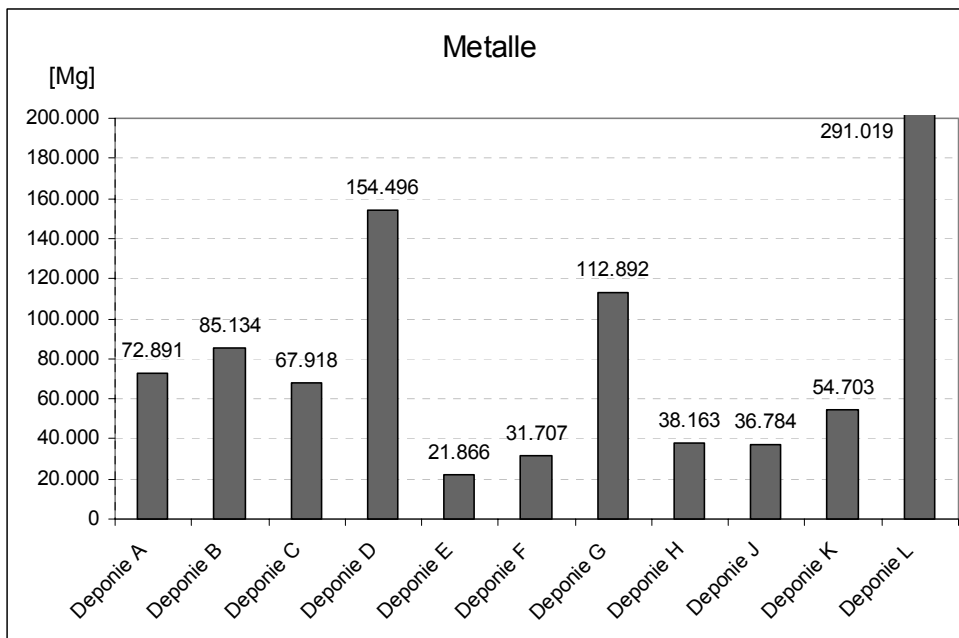


Abb. 17: Metalle in elf hessischen Referenzdeponien

Zusammengefasst lagern in den elf hessischen Referenzdeponien knapp **1 Mio. Tonnen an Metallabfällen**.

Erfahrungsgemäß beträgt der Buntmetallanteil ca. 20 % des Gesamtmetallgehaltes, sodass sehr grob geschätzt davon ausgegangen werden kann, dass in den elf hessischen Referenzdeponien rund **200.000 Tonnen Buntmetalle** und **800.000 Tonnen Stahlschrott** vergraben sind.

Setzt man für diese Wertstoffqualitäten die spezifischen Erlöse der Vergangenheit mit 125 Euro pro Tonne Stahlschrott und 750 Euro pro Tonne abgetrennter, aber noch nicht weitergehend aufbereiteter NE-Metalle an, so ergeben sich folgenden fiktiven vergrabenen Werte:

Stahlschrott:	100 Mio. Euro
NE-Metalle:	150 Mio. Euro
Gesamtwert:	250 Mio. Euro.

Differenziertere Betrachtungen und Hochrechnungen führen in der derzeitigen wirtschaftlichen Situation allerdings nicht weiter.

Kunst- und Verbundstoffe

Neben den Metallabfällen sind die Kunst- und Verbundstoffe die Abfallkomponenten mit dem höchsten Wert. Dieser ist in erster Linie dem Energiegehalt zuzuschreiben, sofern man davon ausgeht, dass die werkstoffliche Verwertung etwas schwieriger werden könnte. Ausschließen sollte man diesen Aspekt allerdings nicht, da die möglichen Aufbereitungstechniken der Zukunft hier nicht zur Diskussion stehen.

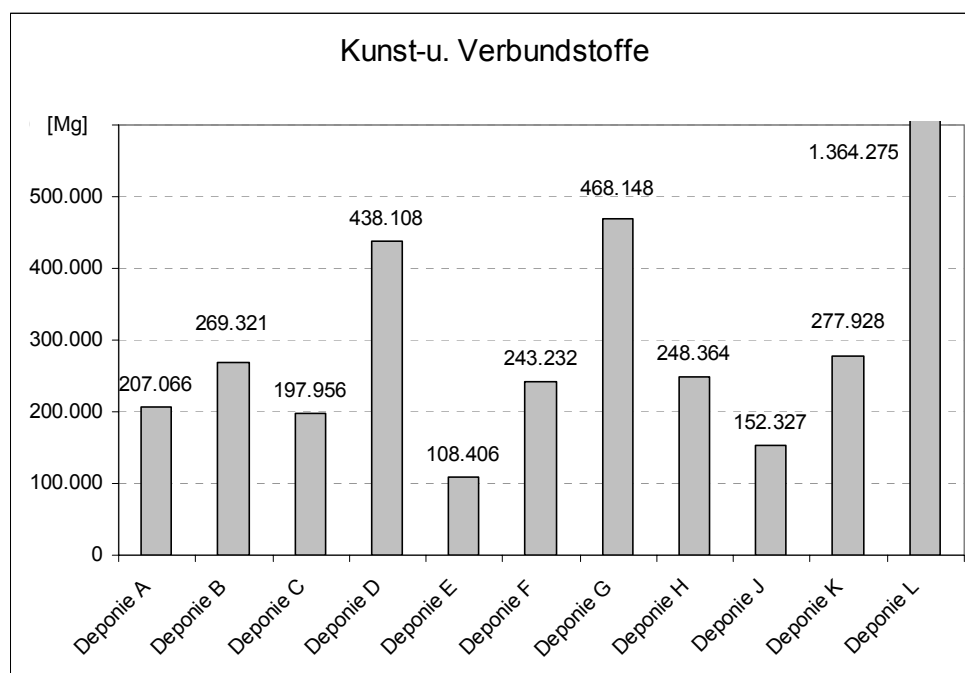


Abb. 18: Kunst- und Verbundstoffe in elf hessischen Referenzdeponien

Zusammengefasst lagern in den elf hessischen Referenzdeponien knapp **4 Mio. Tonnen an Kunst- und Verbundstoffen**.

Die Kunst- und Verbundstoffe stellen ein sehr heterogenes Gemisch aus verschiedenen Kunststoffarten dar. Am weitesten verbreitet sind Polyolefine (Thermoplaste), gefolgt von PVC sowie Duroplasten. Verbundstoffe sind häufig mit Papier oder Pappe sowie Textilien verbunden.

Der mittlere Heizwert (H_u) der Mischfraktion kann überschlägig mit rund 20 MJ/kg angenommen werden. Ausgedrückt in Rohöläquivalenten entspricht das in den elf hessischen Deponien einem abgelagerten **Energieäquivalent von rund 2 Mio. Tonnen Rohöl**, entsprechend rund **12.500.000 Barrel**.

Von ihrem Wertgehalt können gemischte Kunststoffabfälle nur schwerlich mit Rohöl verglichen werden. Sehr einfach lässt sich zwar das Energieäquivalent berechnen, allerdings sind Effizienz und spezifische Wertschöpfung bei den gegebenen Technologien für die unterschiedlichen Einsatzstoffe noch recht unterschiedlich.

Rechnet man dennoch mit zwei unterschiedlichen Zahlen, dem Barrelpreis von 2008 mit rund 150 Dollar und dem von 2009 mit rund 50 Dollar, ergeben sich folgende fiktiven, vergrabenen Werte:

Rohöläquivalent bei 50 Dollar/Barrel: 625 Mio. Dollar (rund 500 Mio. €)

Rohöläquivalent bei 150 Dollar/Barrel: 1.875 Mio. Dollar (rund 1.500 Mio. €)

Diese Werte sind zwar fiktiv, vermitteln aber dennoch ein ungefähres Bild der Verhältnismäßigkeit vergrabener Werte.

Biogene organische Stoffe

Die biogenen organischen Stoffe liegen in sehr unterschiedlicher Form vor. Ein Teil der bereits weitgehend abgebauten organischen Substanz liegt als Feinmaterial vor, andererseits sind bekanntermaßen Zeitungen aus Deponiealtabschnitten noch lesbar und ist Pappe noch als solche erkennbar.

Zusammengenommen lagern in den elf hessischen Deponien knapp **6 Mio. Tonnen biogener organischer Stoffe**.

Die Sortieranalysen von Rückbaumaterial lassen gemäß Abbildung 6 an der betreffenden Deponie erkennen, dass der Anteil nativ organischer Substanz größer 8 bzw. größer 40 mm Siebweite erheblich ist. Somit kann realistischer Weise davon ausgegangen werden, dass sich der überwiegende Anteil der nativ organischen Substanz einer hochkalorischen Fraktion und somit einem potenziellen energetischen Verwertungsweg zuschlagen lässt.

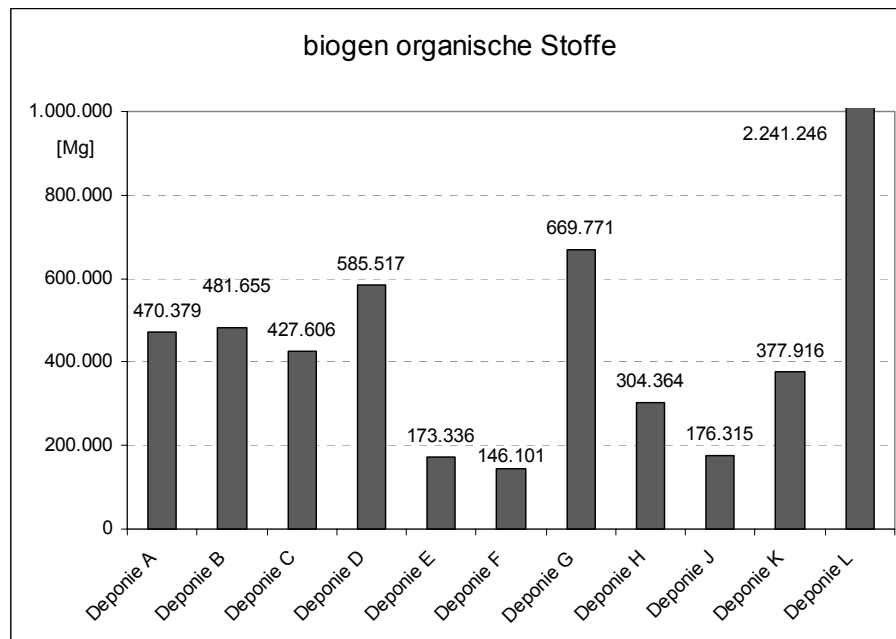


Abb. 19: Biogene organische Stoffe in elf hessischen Referenzdeponien

Bei den in den Sortieranalysen vorgefundenen nativ organischen Stoffen handelt es sich überwiegend um trockenes, verholztes Material bzw. um relativ trockene Papiere und Pappe. Der mittlere Heizwert (H_u) kann überschlägig mit 10 MJ/kg angenommen werden.

Ausgedrückt in Rohöläquivalenten entspricht der energetische Gehalt der in den elf hessischen Referenzdeponien abgelagerten nativen Organik einem **Rohöläquivalent von rund 1,5 Mio. Tonnen** bzw. knapp **9,5 Mio. Barrel Rohöl**.

Perspektivisch kann über extrem lange Ablagerungszeiträume davon ausgegangen werden, dass sich der überwiegende Teil dieser Restbiomasse abbaut. Bei dem zugrunde gelegten Heizwert entspricht das in den vorhandenen biogenen Stoffen enthaltene CO_2 -Potenzial einem spezifischen **CO_2 -Äquivalent von rund 6 Mio. Tonnen**, sofern die enthaltene Biomasse aerob oxidiert (verrottet) bzw. verbrannt wird, was einer aeroben Oxidation entspricht.

Sollte der Prozess innerhalb des Deponiekörpers allerdings anaerob ablaufen, was zu erwarten ist, erhöht sich der spezifische klimawirksame Faktor (21), sofern das entstehende Methan nicht gefasst und oxidiert wird.

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass der Rückbau einer Deponie zur energetischen Behandlung der Biomasse als klimawirksame Maßnahme gewertet wird. Entsprechende Klimakontingente können gehandelt werden.

Aus diesen Betrachtungen heraus ergeben sich folgende potenzielle Gutschriften, welche bei einem Rückbau fiktiv generiert werden können:

Rohöläquivalent bei 50 Dollar/Barrel: 475 Mio. Dollar (rund 380 Mio. €)

Rohöläquivalent bei 150 Dollar/Barrel: 1.425 Mio. Dollar (rund 1.150 Mio. €)

Hinzu zu rechnen sind mögliche Klimagutschriften:

Klimagutschrift bei 5 € pro Tonne CO₂: 30 Mio. €

Klimagutschrift bei 15 € pro Tonne CO₂: 90 Mio. €

An dieser Stelle weiter zu zählen, entspricht der Verteilung des Bärenfells, bevor der Bär erlegt ist, aber die Zahlen sind geeignet, ein Gefühl dafür zu entwickeln, welche möglichen Potenziale in den elf Referenzdeponien gegeben sind.

Zusammenstellung der maßgeblichen Stoffstrompotenziale in elf hessischen Referenzdeponien

Die Summe der in den Referenzdeponien ermittelten Potenziale ist in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tab. 2: Abfallablagerungsmengen in Rohstoffgruppen aller elf Referenzdeponien (Mg, feucht)

Rohstofffraktion	Inventar der Referenzdeponien in [Mg]
biogen organische Stoffe	5.934.205
Kunst- und Verbundstoffe	3.975.113
Monochargen	3.679.386
Metalle	967.572
Glas	1.194.052
Klärschlamm	1.334.061
Mineralien	32.385.931
Sonstiges	6.798.425
Gesamtmenge	56.268.747

Differenziert nach einzelnen Deponien ergibt sich folgendes Bild, wie es Abbildung 20 verdeutlicht.

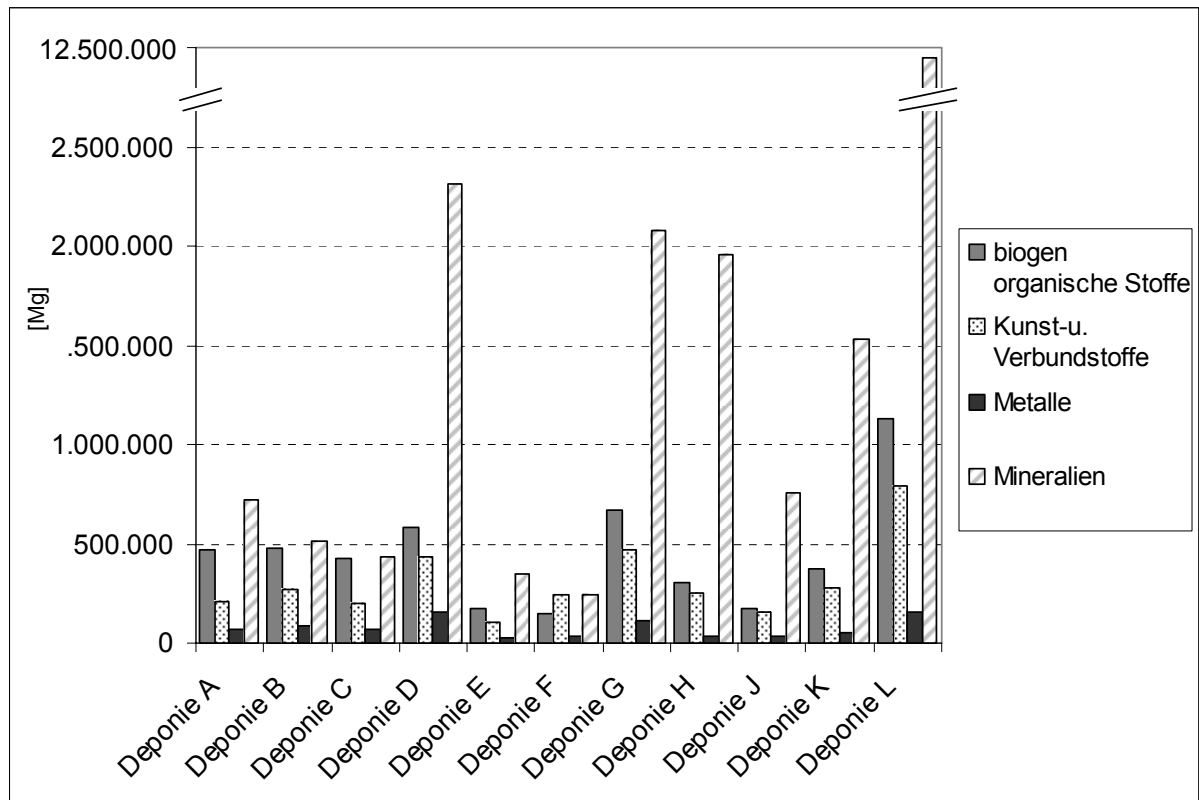


Abb. 20: Ablagerungsmengen an ausgewählte Rohstoffgruppen der elf Referenzdeponien

Die Zusammenstellung zeigt die Wertstoffanteile und die unterschiedliche Charakteristik der hessischen Deponien. Je nach Aufbereitungstechnik und Marktentwicklung könnten zusätzliche Stoffgruppen interessant werden. Zu nennen sind beispielsweise Stickstoff und Phosphat aus Klärschlämmen, Glas, Aschen und deponiebezogene Monochargen.

Den hessischen Deponiebetreibern, die sich die Mühe gemacht haben ihr Datenmaterial für diese Untersuchung zu sichten und auszuwerten, sei an dieser Stelle gedankt, denn es hat Freude gemacht, die Deponien des vergangenen Jahrhunderts nach Wertstoffen durchzuwühlen. Wir hoffen, dass im Gegenzug die gefundenen Erkenntnisse auch für Sie als Betreiber von Wert sind.

6 Literatur

1. Wiemer, K.: Die Lagerungsdichte von Abfällen in Deponien. In: Verlängerung der Nutzungsdauer von Deponien, ISBN 3-992021-08-5, B. Jäger, J. Jäger, K. Wiemer (Hrsg.), 1981
2. Buchholz, P.: Indikatoren zur Früherkennung von Preisentwicklungen auf Rohstoffmärkten. In: Wiemer, K., Kern, M. (Hrsg.): Bio- und Sekundärstoffverwertung III, S. 155–166, Witzhausen 2008

3. BGR: Reserven, Ressourcen und Lebensdauer von mineralischen Rohstoffen und Energierohstoffen, Veröff. der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 1999
4. Witzenhausen-Institut: „Analyse von Rückbaumaterial“ aus Forschungsvorhaben: Wissenschaftliche Stoffstromanalyse verschiedener Inputmaterialien in der Trockenstabilat-Anlage Rennerod, 2001
5. SRU: Abfallwirtschaft, Sondergutachten, Sept. 1990, Metzler-Poeschel, Stuttgart
6. Wiemer, K., Kern, M.: 20. Kassler Abfallforum – Rückblick und Ausblick. In: Wiemer, K., Kern, M. (Hrsg.): Bio- und Sekundärrohstoffverwertung III, S. 17 ff, Witzenhausen 2008
7. Hessische Landesanstalt für Umwelt: Abfallbeseitigungsplan 1, 1980
8. HLUG: Abfallmengenbilanzen, 1991 bis 2005
9. Hess. Ministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit: Abfallentsorgungspläne, Teil 1, 1990,1994, 1999, 2000 und 2005
10. Kern, M., Sprick, W.: Abschätzung des Potenzials an regenerativen Energieträgern im Restmüll. In: Wiemer, K. Kern, M. (Hrsg.), Bio- und Restabfallbehandlung V, S.149–165, Witzenhausen 2001
11. Wiemer, K., u. a.: Gewerbeabfallkataster Hessen, Prof. Wiemer & Partner, Ingenieurgesellschaft Abfall und Umwelt, Witzenhausen 1992
12. Krieter, A.: Eigenkontrollbericht für das Betriebsjahr 2005, Deponie Kirschenplantage, Abfallentsorgung Kreis Kassel, 2005