



Bayerisches Landesamt für
Umwelt



Deponieseminar 2012 – Aktuelles zur Recht und Vollzug



abfall

Fachtagung am 25. September 2012



Bayerisches Landesamt für
Umwelt



Deponieseminar 2012 – Aktuelles zu Recht und Vollzug

Fachtagung am 25. September 2012

UmweltSpezial

Impressum

Deponieseminar 2011 – Aktuelles zu Recht und Vollzug
Fachtagung des LfU am 25.09.2012

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071-0
Fax: 0821 9071-5556
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Redaktion:

LfU Referat 12

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt / Autoren

Druck:

Eigendruck Bayer. Landesamt für Umwelt
Gedruckt auf Papier aus 100 % Altpapier.

Stand:

September 2012

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Deponiesituation in Bayern	5
Karl Johann Drexler, LfU	
Hinweise zum Vollzug der Deponieverordnung (DepV) in Bayern	9
Andreas Schweizer, LfU	
Ökoenergie-Institut Bayern – Beiträge zur umweltverträglichen Energiewende Energie-Atlas Bayern, Solarflächenbörse	18
Simone Klett, LfU, Ökoenergie-Institut Bayern	
Anforderungen für Photovoltaikanlagen (PVA) bei Deponien	26
Karl Johann Drexler, LfU	
Alte Lasten – Neue Energien“ – Chance für die Nachnutzung von Deponieflächen	27
Alexander Böhm, Gesellschaft zur Altlastensanierung in Bayern mbH (GAB)	
Wesentliche Schwerpunkte bei der Erstellung von Machbarkeitsstudien für PVA auf Deponien	33
Dipl.-Ing. (FH) Eckhard Haubrich, Klinger und Partner – Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH, Stuttgart	
Die Verdichtungsanforderungen und der Proctorversuch im Erd- und Deponiebau	52
Dr.-Ing. Dirk Heyer, Zentrum Geotechnik, TU München	
Asphaltdichtung	63
Peter Raunecker, IB-Raunecker	
Was bleibt vom Müll in der Deponie übrig?	73
Prof. Dr.-Ing. Gert Lautenschlager, Hochschule Weihenstephan - Triesdorf	
Dauerhaftigkeit von PE-Rohren in Deponien	87
Helmut Zanzinger & Kurt Engelsing, SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg	
Tagungsleitung / Referenten	103

Deponiesituation in Bayern

Karl Johann Drexler, LfU

1 Aktuelle Deponiesituation

Die Daten der Abfallbilanz 2011 liegen derzeit im Entwurf vor. Eine grundlegende Änderung der Situation ist nicht ersichtlich.

1.1 Zahl der Deponien

DK 0

Ende 2011 waren 185 Deponien der Klasse 0 in Betrieb. Hier hat sich eine deutliche Veränderung zum Vorjahr (305 Deponien) ergeben. Es wurden zwischenzeitlich zahlreiche Deponien stillgelegt, aber auch neue Deponien und -abschnitte sind in Betrieb gegangen. Zum Teil stehen noch Verfahren an.

DK I und II

Auf 32 der insgesamt 40 Deponien der Klassen I und II fanden im Jahr 2011 Ablagerungen statt. Im Jahr 2010 waren noch 33 mit Ablagerungsbetrieb. Zwischenzeitlich ist die Deponie Litzlwalchen verfüllt.

DK III (öffentlich zugänglich)

Für die Ablagerung gefährlicher Abfälle steht die Sonderabfalldeponie Gallenbach des Staatsbetriebes Sonderabfalldeponien zur Verfügung.

Firmeneigene Deponien

Sofern nur firmeneigene Abfälle abgelagert werden, ist diese Deponie bei den Überlegungen zur Entsorgungssicherheit nicht berücksichtigt.

1.2 2011 abgelagerte Abfallmengen und vorhandenes Deponievolumen

Auf Deponien der Deponiekategorie 0 wurden nach den Angaben der Abfallbilanz 2011 ca. 1,8 Mio. t Abfälle abgelagert, wobei ein Restvolumen von ca. 25 Mio. m³ vorhanden ist.

Auf den Deponien der Klassen I und II wurden 2011 ca. 424.000 t (2010: 410.000 t) Abfälle zur Beseitigung abgelagert. 527.000 t (2010: 470.000 t) wurden verwertet, jedoch werden in der Abfallbilanz nicht alle verwerteten Mengen erfasst. Nach Schätzungen des LfU kann die Menge bei den Baumaßnahmen ein Mehrfaches betragen.

Ende 2011 war bei Deponien der Klassen I und II ein ausgebautes Restvolumen von ca. 8,6 Mio. m³, davon für die DK I 4,8 Mio. m³, vorhanden. Die in Betrieb befindlichen Deponien haben ein Restvolumen von 3,5 Mio. m³. Bei Deponien, bei denen derzeit keine Ablagerung erfolgt, besteht ein Deponievolumen von ca. 0,5 Mio. m³. Ob dieses Volumen genutzt wird, ist nicht in allen Fällen geklärt.

Somit ist ausreichend Restvolumen verteilt über Bayern vorhanden, regional ist die Situation jedoch anders. Einzelne Regionen besitzen nur eine Deponie, sodass vertragliche Regelungen notwendig sind.

2 Aktuelle Bauvorhaben auf Deponien

Der bereits genehmigte Abschnitt an der SAD Raindorf wird derzeit ausgebaut, an der SAD Gallenbach erfolgt eine Oberflächenabdichtung mit Dichtungskontrollsystem im Bauabschnitt III.

Bei den Deponien der Klasse I ging 2012 die Deponie Neuötting der Firma Freudlsperger in Betrieb, so dass eine weitere Deponie der Klasse I zur Verfügung steht. Für zwei weitere Deponien laufen Genehmigungsverfahren (Passau-Hellersberg; Odelsham).

An weiteren Deponien der Klassen I und II erfolgten 2010 und 2011 Ausbauten von Deponieabschnitten, sodass sich das zur Verfügung stehende Volumen erhöht hat. Für 2013 ist ein Ausbau an der Deponie Heinersgrund vorgesehen.

Weiter werden Sanierungsarbeiten, wie. z. B. Schachtsanierungen durchgeführt und Deponiegasbehandlungsanlagen der geänderten Deponiegasmenge und -qualität angepasst.

Auf Deponien und -abschnitten in der Stilllegungsphase erfolgt der Bau von Oberflächenabdichtungen.

2012 soll die derzeit größte Deponiebaustelle – die Sanierung des Schlackenberges in Sulzbach – Rosenberg abgeschlossen werden. Für 2013 sind weitere Oberflächenabdichtungen, z. B. Deponie Westfeld, geplant.

3 Vorgaben, Deponie-Info und Merkblätter

3.1 Anforderungen an Abdichtungssysteme nach Anhang 1 DepV

Mit der zum 15.07.2009 in Kraft getretenen neuen DepV wird das System der Regelabdichtung aufgegeben. Es ist nur geregelt, ob und wie viele Abdichtungskomponenten je Deponieklasse erforderlich sind. Somit können Abdichtungssysteme aus unterschiedlichen Komponenten aufgebaut sein. Die Komponenten müssen hierbei nach Punkt 2.1 des Anh. 1 der DepV folgenden allgemeinen Anforderungen genügen:

1. Geokunststoffe, Polymere und serienmäßig hergestellte Dichtungskontrollsysteme benötigen eine Zulassung durch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM): Abfallrecht
2. sonstige Baustoffe, Abdichtungskomponenten und Abdichtungssysteme müssen einem Qualitätsstandard entsprechen, der bundeseinheitlich gewährleistet und deren Eignung gegenüber der zuständigen Behörde nachgewiesen ist.

Hier hat die LAGA Ad-hoc-AG Deponietechnik mittlerweile nahezu komplett bundeseinheitliche Qualitätsstandards (BQS) und Eignungsbeurteilungen festgelegt.

Ebenfalls gelten auch die Eignungsbeurteilungen der LAGA Ad-hoc-AG Deponietechnische Vollzugsfragen weiter.

Auf der Homepage der LAGA finden Sie die bundeseinheitliche Qualitätsstandards (BQS) und Eignungsbeurteilungen. Da die Arbeit der LAGA Ad-hoc-AG: Deponietechnik noch nicht abgeschlossen ist, werden laufend neue BQS eingestellt.

Derzeit liegt ein Antrag des Deutschen Asphaltinstitutes (DAI) für den Einsatz von Asphalt in Dichtungssystemen vor.

3.2 Merkblätter und Deponie-Info

Diese Merkblätter geben Hinweise für den Vollzug und für Praxis. Hier ist eine Fortschreibung und Aktualisierung geplant.

Überarbeitet

Photovoltaikanlagen auf (ehemaligen) Deponien,
LfU-Deponie-Info 2

Muster für die Erstellung von einheitlichen Jahresberichten für die Anlagenüberwachung von Deponien (Deponie-Jahresbericht),
LfU-Deponie-Info 4

Muster für die Erstellung von einheitlichen Jahresberichten für die Anlagenüberwachung von Deponien in der Nachsorge
LfU-Deponie-Info 6

Geplante Deponie-Info

Hinweise zur Annahme von Abfällen
LfU-Deponie-Info 7

Hinweise zu Deponieersatzbaustoffen
LfU-Deponie-Info 8

Ggf. ein weiteres Info zum Qualitätsmanagement, da hier in der Praxis Unsicherheiten auftreten. Auf den Vortrag von Herrn Peukert bei den BADT 2012 wird verwiesen.

3.2.1 Merkblätter – Sammlung Wasser

Diese Merkblätter werden derzeit überarbeitet.

Auslöseschwellen bei der Überwachung des Grundwassers im Bereich von Deponien
– Merkblatt Nr.: 3.6/1

Überwachung von Grund-, Oberflächen- und Sickerwasser im Bereich von Abfallentsorgungsanlagen – Merkblatt Nr.: 3.6/2

Merkblatt für Errichtung, Betrieb und Überwachung von Deponien der DK 0 – Inertabfalldeponien nach Deponieverordnung (DepV) sowie Anpassung und Abschluss bestehender Bauschuttdeponien
– Merkblatt Nr.: 3.6/3

Anlagen 1a – 8

Änderungen im Merkblatt 3.6/3 seit der Veröffentlichung

Ableitung und Speicherung von Deponiesickerwasser, Möglichkeiten, Bemessungsansätze, Technische Anforderungen, Merkblatt 3.6/4

Anlagen 1 - 3

Bewertung von Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altablagern, Merkblatt 3.6/5

Anlagen 1 - 5

3.2.2 Hinweise zu den LfU-Deponie-Info

- PV Anlagen auf Deponien

Im Rahmen der Energiewende sollen verstärkt regenerative Energien genutzt werden. Eine dieser Möglichkeiten ist die Stromgewinnung aus Sonnenenergie. Bereits 2002 wurde auf der Deponie Erbenschwang die erste Anlage installiert. Zwischenzeitlich sind es über 25 Anlagen auf 22 Deponien, die ins Netz einspeisen, und an weiteren Deponien wird geplant und gebaut.

Technische Vorgaben in

LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-4a – „Technische Funktionsschichten – Photovoltaik auf Deponien“ vom 19.12.2011

Das LfU-Deponie Info 2 gibt Hinweise für den Planer, insbesondere zum Schutz der Oberflächenabdichtung und möglicher Einrichtungen.

Dazu wird noch näher eingegangen.

- PN 98 – Probenahme und der Messergebnisse

Auch hier treten immer wieder Fragen. Darauf wird in dem folgenden Referat eingegangen.

Wichtig sind ein vollständiges Probenahmeprotokoll mit Fotos und das Laborprotokoll. Auch ein Untersuchungsbericht mit den für die Untersuchung angewandten Methoden ist erforderlich. Hier lassen sich im Zweifelfall Klärungen herbeiführen.

- Ablagerungen in Sickerwasserleitungen

Dieses Problem ist seit langem bekannt und auch schon häufig diskutiert. Ursache und mögliche Gegenmaßnahmen, aber auch die Frage des Entfernens der Inkrustationen.

Bei neueren Untersuchungen im Zusammenhang mit dem Einbau von Müllverbrennungsgaschen konnten die Ablagerungen als Calcit identifiziert werden. Die Frage stellt sich, sind es nur Ablagerungen in den Leitungen oder ist auch die Entwässerungsschicht betroffen.

Aus Sicht des LfU könnte da ein Workshop mit betroffenen Deponiebetreibern zu einem Erfahrungsaustausch führen. Interessierte können sich bei LfU melden.

4 Rechtliche Änderungen

Die 1. Änderung der Deponieverordnung ist in Kraft. Dazu wurde Hinweise gegeben und Rundschreiben versandt.

Durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz wurde auch die Deponieverordnung geändert. Daraus ergeben sich für die Praxis keine Änderungen.

Was ansteht die die Umsetzung der Industrie-Emissions-Richtlinie, die aber im Deponiebereich im wesentlichen Berichtspflichten für die Überwachungsbehörden enthält.

5 Fazit

Die Entwicklung der Deponiesituation ist regional unterschiedlich. Die Umsetzung der Deponieverordnung in die Praxis erfordert in vielen Bereichen Vorgaben.

Hinweise zum Vollzug der Deponieverordnung (DepV) in Bayern

Andreas Schweizer, LfU

Für den Deponiebereich gilt die DepV vom 27.04.2009, in Kraft seit 16.07.2009 i. d. F. vom 17.10.2011 (1. Änd. DepV).

Mittlerweile hat sich im Verordnungsvollzug zwar schon eine gewisse Routine entwickelt, gleichwohl kommt es sehr häufig zu Umsetzungsfragen, die an uns mit der Bitte einer allgemeingültigen Klärung heran getragen werden.

Mit den hier im Entwurf inhaltlich vorgestellten neuen LfU - Deponie-Infos 7 „Hinweise zur Annahme von Abfällen“ und 8 „Hinweise zum Einsatz von Deponieersatzbaustoffen“ sollen weitere Praxishinweise für eine möglichst einheitliche und transparente Umsetzung der DepV in Bayern gegeben werden.

Aufgrund neuer Fragestellungen sowie Erfahrungen und weiteren Erkenntnisse wird eine regelmäßige Fortschreibung angestrebt.

Für das Deponie-Info 7 „Hinweise zur Annahme von Abfällen“ werden nachfolgend die maßgebend vorgesehenen Ausführungen aufgeführt.

1 Grundlegende Charakterisierung (gC) - § 8 Abs. 1 DepV

Die gC nach § 8 Abs. 1 DepV ist sowohl für Abfälle zur Beseitigung als auch Abfälle zur Verwertung auf der Deponie (Deponieersatzbaustoffe) sorgfältig durchzuführen. Erfolgt eine Beseitigung auf der Deponie, muss der Erzeuger vorab eine Verwertung entsprechend der Abfallhierarchie nach § 6 KrWG geprüft haben.

1.1 Formblatt gC

Zur Vereinfachung und Vereinheitlichung haben wir hierzu ein Formblatt erstellt. Dieses Formblatt steht auf unserer Homepage zur Verfügung.

http://www.lfu.bayern.de/abfall/merkblaetter_deponie_info/doc/charakterisierung.pdf

1.1.1 Abfallhierarchie nach § 6 KrWG

In Umsetzung der entsprechenden Regelung der EU-Abfallrichtlinie sieht § 6 KrWG eine neue fünfstufige Abfallhierarchie vor. § 6 Abs. 1 KrWG legt dabei die generelle Rangfolge – Vermeidung, Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling, sonstige Verwertung (insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung), Beseitigung - fest. Ausgehend von dieser Rangfolge übernimmt § 6 Abs. 2 KrWG die Feinsteuerung der einzelnen Maßnahmen. Für Bayern ist diese Abfallhierarchie nichts grundlegend Neues, weil hier schon seit 1991 eine vergleichbare Rangfolge von Abfallvermeidung, stofflicher Verwertung, energetischer Verwertung und Abfallbeseitigung gilt (vgl. Art. 1 BayAbfG).

Wie bisher ist ein Abfall zur Beseitigung auf Deponien vor der Ablagerung hinsichtlich Verwertung, d. h. jetzt konkret auf Wiederverwendung, Recycling und sonstiger Verwertung, zu prüfen. Der Einsatz von Deponieersatzbaustoffen ist i.d.R. als „sonstige Verwertung“ einzustufen.

1.1.2 Behandelte Abfälle

Der § 6 DepV regelt, dass Abfälle nur abgelagert werden dürfen, die die jeweiligen Annahmekriterien der Deponie oder des Deponieabschnitts einhalten. Soweit es zur Einhaltung der Annahmekriterien erforderlich ist, sind Abfälle vor der Ablagerung zu behandeln.

Für diese Behandlung können die nachfolgenden Fälle unterschieden werden.

1.1.2.1 Nachweis / Dokumentation bei ausschließlicher Konditionierung / Mischen beim Entsorgungsweg Deponie

In der Anlage findet keine Behandlung statt aus der eine Schadstoffsenke resultiert. In diesem Fall muss die Verbesserung bzw. Einstellung geforderter bodenmechanischer Eigenschaften das Ziel sein (die bodenmechanischen Kriterien vor und nach der Behandlung sind zu beschreiben und durch entsprechende Untersuchungen, z. B. Kornverteilungskurven, nachzuweisen).

Bei gemischten Abfällen sind immer die Annahmekriterien im einzelnen Abfall, d.h. vor der Vermischung, einzuhalten.

- Nachweis / Dokumentation:

§ 8 Abs. 1 DepV gilt für die einzelnen Inputchargen, d.h. die gC mitsamt Abfalluntersuchung (Probenahme nach PN98) ist vollständig für jede einzelne Inputcharge nach den Vorgaben der DepV zu erstellen und vorzulegen.

Bei mehreren Schritten hintereinander sind immer die Ursprungsabfälle zu betrachten.

1.1.2.2 Nachweis / Dokumentation beim Entsorgungsweg Deponie und erfolgter Behandlung

Für diesen Fall sind Angaben zu Art und Mengen der Behandlung (z. B. Siebung) mit Nachweis der Schadstoffsenke und des Behandlungserfolges (Stichwort: "Behandlungsplan") zwingend erforderlich.

- Nachweis / Dokumentation:

Die gC des behandelten Bodens/Abfalls ist vollständig nach § 8 Abs. 1 DepV (siehe Formblatt gC) vorzulegen; die Beprobung hat vollständig hinsichtlich Probenahmestrategie, Probenanzahl und Probenahmeprotokoll nach PN98 zu erfolgen. Die Probenahme muss durch einen unabhängigen Fachkundigen erfolgen; Untersuchungsstellen müssen nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert sein (s. Anh. 4 DepV).

Bei mehreren Schritten hintereinander sind immer die Ursprungsabfälle zu betrachten.

1.1.2.3 Nachweis / Dokumentation beim Entsorgungsweg Deponie und erfolgter irreversibler Behandlung (Stabilisierung)

Hier gelten im Prinzip die Vorgaben gemäß erfolgter Behandlung nach Punkt 1.1.3.2. Anstatt dem Behandlungsplan mit Schadstoffsenke, ist die chemische Reaktion (Rezeptur) der vollständigen Stabilisierung anzugeben. Die Eluatherstellung hat hier nach dem pHstat – Verfahren zu erfolgen.

1.2 Regelmäßige Untersuchungshäufigkeit im Rahmen der Abfallannahme

Die sich aus der DepV § 8 ergebenden regelmäßigen Untersuchungshäufigkeiten im Rahmen der Abfallannahme sind als Anlage in Tabelle 1 „Untersuchungshäufigkeiten im Rahmen des Annahmeverfahrens“ dargestellt.

Zur Klarstellung wird darauf hingewiesen, dass eine einmalige Untersuchungshäufigkeit nicht mit einer Laborprobe zu verwechseln ist; vielmehr muss sich die Anzahl dieser nach der PN 98 richten.

Nach § 8 Abs. 2 Satz 1 DepV kann bei asbesthaltigen Abfällen, bei Abfällen, die andere gefährliche Mineralfasern enthalten sowie bei Abfällen, über die alle notwendigen Informationen zum Auslaugverhalten und zur Zusammensetzung bekannt und gegenüber der zuständigen Behörde nachgewiesen sind, bei der gC auf die Abfalluntersuchungen verzichtet werden.

Zu letzteren Abfallarten zählen Straßenaufbruch und Gipskartonplatten, jeweils sortenrein, d.h. ohne Verdacht auf zusätzliche Belastungen.

Außerdem kann, nach § 8 Abs. 8 DepV für bestimmte, nicht gefährliche Abfallarten (\leq DK 0) unter Randbedingungen, von Untersuchungen für die grundlegende Charakterisierung sowie von Kontrolluntersuchungen abgesehen werden. D.h. es darf lediglich auf Untersuchungen verzichtet werden, wenn die immer durchzuführende gC zeigt, dass die Anforderungen für einen Verzicht von Untersuchungen eindeutig eingehalten sind. Die Randbedingungen beziehen sich hier auf eine angegebene Abfallart, den gleichen Herkunftsort und sind nicht für Gemische gültig.

1.3 Kleinmengenregelung - § 8 Abs. 2 Satz 2

Mit der 1. Verordnung zur Änderung der Deponieverordnung vom 17.11.2011 wurde in § 8 Abs. 2 Satz 2 DepV mit der Kleinmengenregelung eine weitere mögliche Ausnahme von den Abfalluntersuchungen eingeführt. Der Verordnungsgeber geht dabei im Regelfall bei einer geringen Menge von < 2 t Abfall und Erzeuger pro Jahr aus, d.h. im Einzelfall kann auch eine größere Menge möglich sein.

Die Ausnahmen des § 8 Abs. 2 Satz 2 DepV für geringe Mengen sind nur dann möglich, wenn Art und Herkunft der Abfälle zweifelsfrei bekannt sind und bei einer Ablagerung auf der jeweiligen Deponieklasse nach fachlicher Beurteilung des LfU hinsichtlich der Auslaugbarkeit in Bezug auf die für die Ablagerung vorgesehene Deponieklasse und den möglichen Auswirkungen auf den Sickerwasser- und Gaspfad keine nachteiligen Auswirkungen auf die Umwelt zu erwarten sind.

Für die geringe Menge an Abfall kann vor der Deponierung auf eine Analyse der Inhaltsstoffe verzichtet werden, wenn dies aufgrund der gC nachgewiesen wird. Zur Ablagerung ist die Zustimmung der zuständigen Genehmigungsbehörde notwendig.

Das LfU empfiehlt zur Abwicklung Folgendes:

- Die Deponiebetreiber lassen sich mit dem Formblatt die Abfallbeschreibung und die Herkunft (gC) sowie insbesondere die „Sortenreinheit“ durch Unterschrift des Abfallerzeugers bestätigen.
- Die Zustimmung der zuständigen Genehmigungsbehörde ist durch Vorlage des Formblattes gC einzuholen.
- Bis zu dieser Zustimmung kann der Abfall gesichert zwischengelagert oder rückholbar eingebaut werden.

2 Hinweise zur Beprobung von Abfällen und Bewertung von Untersuchungsergebnissen

2.1 LAGA PN 98 und LfU – Deponie-Info 3

Die Beprobung (Probenahme, Probenvorbereitung und Untersuchung) von Abfällen und Deponieersatzbaustoffen ist für Deponien im Anhang 4 Nummer 2 DepV geregelt.

Die Probenahme hat gemäß LAGA – Mitteilung 32 – PN 98 zu erfolgen.

Hinweise zur Haufwerksbeprobung für die Entsorgung von Abfällen auf Deponien gibt ergänzend das LfU-Deponie-Info 3.

http://www.lfu.bayern.de/abfall/merkblaetter_deponie_info/doc/probenanzahl.pdf

2.1.1 Erläuterungen zur Probenahme

Gemäß PN 98 Kapitel 6 ist die zu beprobende Grundmenge entsprechend ihrem Volumen (siehe Tabelle 2 des Regelwerks) in die Anzahl gleich großer Teilmengen (Lose / Sektoren) zu unterteilen, die der Anzahl der herzustellenden Mischproben entspricht (1 Los = 1 Mischprobe). Hierbei ist zu beachten, dass 1 Mischprobe aus 4 Einzelproben pro Los / Sektor generiert wird. Diese Vorgehensweise erlaubt das Erkennen von Inhomogenitäten.

Der Probenehmer muss die Fachkunde bzgl. der Probenahme bei der gC nachweisen können. Es ist immer ein aussagekräftiges und vollständiges Probenahmeprotokoll zu erstellen. Zum Probenahmeprotokoll gehören auch Angaben zur genauen Lage der Haufwerke (Plan), Fotos der Haufwerke sowie Informationen zur Abfallentstehung.

2.1.2 Erläuterungen zur Mindestanzahl an Laborproben

Eine Reduzierung der Mindestanzahl an Laborproben nach LAGA PN 98 Tabelle 2 ist nur im begründeten Einzelfall zulässig, wenn eine gleichbleibende Abfallqualität oder homogene Schadstoffverteilung ausreichend belegt sind, z. B. durch vorausgegangene Analysen. Zur Reduzierung der Mindestanzahl an Laborproben gibt das LfU-Deponie-Info 3 Hinweise.

Die gleichbleibende Abfallqualität oder homogene Schadstoffverteilung muss sich bei der Reduzierung der Mindestanzahl an Laborproben in den Analyseergebnissen wieder finden. Demnach wird die gleichbleibende Abfallqualität oder homogene Schadstoffverteilung durch Übereinstimmung der Ergebnisse im Rahmen der zugelassenen Abweichungen nach Anh. 4 Nr. 4 DepV bestätigt.

Dies gilt bei Reduzierung der Probenanzahl immer, auch wenn die Laborprobenanzahl nicht maximal (d.h. auf 2 Laborproben) reduziert wird. Für diese Fälle (z.B. Reduktion der Laborprobenanzahl auf 3) muss die gleichbleibende Abfallqualität oder homogene Schadstoffverteilung durch Übereinstimmung des niedrigsten und des höchsten Ergebnisses bestätigt werden.

Um zu verhindern, dass bei geringer Ausschöpfung der Zuordnungswerte (unter dem Bestimmungsbereich oder knapp darüber) eine irreführende prozentuale Abweichung (nach Anh. 4 Nr. 4) attestiert würde, sind Analyseergebnisse mit maximal 50 % des Zuordnungswertes bei Prüfung der Übereinstimmung mit dem halben Zuordnungswert nach Anh. 3 Nr. 2 Tab. 2 DepV anzusetzen.

2.2 Fachkunde Probenehmer

Gemäß Anhang 4 Nr. 1 DepV ist die Probenahme für die grundlegende Charakterisierung von Personen durchzuführen, die über die erforderliche Fachkunde verfügen. Bei Kontrolluntersuchungen ist die Sachkunde ausreichend.

Die DepV beschreibt die notwendigen Qualifizierungen des Fach- und Sachkundigen. Der Fachkundige für die Probenahme muss darüber hinaus Kenntnisse besitzen, die für die Festlegung der Probenahme-strategie erforderlich ist. Dazu gehören Kenntnisse über stofflich, räumlich und zeitlich variierende Abfalleigenschaften, die für die Probenahme relevant sind. Ausführungen hierzu sind auch in der LAGA PN 98, Punkt 3.1 "Grundlagen" zu finden.

Bei einem abfallerzeugenden Betrieb ist ggf. im Einzelfall zu prüfen, ob einzelne Mitarbeiter für die Probenahme fachkundig sind. Es wird allerdings empfohlen, die Probenahme durch ein nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes Untersuchungslabor oder einen akkreditierten Probenehmer durchführen zu lassen.

2.3 Bewertung Messergebnisse – Wert der grundlegenden Charakterisierung

Zur Prüfung der Ablagerungskriterien sind sämtliche Messwerte anzugeben.

Bei der Bewertung, ob das Zuordnungskriterium eingehalten ist, ist der Median aller Messwerte heran zu ziehen.

Parameter mit bis maximal 50 % Ausschöpfung des Zuordnungswertes sind für die Überprüfung der Übereinstimmung mit der Kontrollanalyse mit dem halben Zuordnungswert nach Anh. 3 Nr. 2 Tab. 2 anzusetzen. Hierdurch wird verhindert, dass bei geringer Ausschöpfung der Zuordnungswerte (unter dem Bestimmungsbereich oder knapp darüber) eine irreführende prozentuale Abweichung (nach Anh. 4 Nr. 4) attestiert würde.

2.4 Kontrolluntersuchung

Probenahmen für Kontrollanalysen im Rahmen der Annahmekontrolle nach DepV können gemäß der Anmerkung unter 9.3 der LAGA PN 98 durchgeführt werden.

Von einer Übereinstimmung des Abfalls ist auszugehen, wenn die Ergebnisse im Rahmen der möglichen Abweichung nach Anh. 4 Nr. 4 DepV liegen.

Hinsichtlich des zur Prüfung der Übereinstimmung mit der Kontrolluntersuchung heranzuziehenden Wertes der grundlegenden Charakterisierung wird auf den vorgenannten Punkt hingewiesen.

Bei Zuordnungskriterien ist noch von einer Übereinstimmung auszugehen, wenn der Messwert der Kontrolluntersuchung nicht größer als die Summe aus dem Wert, bis zu dem die Behörde die Zustimmung zur Ablagerung gegeben hat und dem, für die Deponie geltenden Zuordnungswert der Tabelle 2 Anhang 3 DepV ist.

2.5 Überschreitung der Feststoff-Organikparameter (TOC/GV) – mögliches Vorgehen

Regelungen hierzu sind in der DepV im Anh. 3 Nr. 2 Satz 11 sowie im Anh. 3 Tab. 2 in den FN 3, 4 und 5 genannt.

Vorgehen bei $\text{TOC} \leq 6$ Masse- % bei den Abfallarten Bodenaushub und Baggergut:

Wegen uns bisher vorliegender Ergebnisse und Erfahrungen, kann für diese Fälle bei Deponien der Klassen DK 0, DK I und DK II auf die Bestimmung von Brennwert und AT_4 bzw. GB_{21} verzichtet werden.

Ein Antrag auf Zustimmung der zuständigen Genehmigungsbehörde ist aber weiterhin notwendig.

3 Zusätzliche Zuordnungswerte – „Richtwerte“

Die im Anhang 3 der DepV aufgelisteten Zuordnungswerte (siehe Tab. 2) sind nicht abschließend. Vielmehr sind Verdachtsparameter aufgrund der Abfallart und insbesondere der Herkunft zusätzlich zu untersuchen. Um hier für gängige Parameter bereits einen Rahmen vorzugeben, hat das LfU diese zusätzlichen Zuordnungswerte als „Richtwerte“ auf seiner Homepage veröffentlicht. Diese Richtwerte sind keine Zuordnungswerte nach DepV; eine 3-fach Überschreitung ist hier nicht vorgesehen.

Die 77. Umweltministerkonferenz (UMK) vom 02. - 04.11.2011 hat sich für die organischen Schadstoffe BTEX, PAK, MKW, LHKW, PCB und PCDD/F auf Werte verständigt, die nicht als Zuordnungswerte im Anh. 3 DepV genannt sind. Diese Vorgaben sind im Vollzug in Bayern zu berücksichtigen. Abweichend vom UMK – Beschluss ist aber in Bayern die Verwertung von sortenreinem teerhaltigem Straßenaufbruch weiterhin auch auf DK I unter Einhaltung der Zulassungsvoraussetzungen möglich.

Die angepassten „Richtwerte“ stehen in Kürze auf unserer Homepage zur Verfügung.

http://www.lfu.bayern.de/abfall/merkblaetter_deponie_info/doc/richtwerte_deponien.pdf

Für das Deponie-Info 8 „Hinweise zum Einsatz von Deponieersatzbaustoffen“ werden nachfolgend die maßgebend vorgesehenen Ausführungen aufgeführt.

1 Verwendung von Deponieersatzbaustoffen

Nach § 6 Abs. 1 KrWG ist der Einsatz von Deponieersatzbaustoffen in der Abfallhierarchie i. d. R. als „sonstige Verwertung“ einzustufen.

Deponieersatzbaustoffe dürfen nach den §§ 14 ff DepV nur für den zugelassenen Einsatzbereich verwendet werden, wenn das Wohl der Allgemeinheit hierdurch nicht beeinträchtigt wird; insbesondere nicht über die unbedingt notwendige Menge hinaus. Es dürfen nur mineralische Abfälle eingesetzt werden (ausgenommen Rekultivierungsschicht des Oberflächenabdichtungssystems). Der Einsatz von „Deponieersatzbaustoffen“ kann dazu beitragen, Primärrohstoffe (z. B. Boden, Sand, Kies) zu ersetzen und somit Ressourcen zu schonen.

Für das Annahmeverfahren verweist § 17 DepV auf § 8 DepV für die Annahme von Abfällen zur Beseitigung. Auf das Deponie-Info 7 wird hingewiesen.

Die DepV gilt nach § 1 Abs. Nr. 2 DepV auch für die Behandlung von Abfällen zum Zweck des Einsatzes als Deponieersatzbaustoff und ist auch direkt für Betreiber von Anlagen zur Herstellung von Deponieersatzbaustoffen (§ 1 Abs. 2 Nr. 5 DepV) einschlägig.

1.1 Einsatz bei betrieblichen Maßnahmen im Deponiekörper

Hier sind z. B. notwendige Maßnahmen wie Fahrstraßen, Wendeflächen, und Abdeckung von Asbest und gefährlicher KMF, gemeint. Für diese betrieblichen Maßnahmen erfolgt eine Abstimmung der Verwertungsmaßnahme mit den Fach- und Genehmigungsbehörden (in der Regel kein Bescheid erforderlich, ggf. Zustimmungsschreiben oder Anzeigeverfahren). Die Notwendigkeit des Einsatzes von Deponieersatzbaustoffen ist fachlich zu begründen. Hierzu sind die Maßnahmen planlich darzustellen und zu erläutern (Einsatzzweck, vorgesehene Materialqualität, Menge, zeitliche Abwicklung, etc.). Die geotechnische Qualität (bodenmechanische Anforderungen) des Materials muss hier in der Regel nicht durch einen unabhängigen Dritten geprüft werden, sondern kann vom Betreiber selbst kontrolliert werden.

1.2 Einsatz bei Deponiebaumaßnahmen

Je nach Größe und insbesondere auch Funktion der Baumaßnahme, liegt hierfür ein Bescheid, eine Plangenehmigung oder eine Planfeststellung der Genehmigungsbehörde zu Grunde. Für diese Fälle ist das Qualitätsmanagement (QM) in einem Qualitätsmanagementplan (QMP) zu regeln.

Für „sonstige Materialien“ nach Nr. 2.1 Anh. 1 DepV sind die Anforderungen der zur Verfügung stehenden bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS) heran zu ziehen. Konkret sind dies

- BQS 2-3 „Mineralische Basisabdichtungskomponenten aus Deponieersatzbaustoffen“
- BQS 4-1 „Trag- und Ausgleichsschichten“

Hinweis:

Bei den Trag- und Ausgleichsschichten muss vor einer Erhöhung der üblichen Lagenstärke von 50 cm, um die Auflagerbedingungen zu verbessern, deren bautechnische Eignung optimiert werden.

- BQS 5-3 „Mineralische Oberflächenabdichtungskomponenten aus Deponieersatzbaustoffen“

Die feinkörnige Ausgleichsschicht unterhalb einer Bentonitmatte (Auflager) kann wegen noch nicht abschließend bekannter Wechselwirkungen zwischen Auflager und Bentonitmatte hinsichtlich Ionenaustausch und Quellvermögen nicht mit Deponieersatzbaustoffen im direkten Kontaktbereich hergestellt werden.

1.2.1 Prüfung von Deponieersatzbaustoffen im Rahmen des QM

Beim Einsatz von Deponieersatzbaustoffen im Rahmen qualitätsüberwachter Deponiebaumaßnahmen sind die Deponieersatzbaustoffe hinsichtlich der geotechnischen Anforderungen wie Primärbaustoffen zu handhaben. D.h. gemäß QM sind hier auch Eigen- und Fremdprüfer zu beauftragen.

Die Aufgabe des Fremdprüfers umfasst primär den Bereich der geo- und bautechnischen Überwachung, doch ist auch die Prüfung der Einhaltung der Vorgaben der grundlegenden Charakterisierung, inklusive der Zuordnungswerte eine wichtige und komplexe Aufgabe, die einer analogen externen Überprüfung bedarf, wenn der Betreiber (hier: Bauherr) selbst die Vorgaben des § 17 DepV i. V. mit § 8 DepV nicht in ausreichender Tiefe leisten kann oder will. Dies ist bei größeren Baumaßnahmen i. d. R. der Fall. Hier muss ein beauftragter Dritter mit dem Status eines unabhängigen Prüfers (z. B. FP) zusätzlich die Prüfung/Dokumentation der Annahme nach § 8 DepV bestätigen und mit der Eignungsprüfung Bautechnik zusammenführen.

Es ist sinnvoll, wenn insgesamt ein Fremdprüfer bestimmt wird. Sollte dies aufgrund fehlender Zulassungen nicht möglich sein, können für Teilbereiche geeignete Institute oder Fachbüros bestimmt werden, die zusammenwirken müssen. Die Bestellung einer federführenden Institution, welche die Gesamtverantwortung trägt, ist in diesem Fall geboten. In der Regel dürfte die Federführung einem geo/bautechnischen Institut zuzuordnen sein. Maßgeblich sind die Fachkompetenz und Unabhängigkeit des Fremdprüfers im Rahmen des entsprechenden Bauprojektes. Interessenskonflikte müssen ausgeschlossen sein. Nicht zulässig ist, wenn die beauftragte Baufirma gleichzeitig die Funktion des Fremdprüfers übernimmt; nicht zielführend ist dies aus unserer Sicht für das die Baumaßnahme planende Ingenieurbüro. Die Aufgaben des Fremdprüfers sowie das Zusammenwirken verschiedener Institutionen, sind detailliert im QMP festzulegen.

Das gesamte Procedere muss im QMP abgebildet sein und bedarf der Zustimmung der zuständigen Behörde.

Ist eine qualifizierte Fremdprüfung gesichert, besteht grundsätzlich die Möglichkeit, dass der Fremdprüfer nach fundierter Prüfung die Annahme geeigneter Chargen von Deponieersatzbaustoffen und von Material für die Rekultivierungsschicht eigenverantwortlich erklärt und dem LfU in geeigneter Form (Übersicht) in festzulegenden Zeitabständen (z. B. quartalsmäßig) eine Aufstellung übermittelt. Alternativ kann auch eine Einzelfreigabe durch das LfU nach erfolgter Fremdprüfung festgelegt werden oder eine Kombination beider Vorgehensweisen, wo nach einer Einarbeitung der Fremdprüfer die Annahmen eigenverantwortlich abwickelt.

Eine Freigabe von Material durch das LfU kann im Einzelfall nur bei Vorliegen vollständiger Fremdprüfungsergebnisse erfolgen.

I. d. R. muss ein deutlich größerer Aufwand und ein höherer Zeitbedarf (Vorlauf der Prüfung der Annahmekriterien und der Bautechnik) einkalkuliert werden.

Hinsichtlich der Prüfung der Ergebnisse der Eignungsprüfung auf Vollständigkeit und Bewertung der für den Einbau vorgesehenen Baustoffe, sind die Deponieersatzbaustoffe hinsichtlich der geotechnischen Anforderungen wie Primärbaustoffen zu handhaben.

Es ist vorgesehen nach Einarbeitung der Diskussionsergebnisse die LfU-Deponie-Infos 7 und 8 noch im Herbst dieses Jahres auf unserer Homepage zur Verfügung zu stellen. Gerne werden auch noch Anregungen im Nachgang zum Deponieseminar entgegengenommen.

Untersuchungshäufigkeiten im Rahmen des Annahmeverfahrens nach § 8 DepV vom 17.10.2011

	Abfall-untersuchung¹ durch Abfallerzeuger / Einsammler	Eigenuntersuchung der Schlüsselparameter durch Abfallerzeuger / Einsammler	Kontrolluntersuchung durch Deponiebetreiber
nicht gefährliche Abfälle	einmalig auf Zuordnungskriterien	alle 1.000 t auf Einhaltung der Zuordnungskriterien, mindestens aber jährlich entfällt, wenn die gesamte zu deponierende Abfallmenge im Rahmen der grundlegenden Charakterisierung nach Anhang 4 beprobt und untersucht wurde bei spez. Massenabfall Reduktion auf einmal alle drei Monate mit Zust. zuständiger Behörde möglich	< 500 t – keine > 500 t – von den ersten 500 t auf Zuordnungskriterien ² , weiter je angefangene 5.000 t auf Schlüsselparameter, mindestens aber jährlich – bei spez. Massenabfall Reduzierung auf einmal jährlich auf Schlüsselparameter mit Zust. zuständiger Behörde möglich
gefährliche Abfälle	einmalig auf Zuordnungskriterien	alle 1.000 t auf Einhaltung der Zuordnungskriterien, mindestens aber jährlich entfällt, wenn die gesamte zu deponierende Abfallmenge im Rahmen der grundlegenden Charakterisierung nach Anhang 4 beprobt und untersucht wurde bei spez. Massenabfall Reduktion auf einmal alle drei Monate mit Zust. zuständiger Behörde möglich	< 50 t – keine > 50 t – von den ersten 50 t auf Zuordnungskriterien ² ; weiter je angefangene 2.500 t auf Schlüsselparameter, mindestens aber jährlich – bei spez. Massenabfall Reduzierung auf einmal jährlich auf Schlüsselparameter mit Zust. zuständiger Behörde möglich
Inertabfälle nach § 8 (8) ³	keine	keine	keine

¹ nach § 8 Abs. 1 Punkte 6, 7 und 8 als ein Bestandteil der grundlegenden Charakterisierung nach § 8 Abs. 1 – oft auch als „Deklarationsanalyse“ bezeichnet

² in begründeten Einzelfällen auf Schlüsselparameter

³ 1. von nur einer Anfallstelle 2. keine Anhaltspunkte bestehen, dass die Zuordnungskriterien des Anhangs 3 für die Deponieklasse 0 überschritten werden 3. keine Anhaltspunkte bestehen, dass der Abfall durch Schadstoffe, für die in Anhang 3 keine Zuordnungskriterien festgelegt sind, so verunreinigt ist, dass das Wohl der Allgemeinheit bei einer Ablagerung beeinträchtigt wird 4. der Abfall nicht mehr als 5 Volumenprozent an Fremdstoffen, insbesondere Metalle, Kunststoffe, Humus, Holz und Gummi, enthält

	Abfall- untersuchung durch Abfallerzeuger / Einsammler	Eigenuntersuchung der Schlüsselparameter durch Abfallerzeuger / Einsammler	Kontrolluntersuchung durch Deponiebetreiber
Asbest-/KMF- Abfälle	Keine ⁴	keine ⁴	Keine ⁵
Asbest-/KMF- Abfälle mit Verdacht auf andere schädliche Verunreinigung	einmalig auf Zuordnungskriterien	alle 1.000 t auf Einhaltung der Zuordnungskriterien, mindestens aber jährlich bei spez. Massenabfall Reduktion auf einmal alle drei Monate mit Zust. zuständiger Behörde möglich	< 50 t - keine > 50 t – von den ersten 50 t auf Zuordnungskriterien ^{2,5} , weiter je angefangene 2500 t auf Schlüsselpara- meter, mindestens aber jährlich
Abfälle über die alle notwendigen Informationen zum Auslaug-verhalten und zur Zusam- mensetzung bekannt und gegenüber der zuständigen Behörde nach- gewiesen sind	keine ⁴	keine	Keine ⁶
Geringe Mengen / Kleinmengen	Keine oder eingeschränkt Mit Zustimmung der der zuständigen Behörde	keine	keine ⁶
Schadensfälle wie Brände und Naturkatastrophen / Havarie	Keine oder eingeschränkt Mit Zustimmung der der zuständigen Behörde	keine	keine ⁶

⁴ Gilt nur, wenn keine Anhaltspunkte dafür vorliegen, dass diese Abfälle andere schädliche Verunreinigungen enthalten.

⁵ Wenn vom Abfallerzeuger eine Erklärung abgegeben wird, dass der angelieferte Abfall dem grundlegend charakterisierten Abfall entspricht und eine Überschreitung der Zuordnungskriterien der jeweiligen Deponieklasse nicht zu erwarten ist, kann auf eine Kontrolluntersuchung i. d. R. verzichtet werden.

⁶ Im Einzelfall kann eine Kontrolluntersuchung zur Bestätigung der Ablagerungsvoraussetzungen angezeigt sein.

Hinweis:

Der Deponiebetreiber hat immer eine Kontrolluntersuchung auf Einhaltung der Zuordnungskriterien durchzuführen, wenn sich bei der Annahmekontrolle nach § 8 Abs. 4 DepV Anhaltspunkte dafür ergeben, dass die Anforderungen an die Beschaffenheit der Abfälle für die vorgesehene Ablagerung nicht eingehalten sind oder Differenzen zwischen Begleitpapieren und angelieferterem Abfall bestehen.

Ökoenergie-Institut Bayern – Beiträge zur umweltverträglichen Energiewende

Energie-Atlas Bayern, Solarflächenbörse

Simone Klett, LfU, Ökoenergie-Institut Bayern

1 Energiewende in Bayern

Nach den katastrophalen Ereignissen in Fukushima hat die Bayerische Staatsregierung mit dem Energiekonzept „Energie innovativ“ am 24.05.2011 die Energiewende in Bayern auf den Weg gebracht.

Ziel des Energiekonzeptes ist es unter anderem, bis 2021 den Anteil der Erneuerbaren Energien (bezogen auf den Stromverbrauch) von 26 % (2010) auf 50 bis 54 % zu verdoppeln.

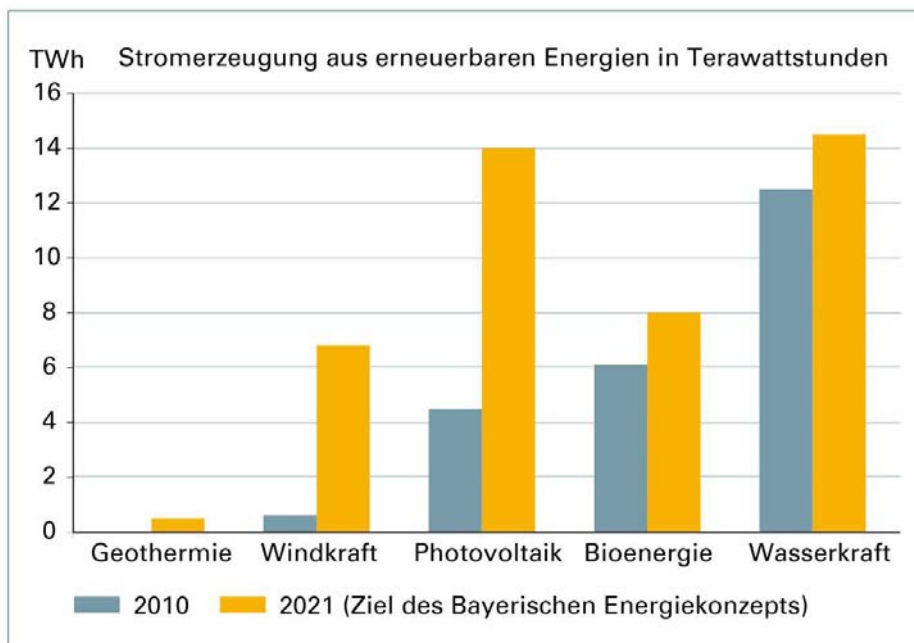


Abb. 1:
Ausbauziele 2021 für
die erneuerbaren
Energien

Dazu ist im Einzelnen vorgesehen, im Jahr 2021

- 17 % des Stromverbrauchs durch Wasserkraft zu decken,
- 16 % des bayerischen Stromverbrauchs durch Photovoltaik (PV) abzudecken – entspricht rd. 14.000 MW installierter Leistung – (2010: ca. 7 %),
- 1.000 - 1.500 neue Windkraft-Anlagen in Bayern zu errichten, damit ca. 6 - 10 % des Stromverbrauchs abgedeckt werden können (2010: ca. 0,6 %),
- 9 % des Gesamtenergieverbrauchs und 10 % des Stromverbrauch durch Biomasse abzudecken (2010 rd. 7 % bzw. rd. 6 %),
- 1 % des Gesamtenergieverbrauchs (2010: < 0,2 %) sowie rd. 0,6 % (2010: << 0,1 %) des Stromverbrauchs durch Tiefengeothermie abzudecken.

Weitere wichtige Punkte im Energiekonzept sind der Ausbau der Energienetze, die Integration der erneuerbaren Energien am Strommarkt und in den Netzen, die Einrichtung von Speichermöglichkeiten, die effiziente Erzeugung und Verwendung von Wärme und Strom, der Ausbau der Erdgasinfrastruktur sowie eine effiziente und klimaschonende Mobilität.

Dabei soll die Energiewende umweltverträglich, bezahlbar und sicher gestaltet werden.

2 Ökoenergie-Institut Bayern (ÖIB)

Die Umweltverträglichkeit der Energiewende ist zentrales Thema des Ökoenergie-Institutes (ÖIB), das 2011 am Bayerischen Landesamt für Umwelt eingerichtet wurde. Das ÖIB setzt Akzente für einen umweltverträglichen Ausbau der Ökoenergien in Bayern durch innovative Konzepte, Strategien und Modellprojekten in enger Kooperation mit regionalen Akteuren und Entscheidungsträgern. Über Ansprechpartner in allen Fachabteilungen ist das Institut vom gesamten Know-how des Landesamtes für Umwelt getragen. Mit der Energieagentur Energie Innovativ arbeitet das ÖIB in enger Abstimmung zusammen.

Aktuelle Projekte am ÖIB sind u. a.

- Gebietskulisse Windkraft im Energie-Atlas Bayern: Online-Darstellung von Flächen, die potenziell zur Nutzung von Windkraft geeignet
- Leitfaden „Ökologische Gestaltung von Freiflächen-Photovoltaikanlagen“
- Innovative Modellprojekte wie Ökosolarparks, Windstützpunkte oder ökologische Wasserkraft
- Aufbau von Windstützpunkten in allen Regionen Bayerns als Informationsstellen über Windkraftnutzung
- Begleitung eines Modellprojekts zur dezentralen Stromnetzregelung und Energiespeicherung in Passivhäusern
- Aufbau eines Internet-Tools zur Abschätzung des regionalen Energie-Mix in bayerischen Regionen
- Aufbau einer Solarflächeninformationsbörse im Energie-Atlas Bayern
- Aufbau einer Abwärmeinformationsbörse im Energie-Atlas Bayern

3 Energie-Atlas Bayern

Zu den Aufgaben des ÖIB zählen ebenso die Weiterentwicklung und der Betrieb des Energie-Atlas Bayern, der zentralen Internet-Portal der Bayerischen Staatsregierung rund um die Themen der Energiewende. Er bietet Bürgerinnen und Bürgern, Unternehmen und Kommunen kostenlos eine Fülle an Informationen zum Thema Energie. Innovativ sind die Texte eng mit interaktiven Karten verzahnt. Die technische Umsetzung erfolgt in enger Zusammenarbeit mit der Bayerischen Vermessungsverwaltung. Der Energie-Atlas Bayern wird laufend aktualisiert und ergänzt. Seitdem er vor gut einem Jahr online gegangen ist, greifen Tag für Tag über tausend Nutzer auf den Energie-Atlas zu, Tendenz steigend.

Der Energie-Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de) hilft dabei,

- Einsparpotenziale im Alltag zu erkennen
- einen Energieberater auszuwählen
- ein geeignetes Förderprogramm zu finden

- anschaulich mit einfachen Schritt-für-Schritt-Anleitungen
- mit Tipps und Hinweisen zu Genehmigungsverfahren
- mit Beispielen aus der Praxis

Zentrales Leitmotiv ist der „Energie-3-Sprung“:



Abb. 2: Energie-3-Sprung

1. Sprung: Energieverbrauch vermeiden

Bsp.: Herunterdrehen der Heizung in unbenutzten Räumen

2. Sprung: Energieeffiziente Techniken einsetzen

Bsp.: Verminderung von Wärmeverlusten durch energetische Gebäudesanierung

3. Sprung: Fossile Energieträger durch erneuerbare Energien ersetzen

Bsp.: Bereitstellung von Warmwasser mit einer Solarthermieanlage

Die ersten beiden Sprünge senken den Bedarf an Energie, der dritte Sprung deckt den verbleibenden Bedarf durch erneuerbare Energien.

Neben einem ausführlichen Textteil steht ein interaktiver Kartenteil zur Verfügung. Für jeden Standort in Bayern ist eine Vielzahl an Daten abrufbar:

- Anlagen: Windkraftanlagen, Biomasseanlagen, PV-Anlagen, ...
- Potenziale: Windgeschwindigkeiten, Globalstrahlung, günstige Gebiete und Standortcheck für Erdwärmesonden ...
- Planungsgrundlagen: Schutzgebiete, Stromleitungen ...
- Regionale Statistiken: Installierte Leistung und Stromproduktion pro Gemeinde, Landkreis und Regierungsbezirk ...
- Praxisbeispiele: Bürgerwindanlagen, Gebäudesanierung ...

Deponien im Energie-Atlas Bayern

Deponien sind im Energie-Atlas Bayern derzeit erfasst, wenn Deponiegas verstromt wird und nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vergütet wird.

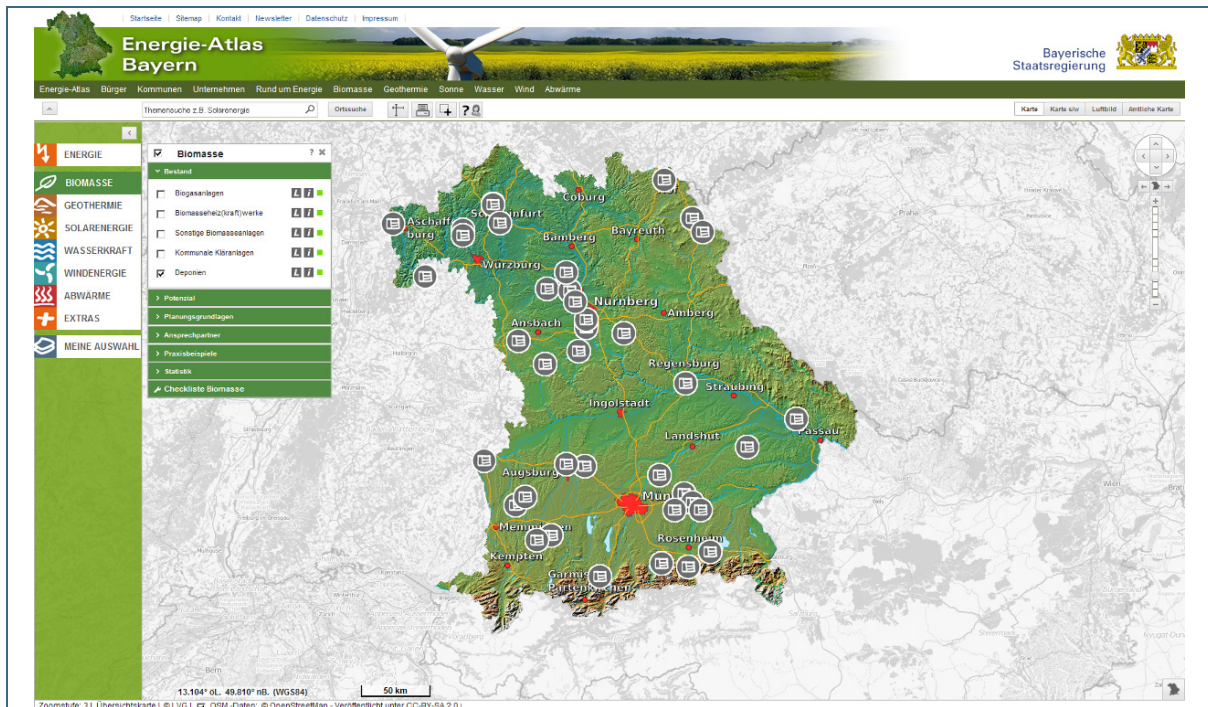


Abb. 3: Energie-Atlas Bayern – Deponien mit Energiegewinnung durch Verstromung von Deponiegas

Auch unter dem Menüpunkt „Praxisbeispiele“ finden Sie Deponien. Aktuelles Beispiel ist die Errichtung einer Photovoltaik-Anlage auf einer Deponie im Landkreis Ebersberg.

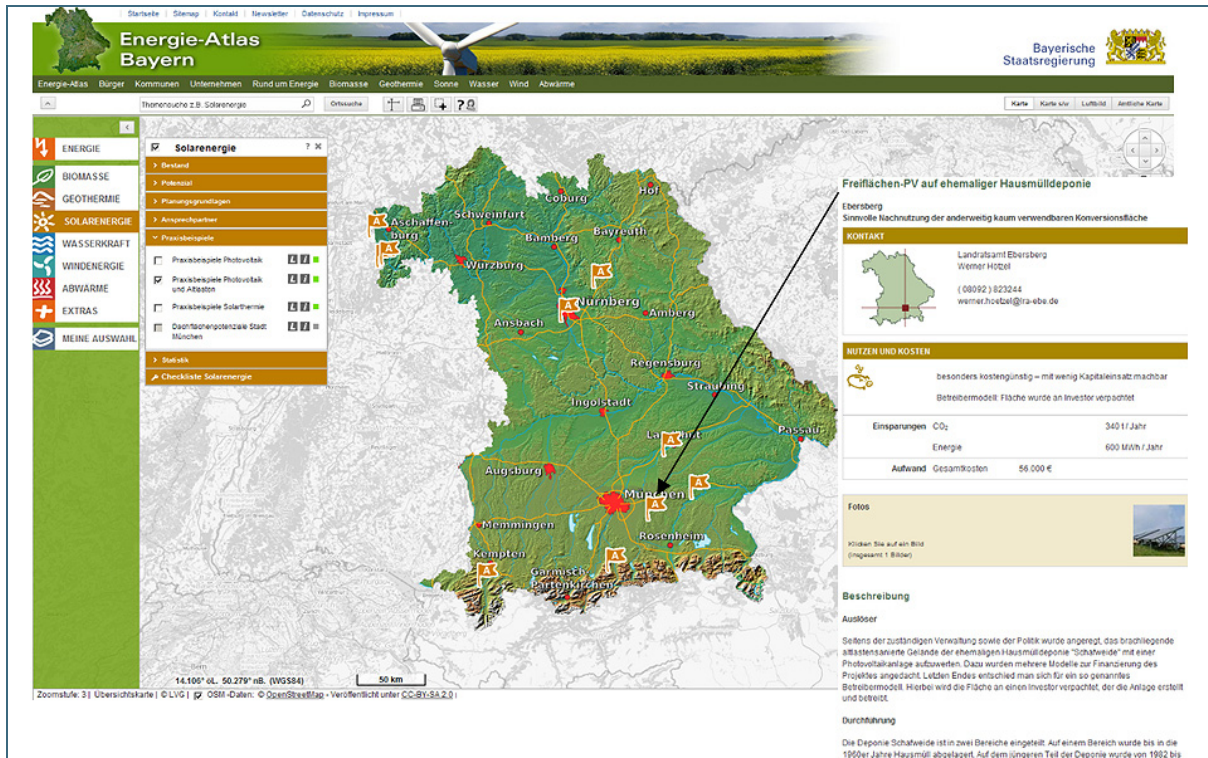


Abb. 4: Energie-Atlas Bayern – Praxisbeispiel PV auf Deponie

Weitere Praxisbeispiele, die zeigen, wie Energie eingespart, effizient genutzt oder umweltverträglich erzeugt werden kann, können jederzeit direkt im Energie-Atlas Bayern gemeldet und damit für andere zugänglich gemacht werden.

Ebenso finden Sie Informationen zum aktuellen Förderprogramm „Alte Lasten – Neue Energien“ des Freistaats Bayern, das seit 01.08.2012 in Kraft ist und von der GAB umgesetzt wird.

Derzeit werden in Bayern auf 22 Deponien PV-Anlagen betrieben. Da Deponien Konversionsflächen und damit als Standort vergütungsfähig im Sinne des EEG sind, kommen sie grundsätzlich als Standort für PV-Anlagen in Frage. Sie sind zudem besonders geeignet, weil es kaum anderweitige Nutzungsmöglichkeiten gibt.

Vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit wurde eine Machbarkeitsstudie finanziert, die im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt mit der GAB als Projektsteuerer durchgeführt wurde. Im Rahmen dieser Studie wurden ausgewählte Deponien im Hinblick auf die Eignung als Standort für PV-Anlagen geprüft.

Um die Suche nach einem Investor oder Pächter von potenziell geeigneten Flächen zu erleichtern, steht ab November 2012 die Solarflächenbörse im Energie-Atlas Bayern zur Verfügung.

4 Die Solarflächenbörse im Energie-Atlas Bayern

(voraussichtlich ab November 2012)



Abb. 5: Energie-Atlas Bayern – Startseite Solarflächenbörse

In der Solarflächenbörse im Energie-Atlas Bayern können Frei- und Dachflächen (z. B. von Schulgebäuden oder Bauhöfen) gemeldet werden, die für die Errichtung von PV-Anlagen geeignet sind und für die ein Investor zum Kauf oder zur Anmietung gesucht wird.

Bei Freiflächen sind aufgrund des aktuellen EEG vor allem Konversionsflächen wie z. B. Altlasten oder ehemalige Deponien gefragt. Die Flächen können zum Verkauf oder zur Verpachtung angeboten werden.

Interessenten können diese Flächen in der Solarflächenbörse recherchieren und direkt mit dem Anbieter in Kontakt treten.

1) Flächeneingabe

Über einfache Menüs werden die zur Verfügung stehenden Flächen gemeldet. Dabei werden für Freiflächen folgende Pflichteingaben verlangt:

- Ansprechpartner (Name)
- Telefonnummer und E-Mail-Adresse des Ansprechpartners
- Aussagekräftige Bezeichnung für die Fläche (z. B. „Altlast bei Großdorf“, „Deponie Sonnenstadt“)
- Flächengröße

Weitere freiwillige Angaben sind:

- voraussichtlich Vergütung im Sinne des EEG möglich?
- Art der Fläche (unbekannt / 110 m Streifen zu Autobahn oder Schiene / Altlast / Deponie / ehem. Kiesgrube / Fläche mit Verdacht auf schädli. Bodenveränderung / Gewerbe- oder Industriegebiet / versiegelte Fläche / Sonstiges)
- Weitere Erläuterungen zur Art der Fläche (freie Texteingabe)
- Eigentümer (unbekannt / Kommune / Privat / Sonstige / Staat / Unternehmen)
- Voraussichtliche Entfernung zum Einspeisepunkt
- Derzeitige Nutzung
- In gültigem Bebauungsplan als Sondergebiet für PV ausgewiesen
- Fläche zum Verkauf / Verpachtung
- Sonstige Angaben

Der nächste Schritt bei der Flächenmeldung ist die Verortung der Fläche. Dies geschieht über einen Klick auf der Karte im Energie-Atlas Bayern nach Auswahl der geeigneten Zoomstufe.

Energie-Atlas Bayern

Startseite | Sitemap | Kontakt | Newsletter | Datenschutz | Impressum

Energie-Atlas | Bürger | Kommunen | Unternehmen | Rund um Energie | Biomasse | Geothermie | Sonne | Wasser | Wind | Abwärme

Themensuche z.B. Solarenergie | Ortssuche | Mitmachen | Recherche

Freifläche melden

Kontaktdaten | Freifläche | Koordinaten | Ihre Angaben | Bestätigung

Schritt 4: Ihre Angaben

Sie sehen nun alle Angaben auf einen Blick. Ihre Angaben/Änderungen sind grün markiert. Wenn Sie Ihre Angaben/Korrekturen ändern möchten, gehen Sie bitte über den Button "zurück" zu dem gewünschten Eingabefeld.

Schritt 1: Kontaktdaten

Name	Mitmacher
Vorname	Gerd
Postleitzahl	98765
Ort	Bayerndorf
Straße	Musterstr.
Hausnummer	1
Institution	Abfallwirtschaftsbetrieb Sonne
Tel	01234/56789
Email	gerd.mitmacher@sonne.de

Schritt 2: Sachdaten

Ansprechpartner	Abfallbetrieb Sonne
Ansprechpartner E-Mail	abfall@sonne.de
Ansprechpartner Telefon	01234/56789
aussagekräftige Bezeichnung der Fläche	Deponie Sonnenstadt
Flächengröße in ha	3,5
vorauss. Vergütung im Sinne des EEG möglich?	vor aussichtlich ja
Art der Fläche	Deponie

zurück | abschicken

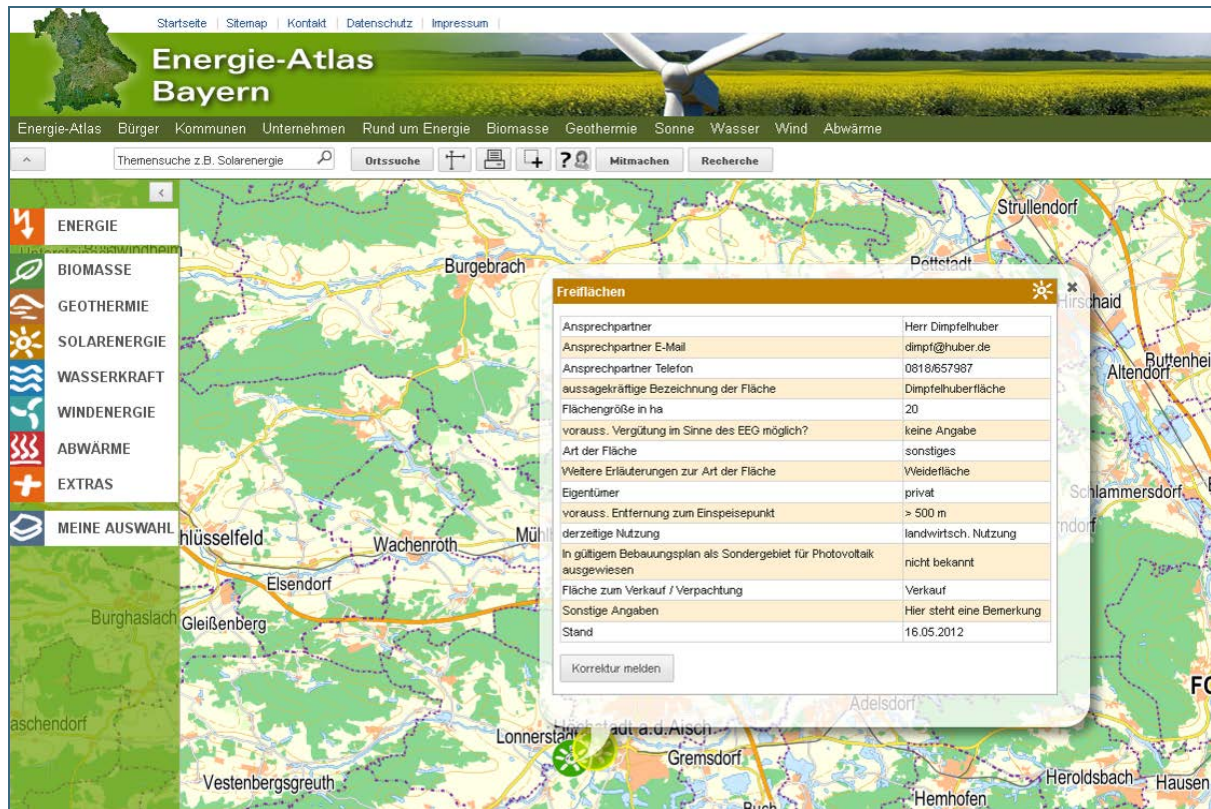
Abb. 6: Energie-Atlas Bayern – Eingabemaske Solarflächen

Die Daten sind nach bestandener Plausibilitätsprüfung im Energie-Atlas Bayern einsehbar. Sie können jederzeit korrigiert oder gelöscht werden.

Dachflächen können über eine gesonderte Eingabemaske gemeldet werden.

2) Flächensuche

Bei der Suche nach Flächen können entweder alle Dach-/ Freiflächen angezeigt werden oder es kann eine Recherche über die Flächengröße und Region durchgeführt werden. Anschließend wird eine Trefferliste ausgegeben. Man kann sich die ausgewählten Flächen in der Karte anzeigen lassen und Detailangaben zur Fläche in der Karte abrufen.



The screenshot shows the 'Energie-Atlas Bayern' website interface. A map of Bavaria is displayed with various energy potential zones. A popup window titled 'Freiflächen' is open, showing details for a specific solar area. The data is as follows:

Ansprechpartner	Herr Dimpfelhuber
Ansprechpartner E-Mail	dimpf@huber.de
Ansprechpartner Telefon	0818/657987
aussagekräftige Bezeichnung der Fläche	Dimpfelhuberfläche
Flächengröße in ha	20
voraus. Vergütung in Sinne des EEG möglich?	keine Angabe
Art der Fläche	sonstiges
Weitere Erläuterungen zur Art der Fläche	Weidefläche
Eigentümer	privat
voraus. Entfernung zum Einspeisepunkt	> 500 m
derzeitige Nutzung	landwirtsch. Nutzung
In gültigem Bebauungsplan als Sondergebiet für Photovoltaik ausgewiesen	nicht bekannt
Fläche zum Verkauf / Verpachtung	Verkauf
Sonstige Angaben	Hier steht eine Bemerkung
Stand	16.05.2012

Abb. 7: Energie-Atlas Bayern – Datenausgabe Solarflächenbörse

3) Flächen vorab melden

Gerne nehmen wir Ihre Deponie, Altlast oder sonstige Konversionsfläche in die Solarflächenbörse auf. Da die Solarflächenbörse derzeit noch in der Entwicklung ist, können Sie sich direkt an oeoenergie@lfu.bayern.de wenden, um Ihre Daten zu melden. Wir werden die Fläche in die Solarflächenbörse aufnehmen. Zum Start der Solarflächenbörse ist die Fläche dann im Energie-Atlas Bayern zu sehen.

Anforderungen für Photovoltaikanlagen (PVA) bei Deponien

Karl Johann Drexler, LfU

Hierzu kommen noch verschiedene Beiträge. An dieser Stelle zwei Hinweise auf technische Vorgaben beim Bau und Betrieb von PVA auf Deponien.

LAGA Ad-hoc-AG Deponietechnik“

Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 7-4a - „Technische Funktionsschichten – Photovoltaik auf Deponien“ vom 19.12.2011

Wird derzeit ergänzt um das Qualitätsmanagement bei der Errichtung der PVA. Diese BQS deckt sich mit den Vorgaben des LfU-Deponie-Info 2.

Auch andere Bundesländer haben entsprechende Merkblätter veröffentlicht.

Photovoltaikanlagen auf (ehemaligen) Deponien, LfU-Deponie-Info 2, Stand vom August 2012

In der Überarbeitung wurden neu aufgenommen:

- rechtliche Hinweise,
- technische Hinweise (Gründung Module, Modularten)
- Hinweise zur Auslegung der BQS.
- Forderung einer Sicherheitsleistung (nach BQS) des Bauherren oder des Deponie-Betreibers, damit sichergestellt wird, dass die Rekultivierungsschicht wieder ordnungsgemäß aufgebaut wird.
- Vorschlag, durch Sachkundigen feststellen zu lassen, ob Blitzeinschläge das Abdichtungssystem schädigen können
- Forderung, hydraulische und geotechnische Nachweise zum Wasserhaushalt der Rekultivierungsschicht (Erosion, konzentrierter Wasserzutritt) zu führen.
- Forderungen eines Qualitätsmanagementplanes (QMP), besonders statische Nachweise Standsicherheit Böschung
- Hinweis zum Bodenschutz bei der Reinigung der Module

Oberstes Ziel:

Die Funktion und Wirksamkeit der Oberflächenabdichtung darf nicht beeinträchtigt werden.

Alte Lasten – Neue Energien“ – Chance für die Nachnutzung von Deponieflächen

Alexander Böhm, Gesellschaft zur Altlastensanierung in Bayern mbH (GAB)

Zusammenfassung: Die Gesellschaft zur Altlastensanierung in Bayern mbH (GAB) übernimmt im Rahmen der Neuausrichtung der bayerischen Energiepolitik die Abwicklung des Förderprogramms „Alte Lasten – Neue Energien“. Gefördert wird die Errichtung von Photovoltaikanlagen auf ehemaligen Altlasten und Deponien. So wird der Anteil der Solarenergie an der gesamten Energieerzeugung erhöht und ein Beitrag zum Flächenrecycling geleistet.

Schlagworte: Energiewende, Programm „Alte Lasten – Neue Energien“, Standortsuche, Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, Förderprogramm, Altlasten und Deponien, Antragsunterlagen

1 Einleitung

Im Mai 2011 hat die Bayerische Staatsregierung die Neuausrichtung der bayerischen Energiepolitik beschlossen. Früher als geplant steigt Bayern aus der Kernenergie aus und beschleunigt den Ausbau der erneuerbaren Energien. Um auf Dauer ohne Kernenergie auskommen zu können, gilt es eine sichere, nachhaltige und bezahlbare regenerative Energieversorgung zu gewährleisten.

Wie dieses Ziel effektiv erreicht werden kann, beschreibt das Bayerische Energiekonzept „Energie innovativ“. Hier sind konkrete, realisierbare Schritte und Maßnahmen für einen beschleunigten Umbau der bayerischen Energieversorgung aufgezeigt. Eines der ehrgeizigen Ziele ist, den Anteil erneuerbarer Energien - wie Wasserkraft, Windenergie, Biomasse und Photovoltaik – am gesamten Stromverbrauch bis 2021 auf 50 % zu verdoppeln. Einen wesentlichen Beitrag soll dazu die Photovoltaik leisten, deren Anteil von 8 % in 2011 ebenfalls auf 16 % in 2021 verdoppelt werden soll.

Um das Ausbauziel für Photovoltaik zu erreichen, hat das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit als einen Baustein das Programm „Alte Lasten – Neue Energien“ aufgelegt. Die Errichtung von Photovoltaikanlagen (PVA) wird hier gezielt auf Flächen wie Altlasten und Deponien gelenkt, um Synergien zu nutzen. Auf der einen Seite wird der Anteil der regenerativen Energien an der gesamten Energieerzeugung erhöht, auf der anderen Seite wird durch Flächenrecycling ein Beitrag zur Reduzierung der Flächeninanspruchnahme geleistet.

Die Gesellschaft zur Altlastensanierung in Bayern mbH (GAB) unterstützt seit dem 01. August 2012 mit dem Förderprogramm „Alte Lasten – Neue Energien“ kommunale und private Betreiber bei der Errichtung von Photovoltaikanlagen (PVA) auf Altlasten und Deponien. Durch den Zuschuss sollen die planerischen und baulichen Mehrkosten weitestgehend kompensiert und so PVA auf diesen Flächen wirtschaftlich attraktiver gestaltet werden.

Die GAB wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG) als beliehenes Unternehmen mit der Umsetzung und Abwicklung des hierfür entwickelten Förderprogramms beauftragt.

2 Programm „Alte Lasten – Neue Energien“

Das Programm „Alte Lasten – Neue Energien“ besteht aus drei Teilbereichen:

- Standortsuche bei Altlasten und Deponien
- Förderprogramm für den Bau von PVA auf Altlasten und Deponien
- Informationskampagne

Eine genauere Darstellung der Teilbereiche „Standortsuche bei Altlasten und Deponien“ und „Förderprogramm für den Bau von PVA auf Altlasten und Deponien“ erfolgt in den Abschnitten 3 und 4.

Im Rahmen der Informationskampagne wird das Programm „Alte Lasten – Neue Energien“ seit Mitte September bayernweit in Veranstaltungen an den Regierungen aller Regierungsbezirke vorgestellt. Durch zusätzliche Veranstaltungen der GAB im Oktober, Veröffentlichungen in der Presse und im Internet und mit weiteren Aktivitäten soll das Programm einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Weitere Informationen sind auch auf der Homepage der GAB (www.altlasten-bayern.de) zu finden.

Daneben wurden in einem vom LfU betreuten Projekt von Oktober 2011 bis Mai 2012 Praxisbeispiele für Bayern recherchiert, bei denen regenerative Energietechniken gewinnbringend mit Maßnahmen auf Altlastenflächen verbunden wurden. Von einem Ingenieurbüro wurden dazu Fragebögen an zahlreiche Landratsämter, Gemeinden, Firmen, Planer, Verbände und Flächeneigner versandt. Insgesamt konnten 42 Fallbeispiele identifiziert werden, von denen in 24 Fällen eine detaillierte Projektbeschreibung und -auswertung vorgenommen wurde. Die Praxisbeispiele werden mit ausführlichen Projektbeschreibungen in den Energie Atlas Bayern (www.energieatlas.bayern.de) eingestellt und sind somit allen Interessierten zugänglich.

3 Standortsuche bei Altlasten und Deponien

Die Standortsuche bei Altlasten und Deponien gliedert sich in folgende Teilprojekte, die zeitlich gestaffelt sind

- Standortsuche bei gemeindeeigenen Hausmülldeponien, die bereits einen Antrag für den Unterstützungsfonds „gemeindeeigene Hausmülldeponien“ gestellt haben
- Standortsuche bei Deponien in der Nachsorge
- Standortsuche bei Altablagerungen und Altstandorten aus dem Altlastenkataster, die sich im Eigentum einer Gemeinde befinden
- Standortsuche bei allen restlichen Altablagerungen und Altstandorten, die sich im Altlastenkataster befinden.

Die GAB war/ist in den ersten drei Teilprojekten jeweils als Projektsteuerer tätig.

3.1 Standortsuche bei gemeindeeigenen Hausmülldeponien aus dem Unterstützungsfonds

Im ersten Projekt der Standortsuche wurden nach einer Vorauswahl 40 gemeindeeigene Hausmülldeponien, die von der GAB im Unterstützungsfonds zur Erkundung und Sanierung ehemaliger gemeindeeigener Hausmülldeponien bereits bearbeitet werden, auf ihre Eignung als PVA-Standort untersucht. Neben der Beurteilung der Flächen hinsichtlich der örtlichen Standortbedingungen und der

grundsätzlichen Eignung für eine PVA wurden die vergütungs-rechtliche Seite nach dem EEG und die genehmigungsrechtliche Seite abgeprüft. Ferner wurden für jeden Standort eine grobe technische Vorplanung sowie eine abschätzende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erstellt.

Darüber hinaus wurde auch untersucht, wie bei noch nicht sanierten Flächen mögliche Anforderungen für die Errichtung einer PVA bereits bei einer evtl. anstehenden Sanierungsuntersuchung und -planung entsprechend berücksichtigt werden können. Zusätzlich wurden in einer allgemeinen Zusammenfassung die Voraussetzungen und Hemmnisse bei der Errichtung von PVA auf Altablagerungen zusammengestellt.

Die GAB führte das Projekt im Zeitraum von Oktober 2011 bis Mai 2012 durch, die Ergebnisse werden den beteiligten Gemeinden zur Verfügung gestellt.

3.2 Standortsuche bei Deponien in der Nachsorge

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) hat auf Grundlage seiner Überwachungszuständigkeit fundierte Standortkenntnisse zu abgedichteten Deponien in Bayern. Auf dieser Basis wurde in Zusammenarbeit mit der GAB eine Liste mit grundsätzlich geeignet erscheinenden Standorten für Photovoltaikanlagen zusammengestellt. Berücksichtigt wurden Deponien oder -abschnitte der Deponieklassen I oder II, die sich in der Stilllegungs- oder Nachsorgephase befinden.

Das hierfür beauftragte Ingenieurbüro grenzte diese Vorauswahl anschließend weiter ein und erstellte für 40 auf ganz Bayern verteilte Deponiestandorte Machbarkeitsstudien zur Errichtung von PV-Anlagen. Dieser Auftrag wurde Ende November 2011 erteilt; die abgeschlossenen und geprüften Studien sollen bis Mitte September 2012 vorliegen.

3.3 Standortsuche für PVA bei gemeindeeigenen Altlasten

In diesem Teilprojekt werden brach liegende oder minder genutzte Altlasten untersucht, die sich im Eigentum der Gemeinden befinden und somit eine schnelle Verfügbarkeit zur Umsetzung einer Bebauung durch eine PVA mit sich bringen. In Betracht kommen v. a. Altablagerungen, aber auch Altstandorte ohne massiven Gebäudebestand und ehemals militärisch genutzte Flächen, soweit sie sich im Eigentum einer Gemeinde befinden. Ausgewählt wurden nur Flächen ab einer Größe von 0,5 Hektar, bei denen in der Regel bereits mindestens eine Orientierende Untersuchung durchgeführt wurde.

Nach einer Flächenvorauswahl durch das LfU mit Ausschluss von offensichtlich ungeeigneten Flächen und Rücksprache durch die GAB mit den betroffenen Gemeinden über ein grundsätzliches Interesse an der Projektteilnahme und an der Umsetzung einer Photovoltaikanlage wurden 42 Flächen aus- gesucht.

Für diese werden von einem Ingenieurbüro - bei Projektsteuerung durch die GAB - Standortanalysen erarbeitet. In diesen Standortanalysen werden für jeden Einzelfall die Standortbedingungen analysiert und Aussagen zur wirtschaftlichen und technischen Umsetzung der Errichtung einer PVA getroffen. Ein wichtiger Aspekt ist dabei der Einfluss der Altlasten auf die Ausgestaltung und den Bau der Photovoltaikanlage. Die Fertigstellung der Standortanalysen soll bis Ende 2012 abgeschlossen sein. Die Ergebnisse werden den betroffenen Gemeinden zur Verfügung gestellt.

3.4 Standortsuche bei allen restlichen Altablagerungen und Altlasten aus dem Altlastenkataster

Im Altlastenkataster (ABuDIS 2.5; Stand: 31.03.2012) sind über 17.500 Flächen (davon etwa 11.700 Altablagerungen und 5.800 Altstandorte bzw. Verdachtsflächen) registriert. Hinzu kommen mehr als 3.000 aus dem Altlastenkataster entlassene Flächen, die z. B. auf Grund von Auflagen oder Kontrollmaßnahmen noch in ABuDIS verbleiben. Dieser Flächenpool soll in Hinblick auf die Eignung zur Errichtung von PVA hin überprüft werden.

Eine Teilmenge von über 2.100 Flächen wurde bereits im o. g. Projekt „Standortsuche bei gemeindeeigenen Altlasten“ (Punkt 2.2.3) betrachtet. Die Erfahrungen aus den vorangegangenen Projekten sollen helfen, die verbleibenden Flächen systematisch abzarbeiten. Mit der Standortsuche bei den restlichen Altablagerungen und Altlasten aus dem Altlastenkataster wird voraussichtlich im Herbst 2012 begonnen.

4 Das Förderprogramm „Alte Lasten – Neue Energien“

4.1 Zweck und Gegenstand der Förderung

Die GAB unterstützt mit dem Förderprogramm „Alte Lasten – Neue Energien“ kommunale und private Betreiber bei der Errichtung von Photovoltaikanlagen (PVA) auf Altlasten und Deponien. Im Sinne eines Investitionsanreizes soll die Errichtung von PVA auf Flächen wie Altlasten und Deponien gelenkt werden. Die bei diesen vorgenutzten Flächen anfallenden Mehrkosten (z. B. wegen erhöhter planerischer und baulicher Anforderungen) sollen weitgehend kompensiert und so die Errichtung von PVA wirtschaftlich attraktiver gestaltet werden. Zusätzlich werden die vorgenutzten Flächen dem Wirtschaftskreislauf zurückgeführt. Im Rahmen des Flächenrecyclings wird damit ein wichtiger Beitrag zur Reduzierung der Inanspruchnahme von Freiflächen geleistet.

Zuwendungsberechtigt sind Betreiber von PVA auf Altlasten und Deponien. Infrage kommen neben kommunalen Körperschaften und deren Eigenbetriebe auch GmbH und GmbH & Co. KG (auch mit kommunaler Beteiligung) sowie eingetragene Vereine, Genossenschaften und Betreibergesellschaften, die das Errichten und Betreiben von Bürgersolaranlagen zum Zweck haben.

Das Förderprogramm „Alte Lasten – Neue Energien“ wird vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit finanziert und von der GAB als beliehenem Unternehmen abgewickelt. Die GAB verteilt die Fördermittel im Einvernehmen mit dem StMUG und erstellt falls erforderlich eine Prioritätenliste, die regelmäßig fortgeschrieben wird. Vorhaben mit Bürgerbeteiligung (z. B. „Bürgersolaranlagen“) können hierbei bevorzugt berücksichtigt werden.

4.2 Voraussetzungen für eine Förderung

Gefördert werden können PVA auf

Altlasten

- Die Fläche muss im Kataster nach Art. 3 Bayerisches Bodenschutzgesetz (BayBodSchG) erfasst sein. Sofern die Fläche bereits aus dem Kataster entlassen wurde, muss der Entlassungsbescheid Bedingungen und Auflagen enthalten, aus denen die weiterhin vorhandene Beeinträchtigung der Bodenfunktionen hervorgeht.
- Bei der Fläche muss zumindest die orientierende Untersuchung nach dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) abgeschlossen sein.

- Durch die PVA dürfen nach BBodSchG erforderliche Maßnahmen nicht eingeschränkt oder behindert werden.

Deponien

- Bei abfallrechtlich genehmigten Deponien oder Deponieabschnitten der Klassen 0, I, II und III nach dem Aufbringen der endgültigen Oberflächenabdichtung (bei DK 0 Oberflächenabdichtung).
- Durch die PVA dürfen deponierechtliche Nachsorgemaßnahmen sowie naturschutzfachliche oder landschaftspflegerische Maßnahmen nicht eingeschränkt oder behindert werden.
- Geplante Vorhaben sind vor Antragstellung der zuständigen abfallrechtlichen Genehmigungsbehörde anzuzeigen.

4.3 Art, Umfang und Höhe der Zuwendung

Die Förderung erfolgt projektbezogen (Projektförderung) mit einem festen Betrag (Festbetragsfinanzierung). Der Zuwendungsempfänger erhält eine Förderung in Höhe von 200 Euro pro installiertem kWp.

Die maximale Förderung beträgt 200.000 Euro. Wenn die Höhe der Förderung 20.000 Euro unterschreiten würde, ist eine Förderung ausgeschlossen.

Die gewährten Zuwendungen sind „De-minimis“-Beihilfen im Sinne der Verordnung (EG) Nr. 1998/2006 der Kommission vom 15. Dezember 2006 und dürfen in der Gesamtsumme in einem Zeitraum von drei Steuerjahren 200.000 Euro (brutto) nicht übersteigen. Mit dem Zuwendungsantrag ist eine Erklärung zum Antrag auf Gewährung einer Förderung als „De-minimis“-Beihilfe abzugeben.

Der Zuschuss kann nur gewährt werden, wenn der Antragsteller in einer Verwendungsbestätigung die errichtete Nennleistung der PVA nachweist. Wird die PVA nach der Inbetriebnahme weniger als 20 Jahre für den Verwendungszweck genutzt, ermäßigt sich die Zuwendung je fehlendem vollen Jahr um 5 v. H. Die GAB wird dann die überschüssige Förderung zurückfordern.

Das Förderprogramm ist zum 1. August 2012 in Kraft getreten und bis 31.12.2014 befristet. Es können nur Maßnahmen gefördert werden, für die der GAB zu diesem Zeitpunkt ein vollständiger Förderantrag vorliegt.

4.4 Antragsunterlagen und wichtige Hinweise für eine Förderung

Für Maßnahmen, die nach den Richtlinien für die Förderung von Photovoltaikanlagen im Programm „Alte Lasten – Neue Energien“ (Förderrichtlinien ALNE-FÖR) gefördert werden sollen, darf keine Förderung aus anderen Haushaltsmitteln des Freistaates Bayern in Anspruch genommen werden.

Der schriftliche Antrag ist der GAB mit folgenden Unterlagen vorzulegen: genaue Beschreibung mit Lageplänen der zu fördernden PVA, vollständiger und nachvollziehbarer Finanzierungsplan, Nennleistung der geplanten PVA in kWp, Erklärung zum Antrag auf Gewährung einer Förderung als „De-minimis“-Beihilfe und zu subventionserheblichen Tatsachen, bei Vorhaben auf abfallrechtlichen Deponien die Entscheidung der zuständigen abfallrechtlichen Genehmigungsbehörde zur Art der erforderlichen Genehmigung, bei Altlasten ein Auszug aus dem Kataster nach Art. 3 BayBodSchG bzw. bei sanierten Altlasten der Entlassungsbescheid.

Bei einer Förderung aus dem Förderprogramm „Alte Lasten – Neue Energien“ gilt grundsätzlich, dass der Zuwendungsempfänger mit der Maßnahme erst nach Erlass des Zuwendungsbescheids beginnen darf. Als Maßnahmenbeginn wird auch der Abschluss eines der Ausführung zuzurechnenden Lieferungs- oder Leistungsvertrags angesehen. Auf schriftlichen Antrag unter Angabe von triftigen Gründen kann in Ausnahmefällen mit der Maßnahme vorzeitig begonnen werden, wenn der Antragsteller zuvor die schriftliche Zustimmung der GAB erhalten hat.

Die bewilligten Mittel dürfen nur für die beantragte Maßnahme verwendet werden. Die installierte Leistung in kWp ist der GAB in geeigneter Weise zu belegen. Die Auszahlung der Zuwendung erfolgt nach Prüfung der Verwendungsbestätigung.

Wesentliche Schwerpunkte bei der Erstellung von Machbarkeitsstudien für PVA auf Deponien

Dipl.-Ing. (FH) Eckhard Haubrich, Klinger und Partner – Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH, Stuttgart

Machbarkeitsstudien für PVA auf Deponien		Klinger und Partner Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH	
Auftraggeber:		Bayerisches Landesamt für Umwelt	
Projektsteuerung:	Gesellschaft zur Altlastensanierung in Bayern mbH (GAB)		
Bearbeitung	Klinger und Partner GmbH Im Unterauftrag: - EGS-plan GmbH - Rainer Rübsamen		

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012

2

1. Anlagenkonzeption

- Vorgaben aus länderspezifischen Merkblättern und der BQS 7-4 der LAGA-Ad hoc AG
- Anordnung, Flächenbelegung
- Fundamentierung
- Trägersystem, Unterkonstruktion
- Anlagenkomponenten (Module, Trafo, Wechselrichter)

Merkblätter und BQS 7-4

(Zusammenfassung wesentlicher Punkte)

- Allgemeine Forderungen

keine Schäden an der Oberflächenabdichtung durch die Installation von PVA
- Behördenbeteiligung
 - In der Planungsphase
 - Baubesprechungen
 - Endabnahme der Anlage



Merkblätter und BQS 7-4

- Technische Anforderungen / Auflagen
 - Nachweis Standsicherheit
 - Keine Schäden durch auflastbedingte Setzungen
 - Überbauung erdverlegter Leitungen vermeiden
 - Keine Fundamente über Leitungen
 - Schutz der Dichtsysteme vor Erosionen
 - Einsatz von Kiespuffern oder Jutematten bei konzentrierten Abflüssen



Merkblätter und BQS 7-4

- Technische Anforderungen / Auflagen
 - Blendwirkung beachten
 - Sicherheitsabstand zu Gasbrunnen
 - Begrenzung der Versiegelung
 - Fundamenttiefe mind. 0,50 m Sicherheitsabstand

Fundamentierung - Unterkonstruktion Praxisbeispiel - Betonfundament



Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012

7

Fundamentierung - Unterkonstruktion Praxisbeispiel - Betonfundament



Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012

8

Fundamentierung - Unterkonstruktion Praxisbeispiel - Rammen



Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012

9

Fundamentierung - Belastungsversuch Praxisbeispiel - Drehfundament



Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012

10

Machbarkeitsstudien für PVA auf Deponien

Klinger und Partner
Ingenieurbüro
für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH

Wesentliche Vorteile von Drehfundamenten

- schnelle Montage
- keine Bodenbewegungen
- nachjustierbar
- keine Flächenversiegelung
- Einsatz auch in steileren Böschungen möglich
- Relativ geringe Einbautiefe möglich
- später leichter Rückbau

Beachtung:

- **Sicherheitsabstand zur Oberflächenabdichtung in Abstimmung mit Behörde**
- **Einbautiefe richtet sich nach der örtlichen Abdeckstärke und den Bodenverhältnissen**

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012

11

Machbarkeitsstudien für PVA auf Deponien

Klinger und Partner
Ingenieurbüro
für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH

Anlagenkomponenten

Modularten:

Eigenschaften:

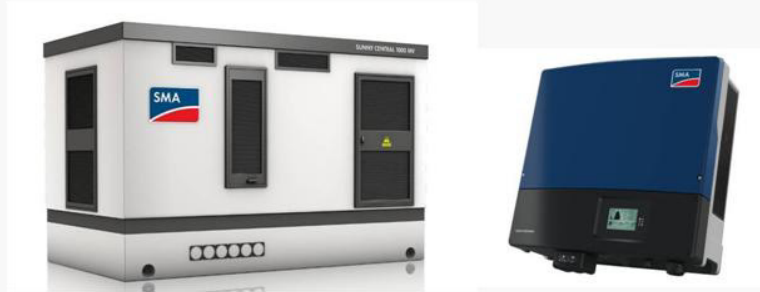
Modultyp	Typisches Modulmaß L x B [cm]	Typische Modulleistung [Wp]	Elektrischer Wirkungsgrad [%]	Modulfläche für 1 kWp [m ²]
Kristallines Silizium	165 x 100	230 - 250	14,1 - 15,3	6,8 - 7,4
CdTe-Dünnschicht	120 x 60	75 - 85	10,5 - 11,8	8,5 - 9,5
In der Studie verwendete kristalline Technologie	165 x 100	240	14,7	7,1

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012

12

Anlagenkomponenten

Wechselrichter:



Trafo:



Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012

13

Anzahl der Deponiestandorte für die Machbarkeitsstudien



Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012

14

Luftbild mit Höhenlinien



Rauminformationssystem Bayern

Maßstab 1:2000 (1cm = 20,000 m Breite = 540,378 m Höhe = 325,311 m)

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012

15

Für PVA nutzbare Teilflächen



Rauminformationssystem Bayern

Musterdeponie
SIMUG - LfU - GAB

100 m Maßstab 1:1500



Teilfläche



Weg



Ausrichtung Modultisch

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012

16

Machbarkeitsstudien für PVA auf Deponien

Klinger und Partner
Ingenieurbüro
für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH

Erfassungsblatt der Teilfläche TF 5

1	Deponie:	Musterdeponie
2	Süd-Ertrag am Standort	937 kWh/kWp*a
3	Teilflächennummer	5
Flächenerfassung		
4	Ausrichtung der Modultische	30 °
5	Bruttofläche (horizontal)	3.500 m ²
Abzug durch		
6	Wege (Länge eintragen)	45 M
7		360 m ²
8	Gasdome (Anzahl eintragen)	2 St
9		200 m ²
10	Sonstiges, z.B. Gebäude	0 m ²
11	Verschattung	1.300 m ²
12	Abzug für Randbereiche + Wartungsgänge	30 %
13	Nettofläche (horizontal)	1.148 m ²
Hangneigung		
14	Höhe (oben)	365 m
15	Höhe (unten)	360 m
16	Höhendifferenz	5 m
17	Distanz	15,5 m
18	Hangneigung	17,9 °
19	Tatsächliche Hangfläche	1.206 m ²
20	Teilflächenbewuchs (Roden)	Kat. 1: Erdböschung oder Grünland ohne störenden Bewuchs
Ertragsberechnung		
21	PV-Belegung der Nettofläche	82 %
22	verfügbare PV-Modulfläche	939 m ²
23	Installierbare Leistung	146 kWp
24	Wirkungsgrad der Ausrichtung	98 %
25	Absoluter Ertrag	133.656 kWh/a

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012 17


Machbarkeitsstudien für PVA auf Deponien

Klinger und Partner
Ingenieurbüro
für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH


Globalstrahlung, spezifischer Ertrag und Verschattungswinkel

Nr.	Globalstrahlung (PVGIS) [kWh/m ² a] ¹⁾	spezifischer Stromertrag [kWh/kWp*a] ²⁾	Verschattungswinkel [Grad] ³⁾
1	1.200	1.050	18,5
2	1.030	877	16,4
3	1.110	965	18,1
4	1.020	877	16,2
5	1.150	1.010	18,5
6	1.070	926	17,2
7	1.110	964	18,1
8	1.110	966	18,1
9	1.070	918	16,9
10	1.050	902	16,6
11	1.090	949	18,0
12	1.110	953	18,2
13	1.110	966	18,1
14	1.120	980	18,3
15	1.070	926	17,4
16	1.110	958	18,0
17	1.040	895	16,5
18	1.020	876	16,2
19	1.080	935	17,7
20	1.070	931	16,6
21	1.040	907	16,3
22	1.060	925	16,5
23	1.030	890	16,4
24	1.200	1.050	18,6
25	1.140	996	18,5
26	1.040	893	16,8
27	1.140	992	18,6
28	1.020	881	16,2
29	1.070	926	17,2
30	1.020	873	16,0
31	1.070	934	17,1
32	1.040	890	16,4
33	1.200	1.050	18,6
34	1.040	891	16,4
35	1.060	913	17,2
36	1.020	886	16,2
37	1.120	980	18,3
38	1.050	904	16,7
39	1.060	909	16,9
40	1.040	916	16,4

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012 18

Machbarkeitsstudien für PVA auf Deponien						Klinger und Partner Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH			
Deponie		Musterdeponie							
Ergebnisse der Flächenerfassung									
Teilfläche	Bruttofläche horizontal [m ²]	Nettofläche horizontal [m ²]	Hangneigung [Grad]	PV Belegung der Nettofläche [%]	verfügbare PV-Modulfläche [m ²]				
1	3.900	2.450	19,7	86	2.111				
2	6.900	4.340	-3,8	32	1.409				
3	4.500	2.870	0,0	41	1.174				
4	1.100	770	16,4	78	602				
5	3.500	1.148	17,9	82	939				
Gesamt	19.900	11.578			6.235				
A	B	C	D	E	F				

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012 19

Machbarkeitsstudien für PVA auf Deponien						Klinger und Partner Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH			
Deponie		Musterdeponie							
Süd-Ertrag am Standort ¹⁾		937		kWh/kWp*a					
Ergebnisse									
Teilfläche	verfügbare PV-Modulfläche [m ²]	installierbare Leistung [kWp]	Ausrichtung Azimutwinkel [Grad]	spezifischer Ertrag [kWh/kWp*a]	absoluter Ertrag [MWh/a]				
1	2.111	329	60	864	284				
2	1.409	220	0	937	206				
3	1.174	183	15	929	170				
4	602	94	30	914	86				
5	939	146	30	914	134				
Gesamt	6.235	971		905	879				
1): Wert aus System PVGIS der europäischen Kommission				gewichteter durchschnittl. spez. Ertrag der Teilflächen					
A	B	C	D	E					

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012 20



Gesetzliche Grundlagen Landschaftsplanung

Folgende Gesetze bilden, jeweils in ihrer aktuellen Fassung, die gesetzliche Grundlage der Studien:

- Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz – BNatSchG)
- Bayerisches Naturschutzgesetz (BayNatSchG)
- Baugesetzbuch (BauGB)
- Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG)




Aufgabenstellung Landschaftsplanung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudien sind insbesondere zu erörtern:

- Erfassung des Zustandes der Schutzgüter im Wirkungsbereich der geplanten Baumaßnahme sowie Bewertung dieser Güter hinsichtlich ihrer Empfindlichkeit
- Ermittlung der Wirkungen des Bauvorhabens als Konfliktanalyse
- Feststellung und Bewertung der Beeinträchtigungen der Schutzgüter
- Prognose zu potenziellen Schutz-, Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen

Machbarkeitsstudien für PVA auf Deponien

Klinger und Partner
Ingenieurbüro
für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH



Ökologische Risikoeinschätzung und Konfliktermittlung


- Beeinträchtigung Schutzgut Menschen, menschliche Gesundheit
- Beeinträchtigung Schutzgut Tiere, Pflanzen und die biologische Vielfalt
- Beeinträchtigung Schutzgut Boden
- Beeinträchtigung Schutzgut Wasser
- Beeinträchtigung Schutzgut Luft und Klima
- Beeinträchtigung Schutzgut Landschaft
- Beeinträchtigung von Kultur- und sonstigen Schutzgütern

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012

23

Machbarkeitsstudien für PVA auf Deponien

Klinger und Partner
Ingenieurbüro
für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH




Kostenansätze für landschaftsplanerische Belange (Kompensationsfaktor 0,1-0,2)


Grad der Beeinträchtigung	gering	gering-mittel	mittel	mittel-hoch	hoch
Kostenpunkte Planung [€/ha]					
Bebauungsplan	1.000	1.100	1.150	1.200	1.300
Landschaftspflegerischer Begleitplan	1.000	1.100	1.150	1.150	1.300
Artenschutzrechtliche Prüfung	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Kostenpunkte Ausführung [€/ha]					
Ausgleichsmaßnahmen (incl. Planung)	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Ersatzmaßnahmen (incl. Planung)	0	500	1.500	13.000	30.000
Gesamtkosten [€/ha]	6.000	6.700	7.800	19.350	36.600

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012

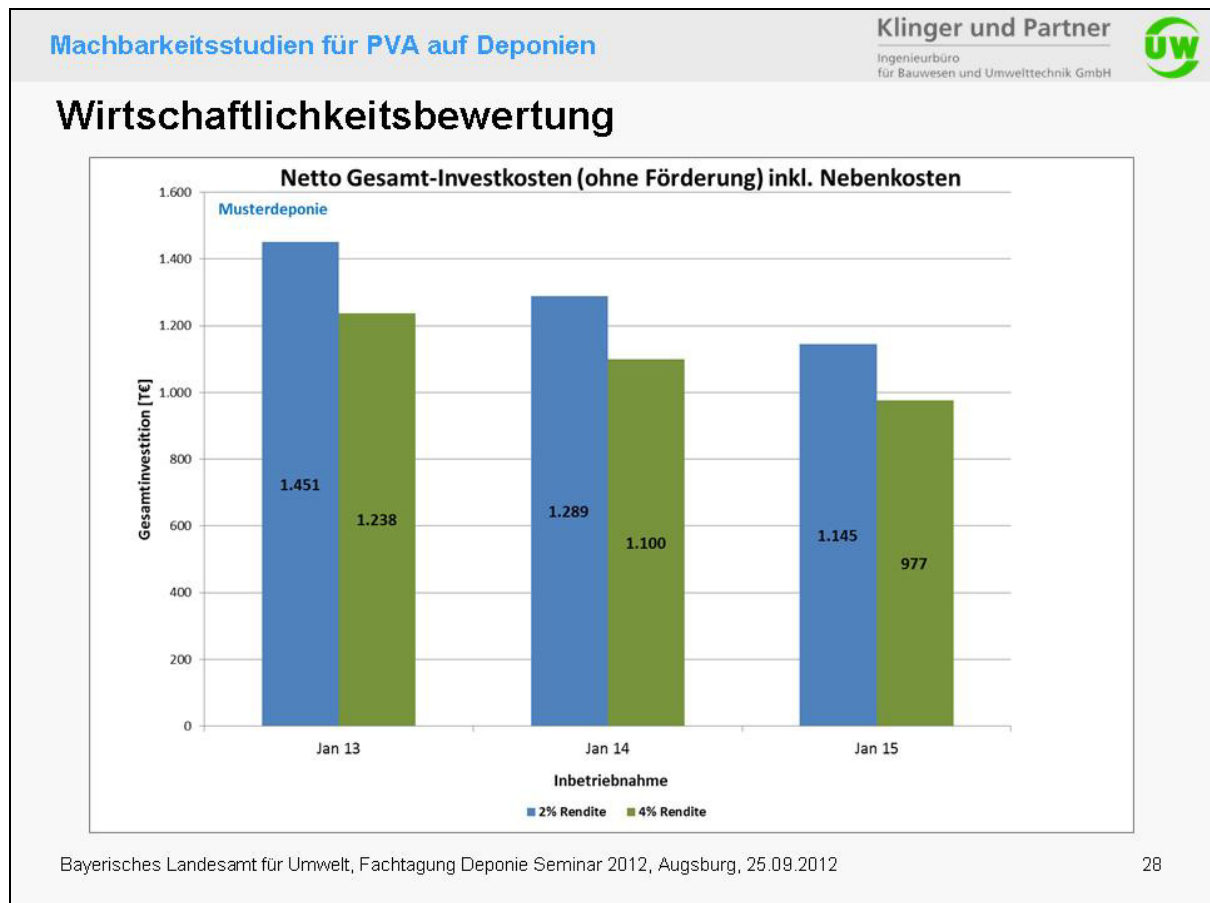
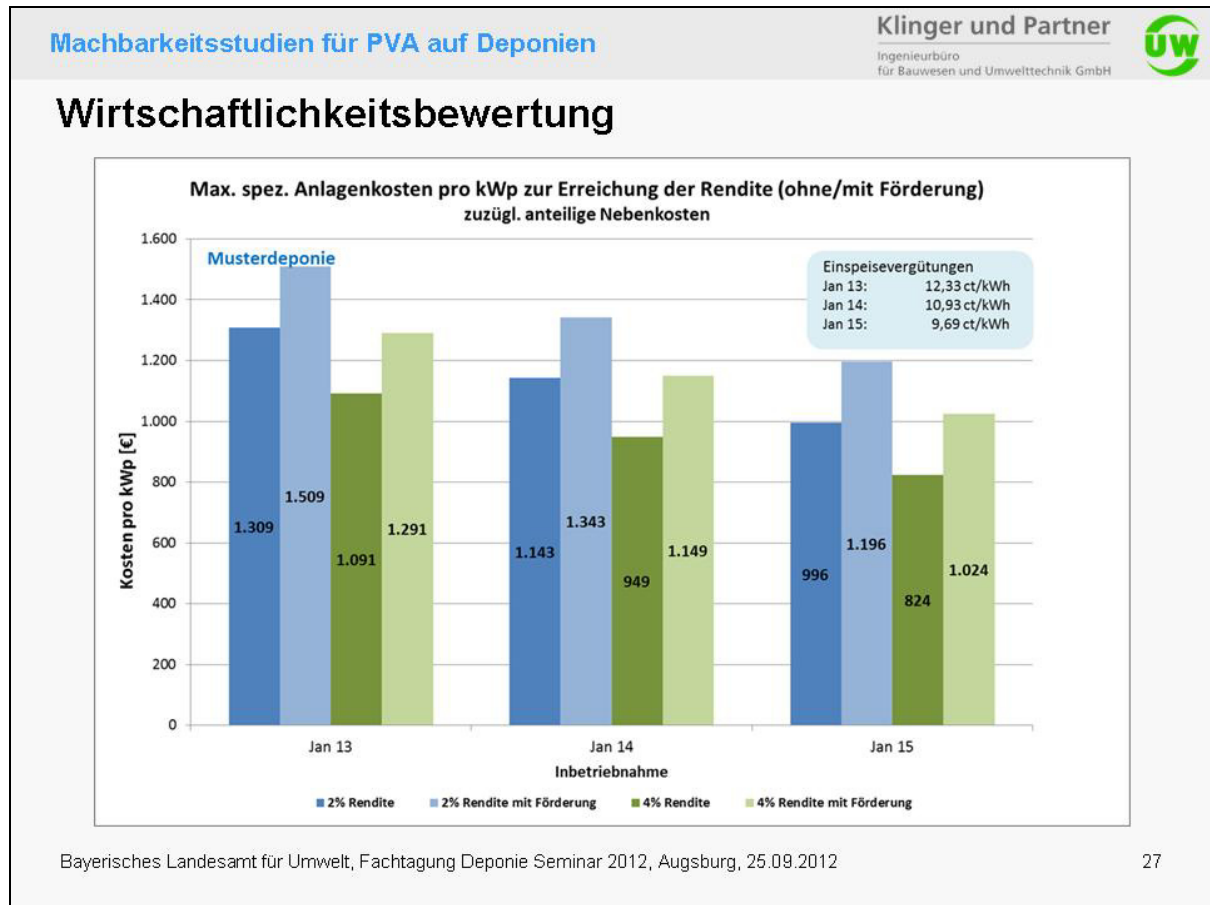
24

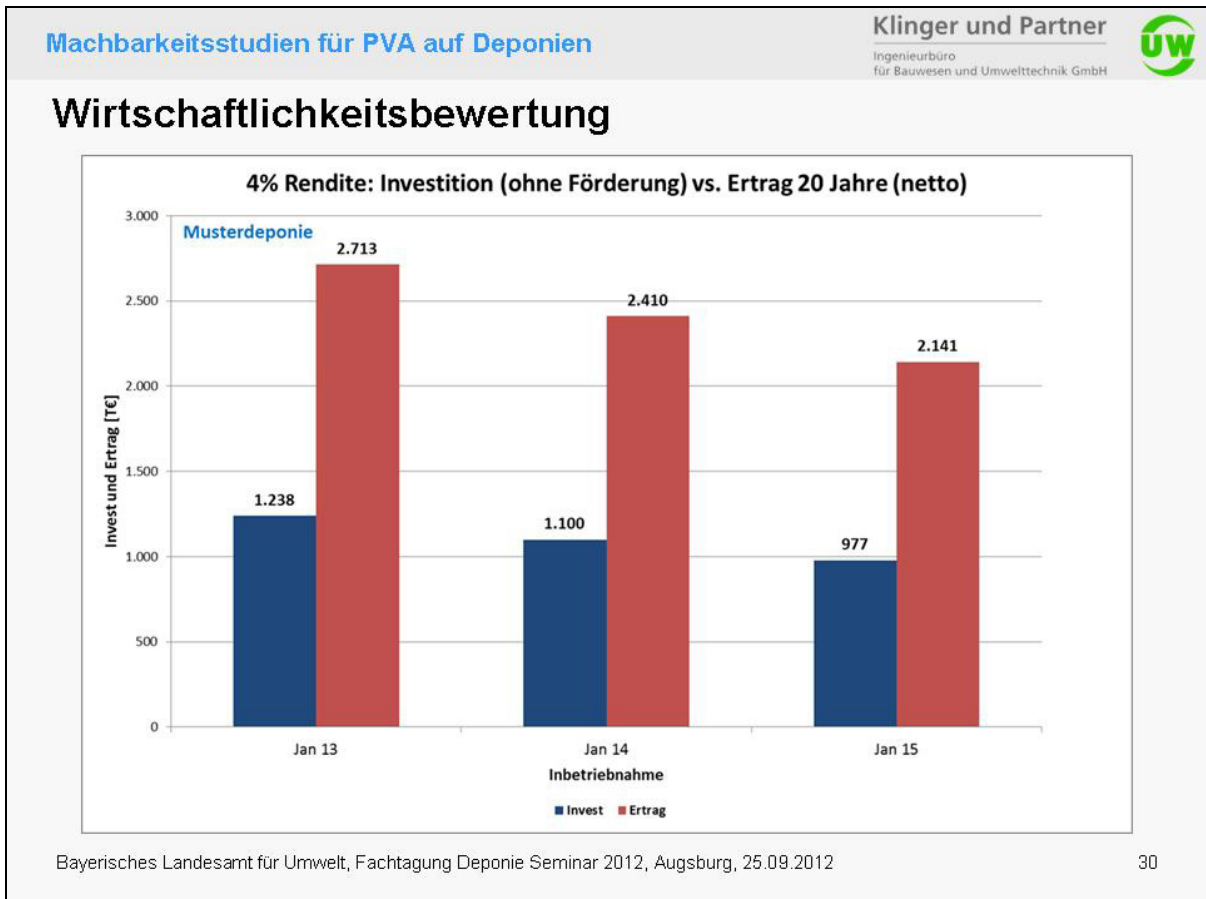
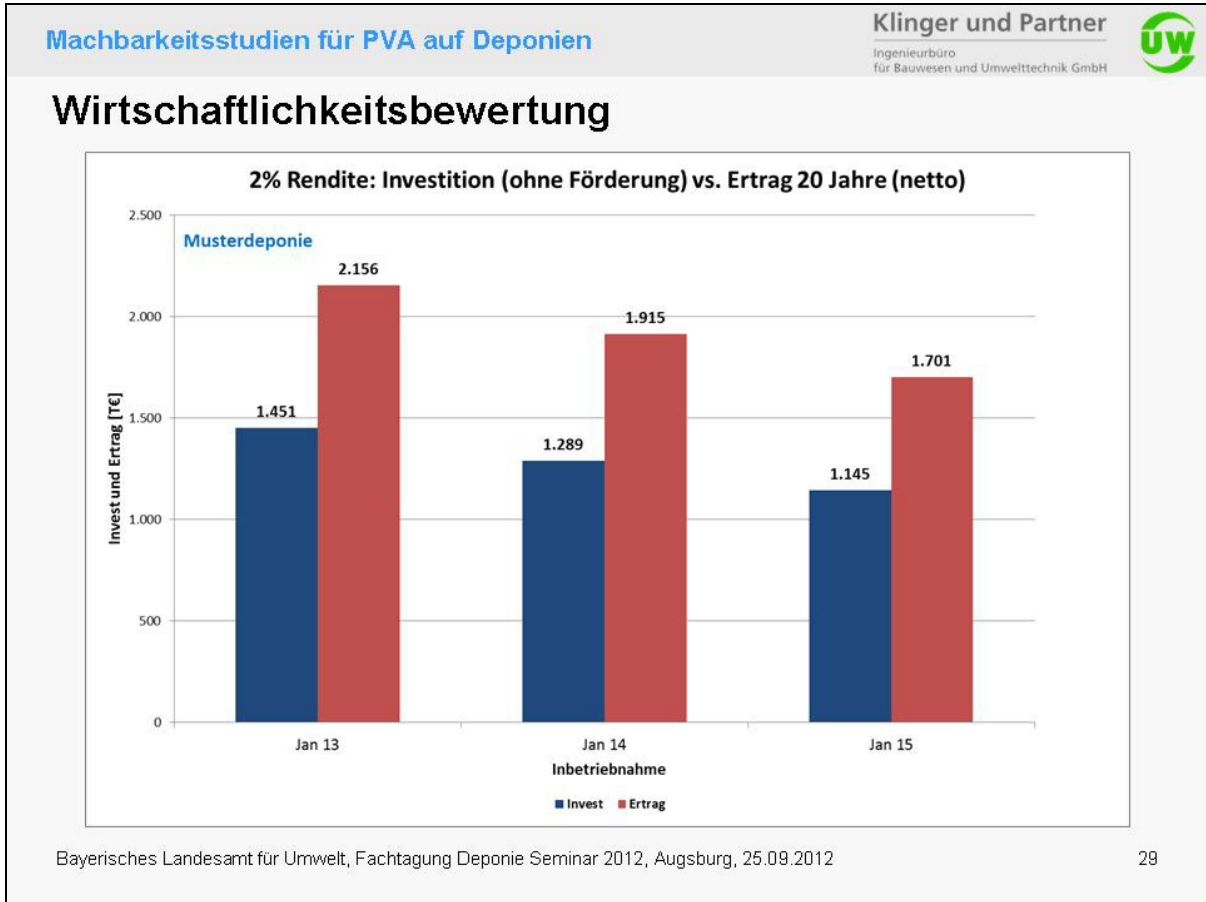
Machbarkeitsstudien für PVA auf Deponien		Klinger und Partner Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH			
Kostenansätze für landschaftsplanerische Belange (Kompensationsfaktor 1,0-1,2)					
Grad der Beeinträchtigung	gering	gering-mittel	Mittel	mittel-hoch	hoch
Kostenpunkte Planung [€/ha]					
Bebauungsplan	1.000	1.100	1.150	1.200	1.300
Landschaftspflegerischer Begleitplan	1.000	1.100	1.150	1.150	1.300
Artenschutzrechtliche Prüfung	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Kostenpunkte Ausführung [€/ha]					
Ausgleichsmaßnahmen (incl. Planung)	0	0	0	0	0
Ersatzmaßnahmen (incl. Planung)	8.000	10.000	16.000	33.000	55.000
Gesamtkosten [€/ha]	11.000	13.200	19.300	36.350	58.600

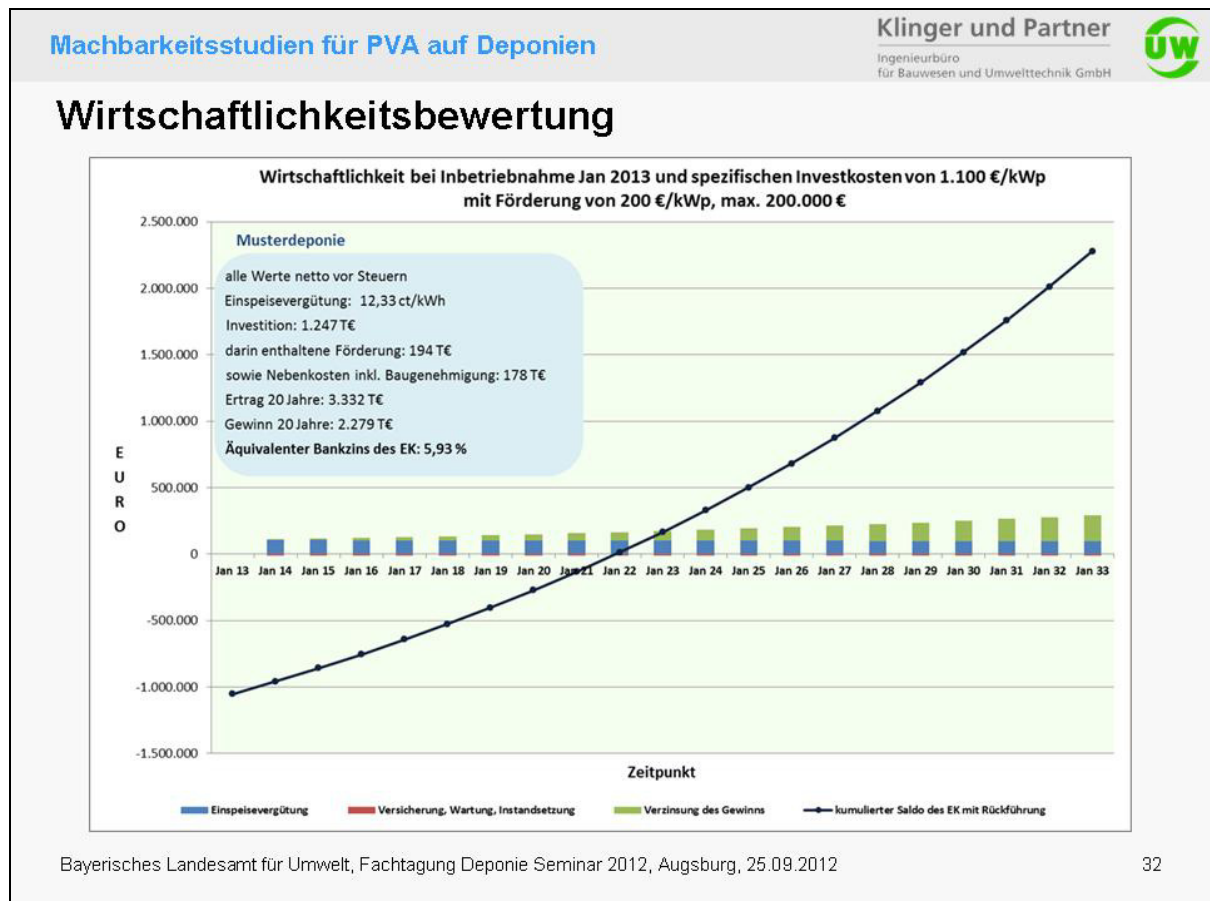
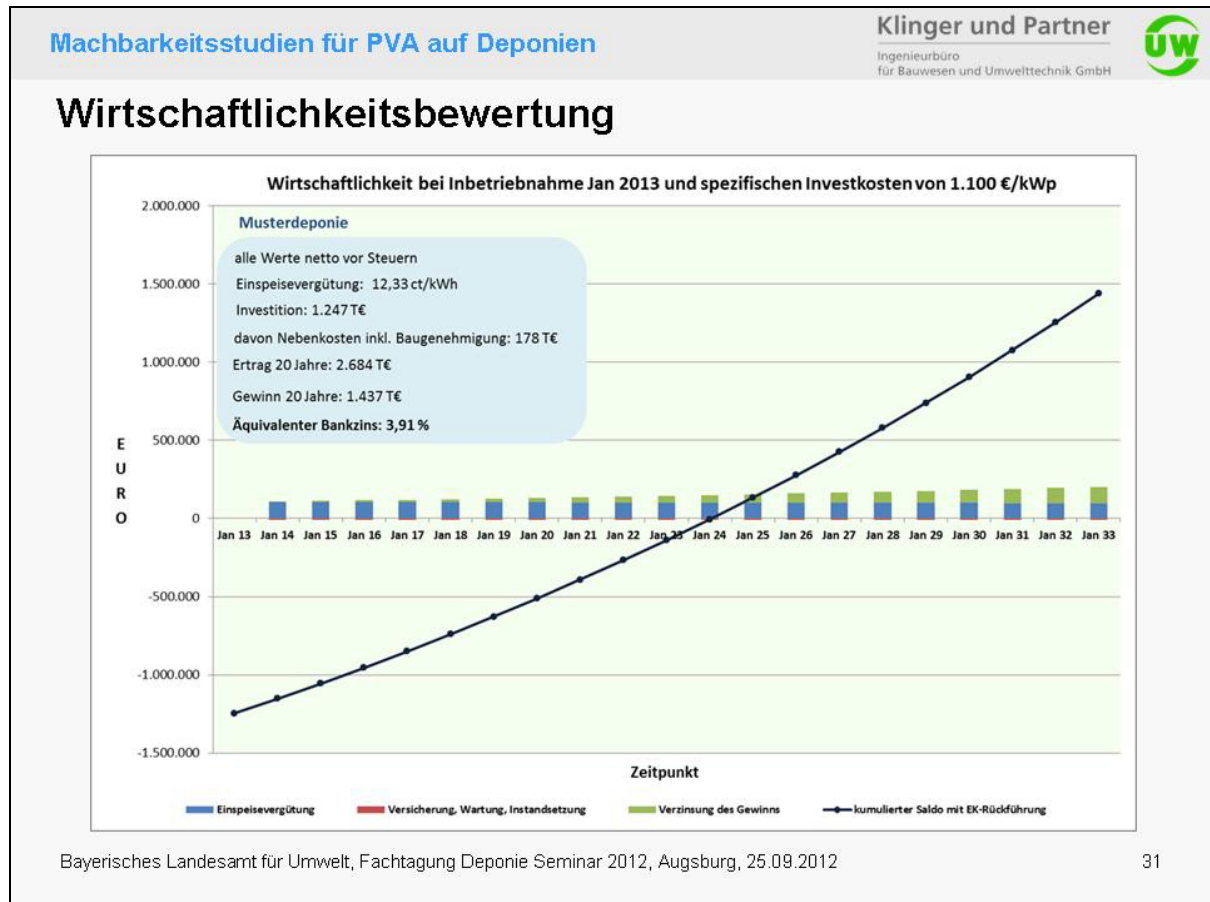
Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012 25

Machbarkeitsstudien für PVA auf Deponien		Klinger und Partner Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH			
Standortdaten Musterdeponie					
Standort	Musterdeponie				
Anlagenleistung	971 kWp				
Spezifischer Ertrag	905 kWh/kWp*a				
Nebenkosten	172.000 €				
Baugenehmigung	0,60 % der Investition				
Pachtkosten	3,00 % des Ertrags				

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012 26





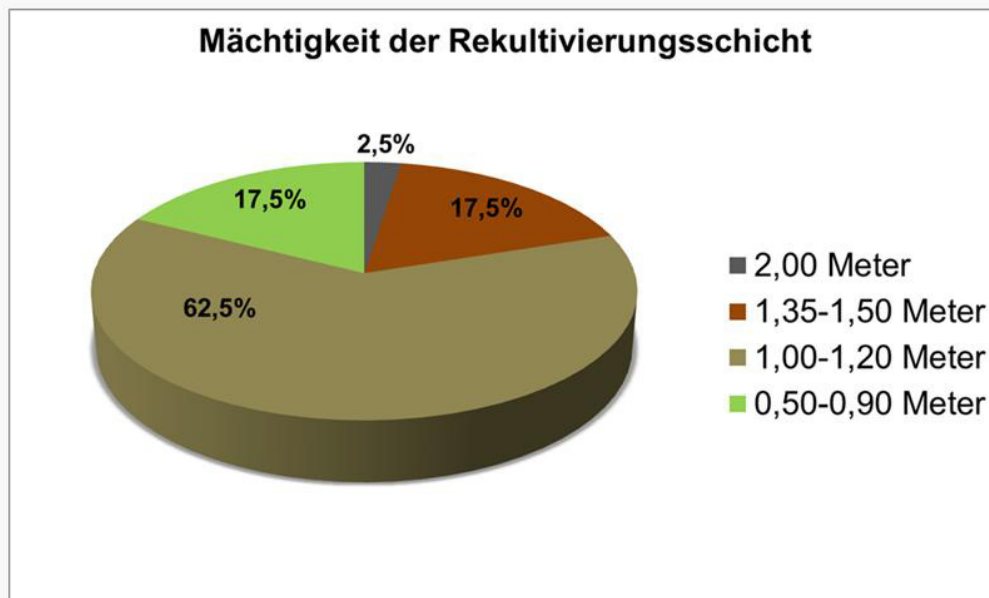


Auswertung der Ergebnisse aller Standorte

Minima, Maxima und Durchschnittswerte


Nr.	Fläche Deponie [m ²]	Für PV geeignet Brutto [m ²]	Für PV geeignet Netto [m ²]	PV-Modulfläche [m ²]	Ø Stärke Rekultivierungsschicht [m]	PV-Fläche von Brutto [%]	kWp pro Nettofläche [kWp/m ²]
Min.	16.000	2.300	1.582	631	0,5	27,43%	6,19%
Max	347.746	89.300	58.940	29.737	2,0	33,30%	7,86%
Ø	74.993	27.788	17.429	9.143	1,1	32,87%	8,16%

Auswertung der Ergebnisse aller Standorte



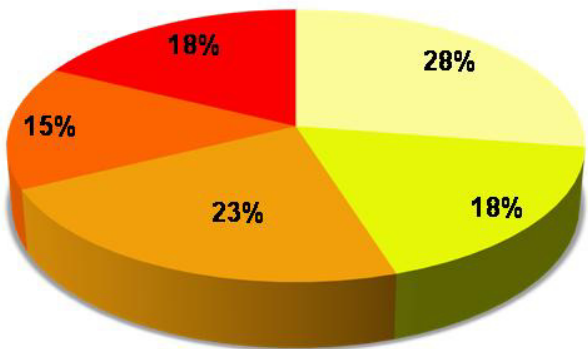
Machbarkeitsstudien für PVA auf Deponien

Klinger und Partner
Ingenieurbüro
für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH



Auswertung der Ergebnisse aller Standorte

Grad der Beeinträchtigung der Schutzgüter




Grad der Beeinträchtigung	Anteil
gering	28%
gering-mittel	18%
mittel	23%
mittel-hoch	15%
hoch	18%

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012

35

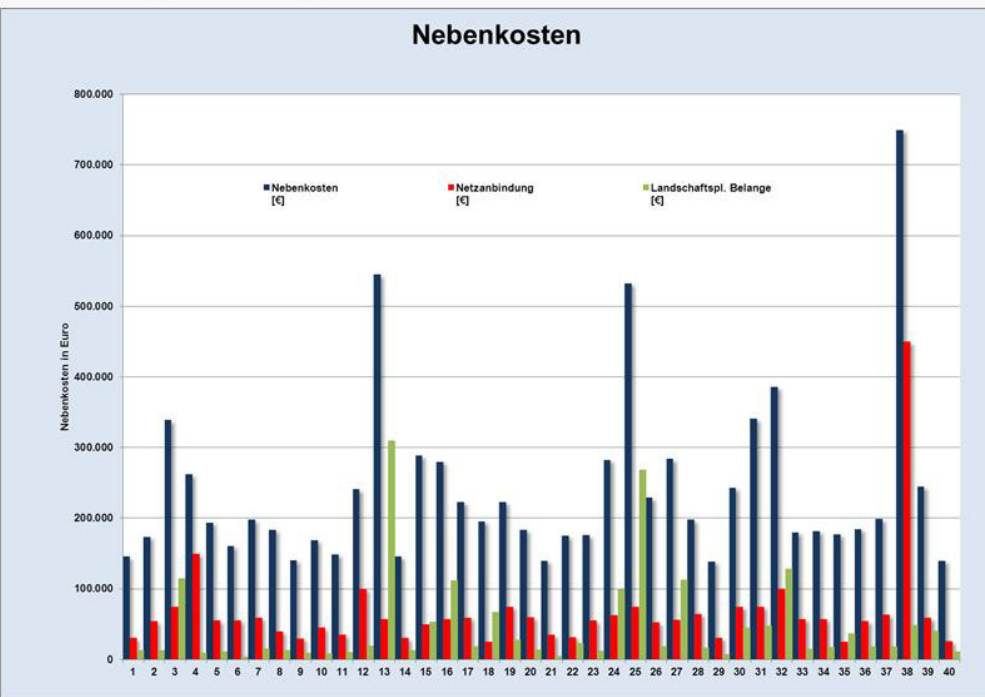
Machbarkeitsstudien für PVA auf Deponien

Klinger und Partner
Ingenieurbüro
für Bauwesen und Umwelttechnik GmbH



Auswertung der Ergebnisse aller Standorte

Nebenkosten

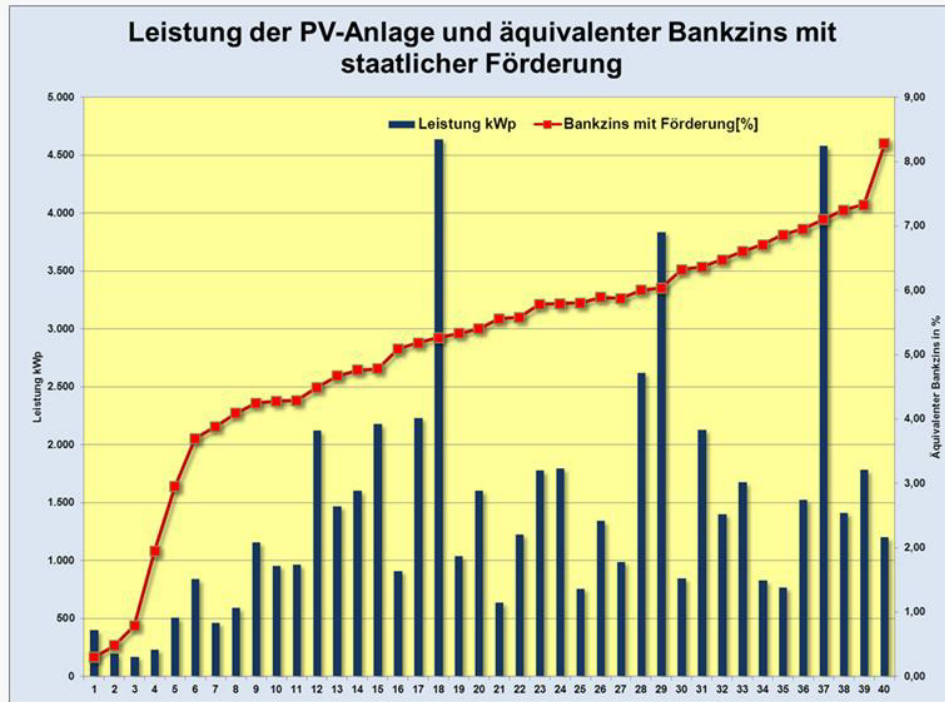


Standort	Nebenkosten [€]	Netzanbindung [€]	Landschaftspl. Belange [€]
1	150.000	20.000	0
2	180.000	30.000	0
3	340.000	60.000	100.000
4	260.000	150.000	0
5	190.000	50.000	0
6	160.000	40.000	0
7	200.000	50.000	0
8	180.000	30.000	0
9	140.000	30.000	0
10	160.000	40.000	0
11	150.000	30.000	0
12	240.000	100.000	0
13	540.000	50.000	310.000
14	140.000	20.000	0
15	290.000	50.000	0
16	280.000	50.000	100.000
17	220.000	50.000	0
18	190.000	20.000	60.000
19	220.000	70.000	0
20	180.000	30.000	0
21	140.000	30.000	0
22	170.000	30.000	0
23	170.000	30.000	0
24	280.000	50.000	100.000
25	530.000	60.000	270.000
26	220.000	50.000	0
27	280.000	50.000	100.000
28	200.000	60.000	0
29	140.000	30.000	0
30	240.000	70.000	0
31	380.000	100.000	120.000
32	340.000	70.000	0
33	180.000	50.000	0
34	180.000	50.000	0
35	170.000	40.000	0
36	190.000	50.000	0
37	190.000	60.000	0
38	750.000	450.000	0
39	240.000	50.000	0
40	140.000	20.000	0

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012

36

Auswertung der Ergebnisse aller Standorte



Bayerisches Landesamt für Umwelt, Fachtagung Deponie Seminar 2012, Augsburg, 25.09.2012

37

Die Verdichtungsanforderungen und der Proctorversuch im Erd- und Deponiebau

Dr.-Ing. Dirk Heyer, Zentrum Geotechnik, TU München

Technische Universität München

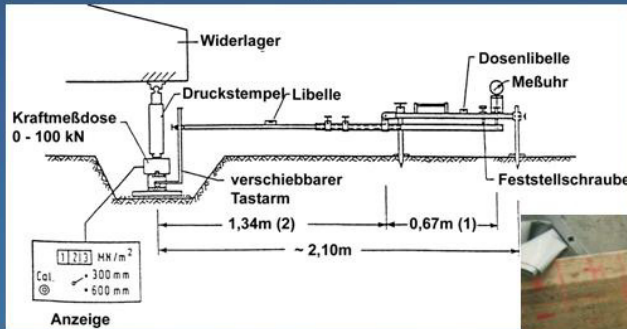


Verdichtungsanforderungen im Erdbau

- **Verformungsmodul auf dem Planum** – ausreichende Tragfähigkeit für den anforderungsgerechten Einbau der Schichten des Oberbaus / Befahrbarkeit als Baustraße
- **Verdichtungsgrad, Dichte und Luftporenanteil** – Kenngrößen für die Qualität eines Erdbauwerkes im Hinblick auf die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit (Minimierung von Setzungen / Ausschluss von Sackungen)

2

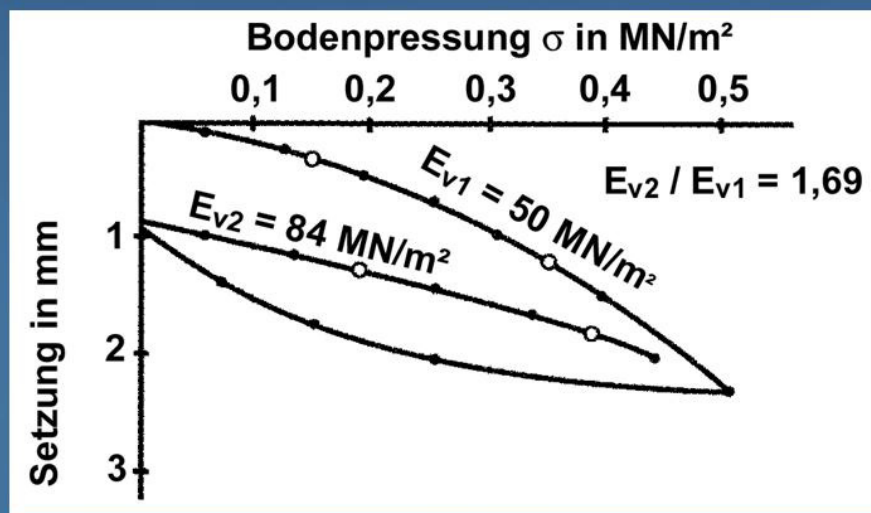
Verformungsmodul – statischer Lastplattendruckversuch



3

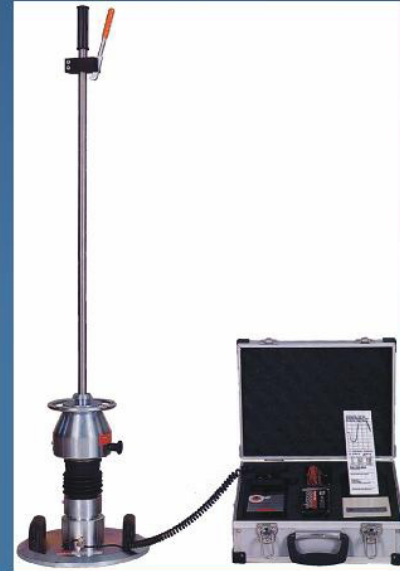
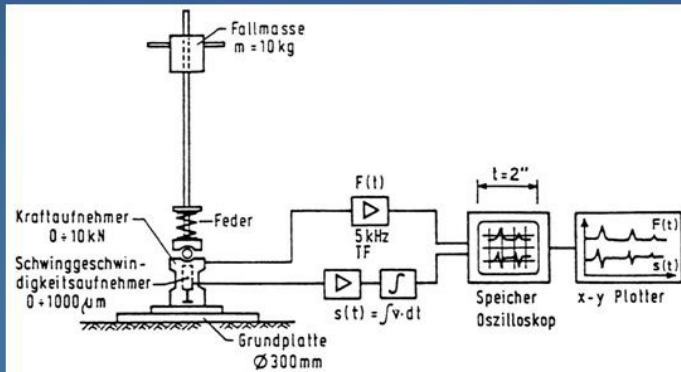
Verformungsmodul – statischer Lastplattendruckversuch

Druck - Setzungslinie beim Versuch



4

Verformungsmodul – dynamischer Lastplattendruckversuch



5

Verformungsmodul – Beurteilung der Tragfähigkeit auf dem Planum

Aufnahme des dynamischen Verformungsmoduls als gleichwertige Anforderung:

$$E_{v2} = 120 \text{ MN/m}^2 \text{ bzw. } E_{vd} = 65 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{v2} = 100 \text{ MN/m}^2 \text{ bzw. } E_{vd} = 50 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{v2} = 100 \text{ MN/m}^2 \text{ bzw. } E_{vd} = 50 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{v2} = 80 \text{ MN/m}^2 \text{ bzw. } E_{vd} = 40 \text{ MN/m}^2$$

$$E_{v2} = 45 \text{ MN/m}^2 \text{ (bzw. } E_{vd} = 25 \text{ MN/m}^2)$$

(dauerhaft gemäß RStO 01 ?!)

$$E_{v2} = 70 \text{ MN/m}^2$$

(bei qualifizierten Bodenverbesserungen)

6

Verformungsmodul – Indirektes Prüfverfahren für den Verdichtungsgrad

Tabelle 9: Richtwerte für die Zuordnung vom statischen Verformungsmodul E_{V2} zum Verdichtungsgrad D_{Pr} bei grobkörnigen Böden

Boden- gruppe	Statischer Verformungsmodul E_{V2} in MN/m ²	Verdichtungsgrad D_{Pr} in %
GW, GI	≥ 100	≥ 100
	≥ 80	≥ 98
GE, SE, SW, SI	≥ 80	≥ 100
	≥ 70	≥ 98

7

Verformungsmodul – Indirektes Prüfverfahren für den Verdichtungsgrad

Zusätzlich ist der Verhältniswert des Verformungsmoduls E_{V2}/E_{V1} zur Beurteilung des Verdichtungszustandes mit heranzuziehen. Dabei gelten:

- $E_{V2}/E_{V1} \leq 2,3$ für $D_{Pr} \geq 100$ %,
- $E_{V2}/E_{V1} \leq 2,5$ für $D_{Pr} \geq 98$ %.

Wenn der E_{V1} -Wert bereits 60 % des in der Tabelle 9 angegebenen E_{V2} -Wertes erreicht, sind auch höhere Verhältniswerte E_{V2}/E_{V1} zulässig.

8

Verformungsmodul – Indirektes Prüfverfahren für den Verdichtungsgrad

Tabelle 10: Richtwerte für die Zuordnung vom dynamischen Verformungsmodul E_{vd} zum Verdichtungsgrad D_{pr} bei grobkörnigen Böden

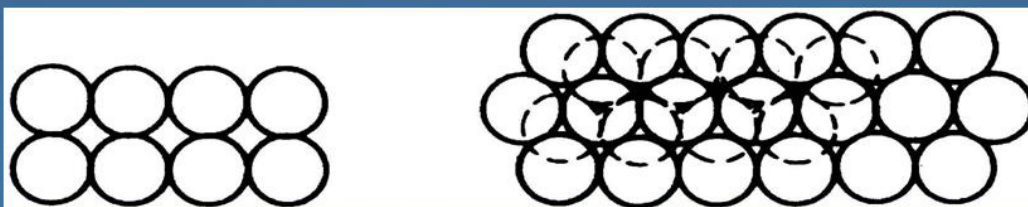
Bodengruppe	dynamischer Verformungsmodul E_{vd} in MN/m ²	Verdichtungsgrad D_{pr} in %
GW, GI, GE	≥ 50	≥ 100
SW, SI, SE	≥ 40	≥ 98

Bei den Bodengruppen GE und SE sind die Zuordnungen in den Tabellen 9 und 10 im Rahmen der Probeverdichtungen zu überprüfen.

Lagerungsdichte (keine Verdichtungsanforderung !)

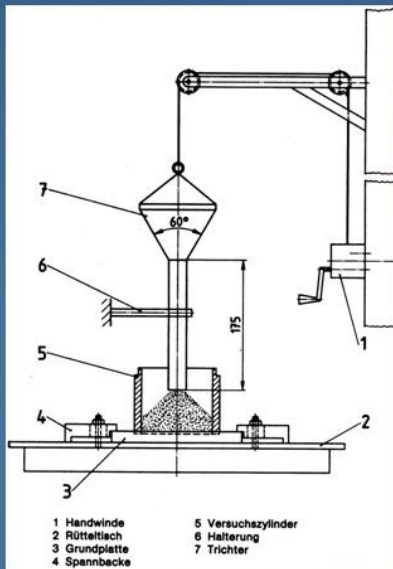
Lockerste Lagerung

Dichteste Lagerung

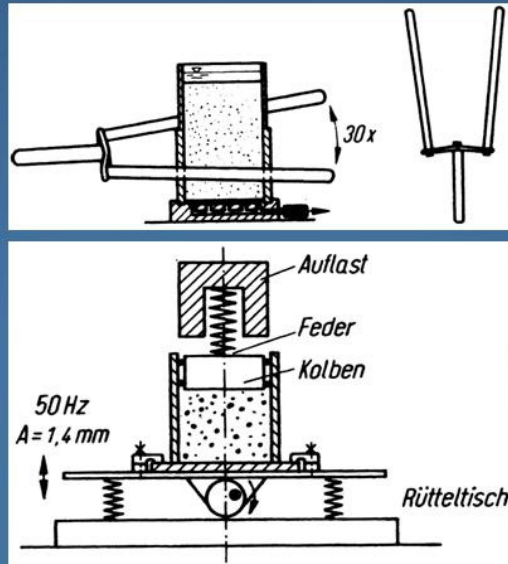


Lagerungsdichte

Lockerste Lagerung



Dichteste Lagerung



11

Lagerungsdichte $D = (\rho_d - \min \rho) / (\max \rho - \min \rho)$

0 – 0,15	sehr locker
0,15 – 0,30	locker
0,30 – 0,50	mitteldicht
0,50 – 1,00	dicht

Erkundung mittels Dichtebestimmungen, zumeist indirekt mittels Rammsondierungen

Beurteilung der Lagerungsbedingungen des gewachsenen Bodens für Gründungen

$D = 1,0$ ist nicht gleich $D_{Pr} = 100\%$ oder $\rho_d = 1,0 \times \rho_{Pr}$

ρ_{Pr} kann größer/(kleiner) als $\max \rho$ sein kann

Grundlage sind zwei unterschiedliche Versuche !

12

Verdichtungsgrad

Grundlage Proctorversuch
nach DIN 18127

Beschreibung des
Verdichtungsverhaltens
geschütteter Böden

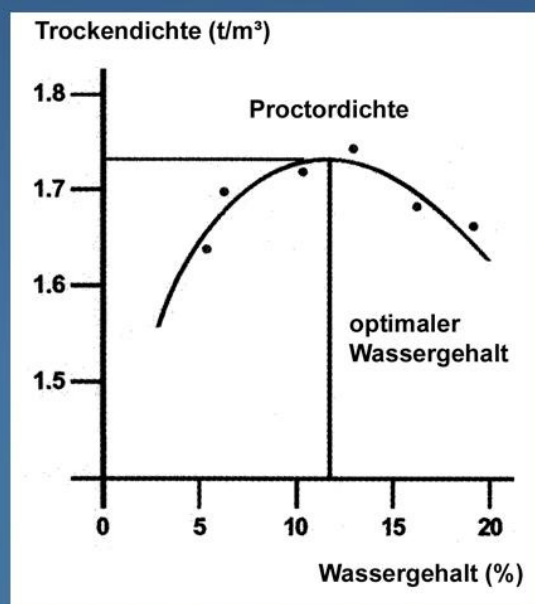
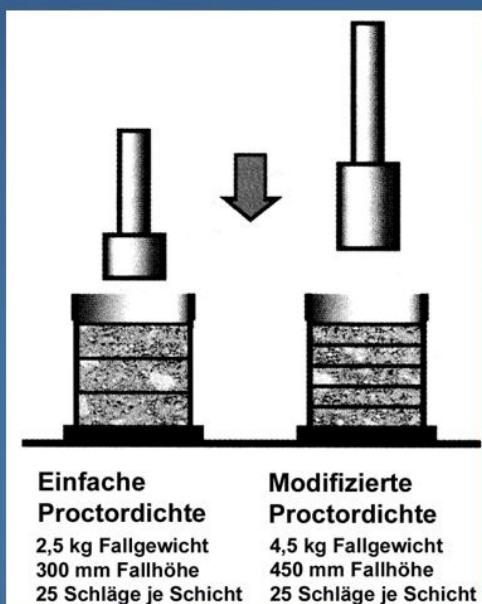
Charakteristisch ist dabei die
stampfende Verdichtungsart

Die im Felde ermittelte
Trockendichte in Relation
zur Proctordichte ergibt den
Verdichtungsgrad



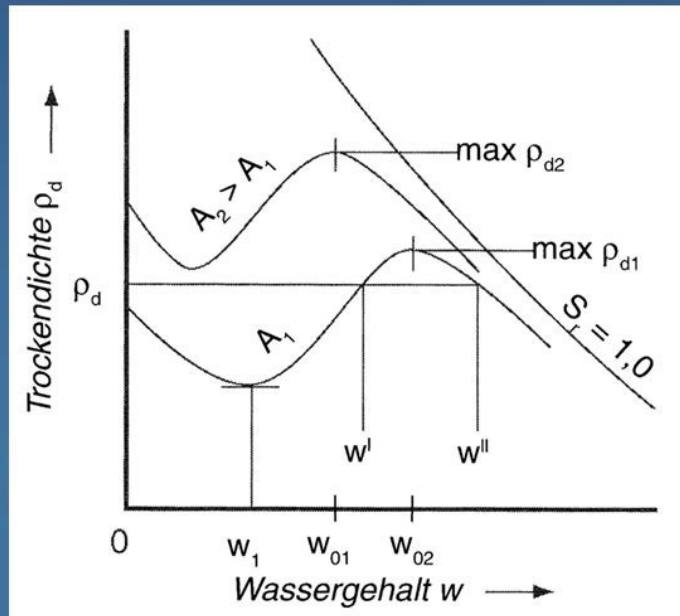
13

Verdichtungsgrad - Proctorversuch



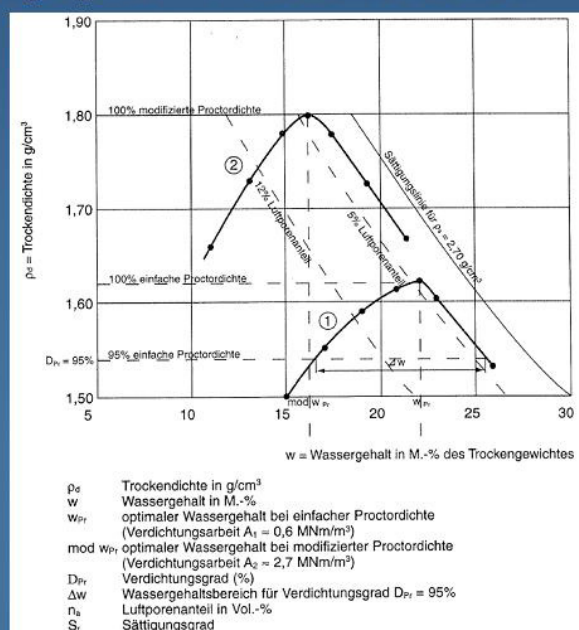
14

Verdichtungsgrad - Proctorversuch



15

Verdichtungsgrad - Proctorversuch



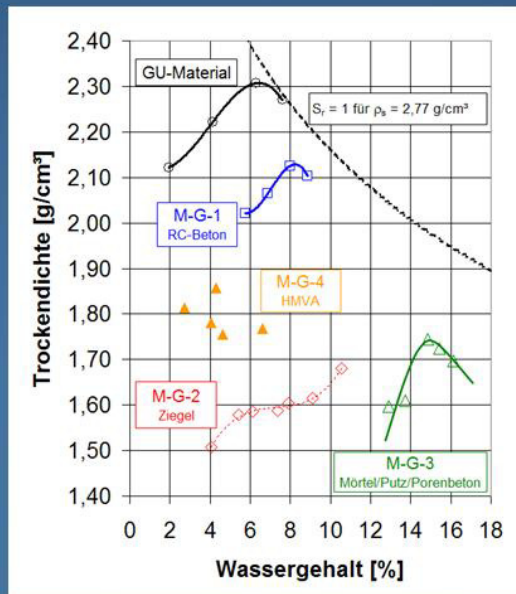
16

Proctorkurve uneindeutig

Verdichtungsgrad nicht ermittelbar

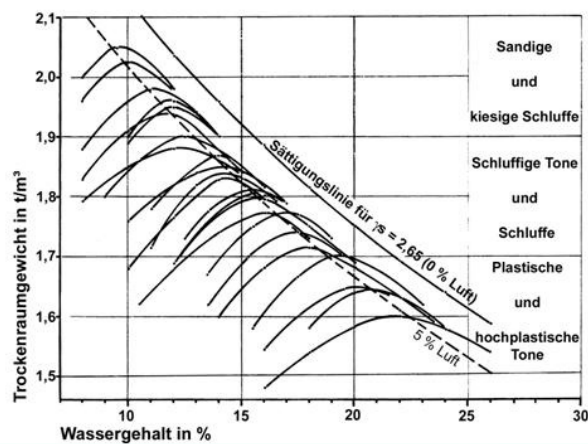
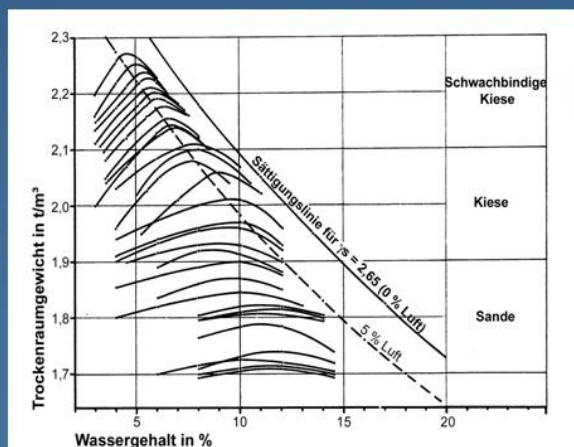
Das ist kein Ausschlussgrund für ein Erdbaumaterial

Erforderliche Dichte und ggf. zulässige Wassergehaltsspanne angeben



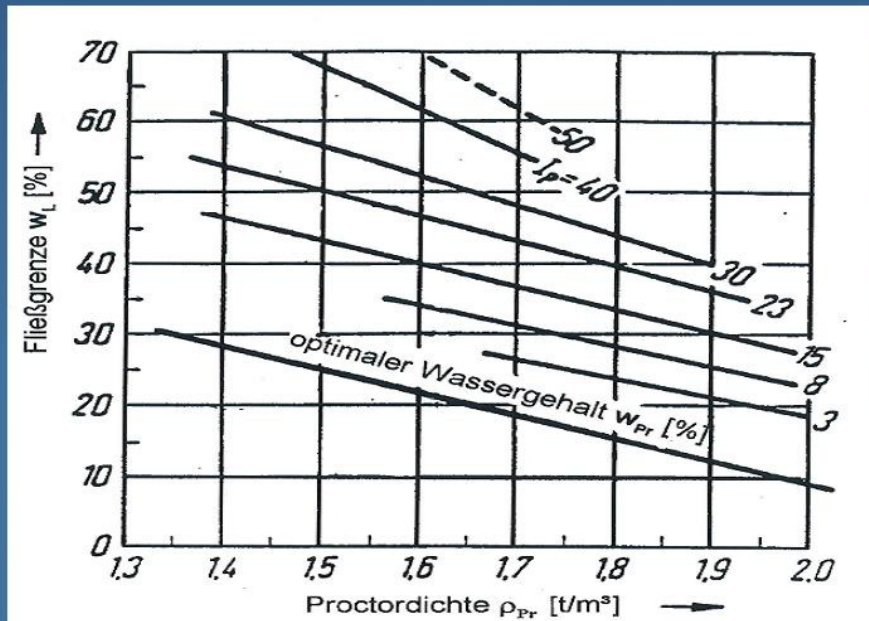
17

Proctorkurvenentwicklung bei den Bodenarten



18

Von der Klassifikation zu den Proctorwerten



19

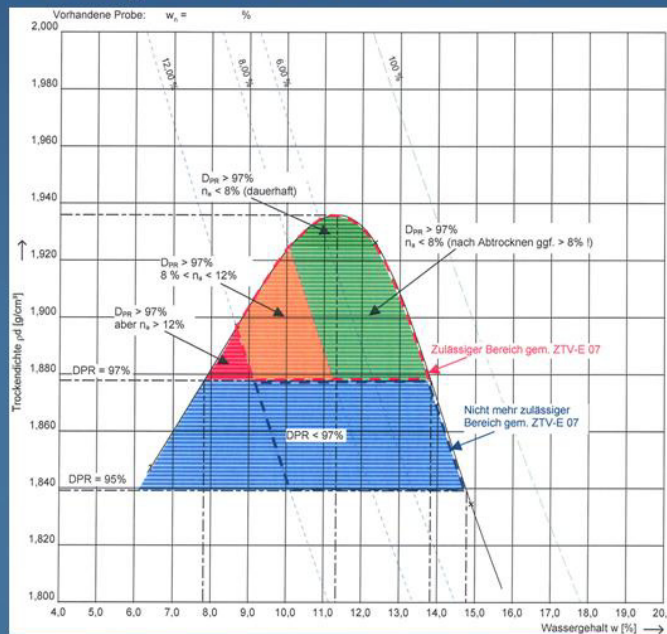
Verdichtungsanforderungen

	Bereich	Bodengruppen	D_{Pr} in %	n_a in %
1	Planum bis 1,0 m Tiefe bei Dämmen und 0,5 m Tiefe bei Einschnitten	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	100	-
2	1,0 m unter Planum bis Dammsohle	GW, GI, GE SW, SI, SE GU, GT, SU, ST	98	-
3	Planum bis Dammsohle und 0,5 m Tiefe bei Einschnitten	GU*,GT*, SU*, ST* U, T, OU ³ , OT ³)	97	12 8 (6)**

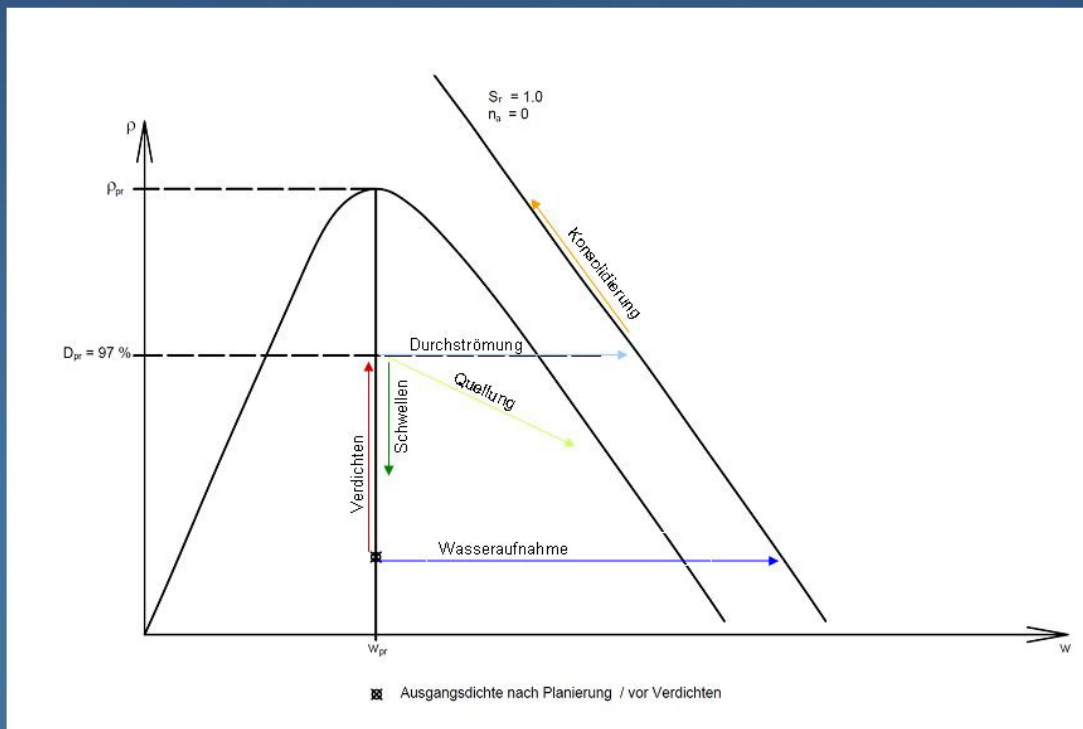
** gilt für veränderlich feste Gesteine

20

Erläuterungen zu den neuen Anforderungen



21



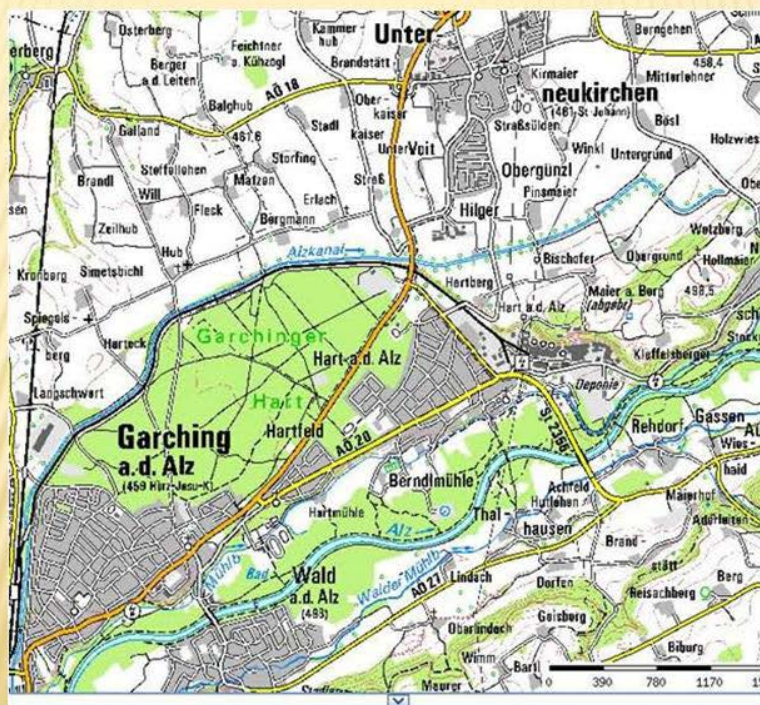
22

Asphaltdichtung

Peter Raunecker, IB-Raunecker

Lage der Deponie:
Betreiber:

Landkreis Altötting, Oberbayern
AlzChem AG



Ablagerung von produktionsspezifischen Abfällen:



- Ofenstäube
- Ofen- und Pfannenausbrüche
- Rohstoffstäube
- Kalk

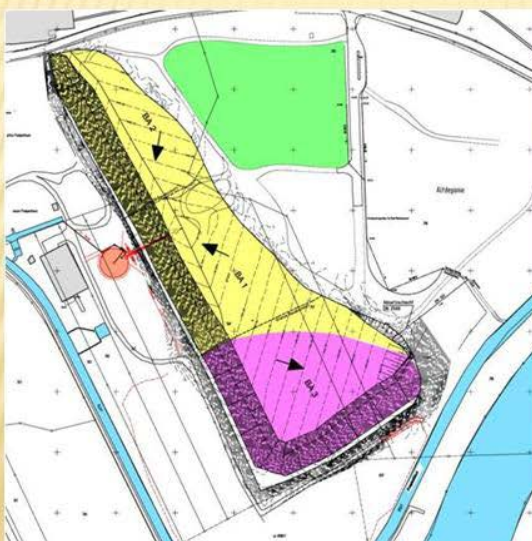
Das Deponat wird vor dem Transport zur Deponie sehr stark mit Wasser abgemischt um eine Windverfrachtung (Staub) zu vermeiden. Zusätzlich wird damit eine Selbstentzündung sehr feiner Stäube unterbunden.



Konzept der Asphaltabdichtung



Deponieklasse:	1	
Gesamtvolumen:	350.000 m ³	
Hochfläche:	ca. 28.000 m ²	(Oberflächenabdichtung mit Asphalt)
Böschungfläche:	ca. 12.500 m ²	(mineralische Oberflächenabdichtung)
Böschungsneigung:	1 : 2	



gelbe Bereiche: Abdichtung 2010 und 2011
 pinke Bereiche: Einbaubereiche, noch nicht abgedichtet



Beobachtung des Setzungsverhaltens zeigt, über Jahre keine messbaren Setzungen in den bereits verfüllten Abschnitten der Deponie.

Die Deponiehochfläche soll als Lagerfläche für das Werk genutzt werden. Auf der Lagerfläche werden inerte Stoffe für die Produktion gelagert.

Das auf den asphaltierten Flächen anfallende Regenwasser muss verzögert in den Vorfluter abgegeben werden um eine hydraulische Stoßbelastung zu vermeiden

Eine Teilfläche soll über ein Rückhaltebecken geführt werden, falls ein Regenwasserrückhalt betriebsbedingt erforderlich werden sollte

Aufbau Oberflächenabdichtung Hochfläche: Asphalt



Asphaltverschleißschicht	4 cm	B70/100	6,90 €/m ²
Schichtenverbund 150 g/m ²			0,20 €/m ²
Deponieasphaltichtung (DAD)	4 cm	B70/100	6,90 €/m ²
Schichtenverbund 150 g/m ²			0,20 €/m ²
Deponieasphalttragschicht (DA)	12 cm	B70/100	13,00 €/m ²
Planum herstellen +/- 2 cm			0,60 €/m ²
Frostschuttschicht	30 cm	—	5,00 €/m ²
Unterplanum herstellen			

Gesamtstärke Aufbau: 50 cm

Gesamtkosten brutto: 35 €/m²

(Preisniveau 2010 bei über 10.000 m²)

wesentliches Kriterium für den Asphalt: weniger als 3% Hohlraumgehalt in der eingebauten Schicht

In Ausschreibung und Bauausführung festgelegt: Schichtstärken im Asphalt sind Mindeststärken, die an keiner Stelle unterschritten werden dürfen. **Kein Schichtstärkenausgleich wie im Straßenbau!!!!**

Verschleißschicht wurde ebenfalls mit einem Hohlraumgehalt von 3% und ähnlichem Aufbau wie die Dichtschicht hergestellt obwohl dies die Nutzung (Spurrinnen) verschlechtert

Weiches Bitumen für den Einbau gewählt um über einen langen Zeitraum eine Versprödung zu vermeiden

Bei der Asphaltrezeptur steht die Dichtfunktion im Vordergrund, weniger Fragen der Tragfähigkeit oder Spurrinnenbildung

Einbauvorschritt bei der Asphaltdichtung deutlich höher als bei einer mineralischen Dichtung,

gleichzeitig deutlich weniger von der Witterung abhängig. Einbau der 18.000 m² Asphaltdichtung in 6 Arbeitstagen.

Anhaltspunkte für den Asphaltaufbau:

DVWK Merkblatt 237/1996 - Deponieabdichtungen in Asphaltbauweise (gilt eigentlich für Basisabdichtungen)

EAAW - Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltarbeiten im Wasserbau

FGSV - MfA UwS Merkblatt für die Herstellung flüssigkeitsundurchlässiger

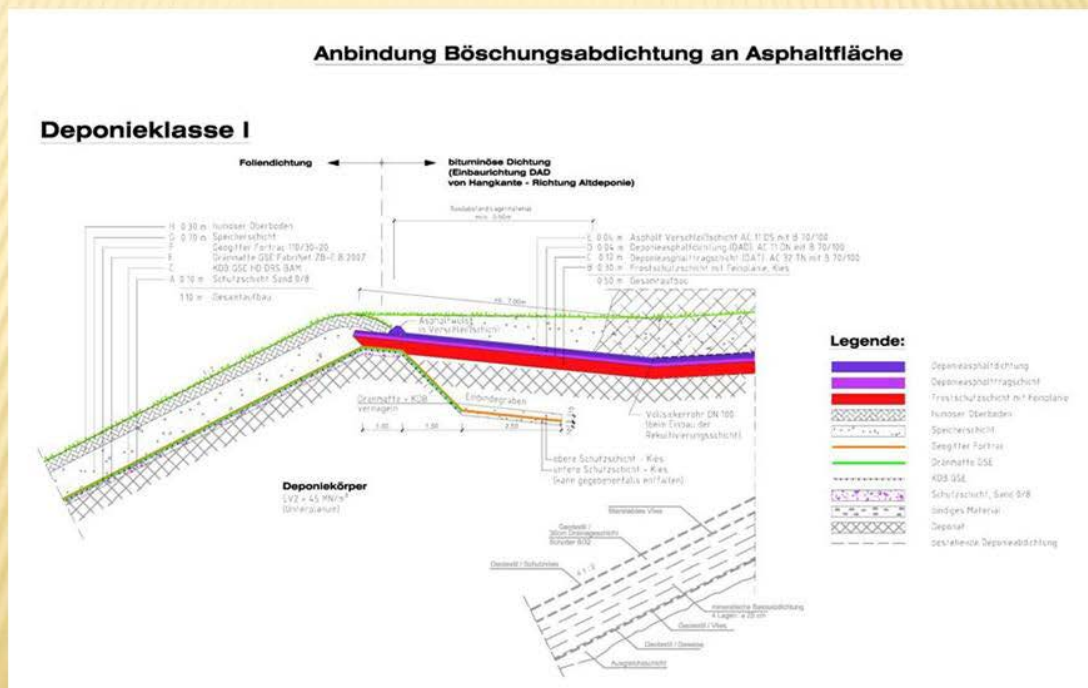
Asphaltbefestigungen für Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen

DIBt Zulassung - Asphalt für Deponieabdichtungen (Zulassung ist 2001 abgelaufen)

Z-67.11-1 vom 23. Juli 1996 für DK II bei Basisabdichtungen

GDA Empfehlungen E 8 - Empfehlungen zu Asphaltbauweisen im Deponiebau

Gutachten über die Eignung von Asphalt für die Herstellung von Deponieabdichtungen (Dr. Ing. Steffen, Essen)



Wesentliches Kriterium für die Dichtigkeit: Ausführung der Anschlüsse/Nähte



- Idealzustand Einbau heiß an heiß
- (realistisch nur während des Tageseinbaues zu erreichen)
- Einbau heiß an kalt (Fugen zwischen zwei Tagesabschnitten)
- Nähte als eigene Position mit entsprechender Ausführung im LV aufnehmen

Nähte der einzelnen Schichten wurden um 40 cm bzw. 50 cm versetzt

Ausführung der Naht ähnlich den Straßenbauvorschriften

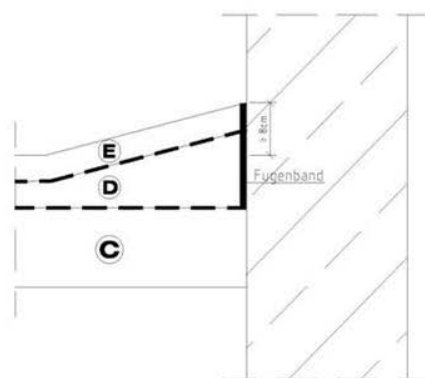
Zwei Schächte (Deponiesickerwasserleitung) durchdringen die Asphaltdichtung

dort wurde der Asphalt hochgezogen um Wasser vom Anschlusspunkt

(immer ein Schwachpunkt) fernzuhalten

Detail Bauwerksanbindung an Asphalt

M = 1 : 5



Arbeitsnahte: heiß an heiß, Naht vorspritzen: Tok - Plast

Nähte bei Arbeitsunterbrechung: Lage D - E

- Asphalt senkrecht durchschneiden
- Asphalt einbauen
- Fuge nachschneiden 15x40mm
- Fuge heiß vergießen

Nähte in unterschiedlichen Schichten um mind. 50cm versetzen
Bei hohen Temperaturen bzw. engen Radien Asphalt mit ca. 10cm Sand schützen.

Rissabdeckverfahren über Fuge





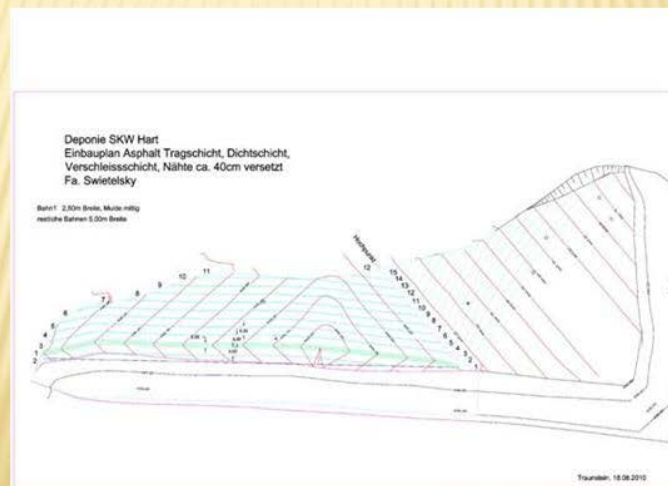
**Wesentliches Kriterium für die Qualität:
Arbeitsvorbereitung durch den Bauleiter der Baufirma**



Einbauplan für den Asphalt - Abstimmung des Maschineneinsatzes

Am Tiefpunkt nicht zwei Bahnen zusammenstoßen lassen, sondern mit einem Fertiger eine V-Bahn ausführen!!!!

Einbau mit konventionelle Straßenbaumaschinen bis zu einer Oberflächenneigung von 1 : 3,5 oder flacher





Problem: Asphaltanlieferung zum Fertiger ohne das Planum mit den LKW umzugraben
 Lösung: Insbesondere bei Kurvenfahrten nahezu unvermeidlich, Walze + Gräder vorhalten

Wesentliches Kriterium für den Unterbau: Ebenheit, Tragfähigkeit



Tragfähigkeit des Unterplanums: $E_{v2} = 45 \text{ MN/m}^2$

Höhenvorgabe für das Planum über eine Vermessung der Baufirma, die über einen externen Vermesser nochmals geprüft wurde. Die im Bescheid vorgegebene

Höhe und das Oberflächengefälle müssen eingehalten werden

Kriterium für die Ebenheit:

Unterplanum (oben auf dem Deponat) :	keine Vorgabe
Planum: (oben auf dem Frostschutzkies)	2 cm auf 2,5 m

Das Verdichtungsergebnis war bei Walzen mit dynamischer Verdichtung schlechter als bei schweren Glattmantelwalzen.

Deponat zeigt kaum Setzungen. Keine organischen, abbaubaren Anteile im Deponat



Wesentliches Kriterium der Qualitätssicherung: Arbeitsvorbereitung



Alle wesentlichen Qualitätsprüfungen erfolgen an der eingebauten Schicht. Die Qualitätssicherung deckt die Mängel erst nachträglich auf. Bei großen Mängeln kann nur wieder ausgebaut werden (verfehlen der Schichtdicke, große Abweichung im Hohlraumgehalt)

Bei kleineren Abweichungen im Hohlraumgehalt kann im betroffenen Bereich eine Bitumenschlämme aufgetragen werden (Verschleißschicht)

Keine Proben genau im Bereich des Wasserlaufes (Rinntiefpunkt) entnehmen, also nicht genau dort die Dichtung schwächen, wo das Wasser läuft

Asphaltversuchsfeld kann nicht sofort im Deponiebereich erstellt werden (Fugen) ist aber im Bereich von späteren Zufahrtsstraßen möglich und kann dann dort verbleiben

Qualitätsmanagementplan gemäß Abschnitt E5 GDA-Empfehlungen
Anforderungskatalog zur Fremdüberwachung des Versuchsfeldes der Asphaltdichtung (Hochfläche)
 Version 4

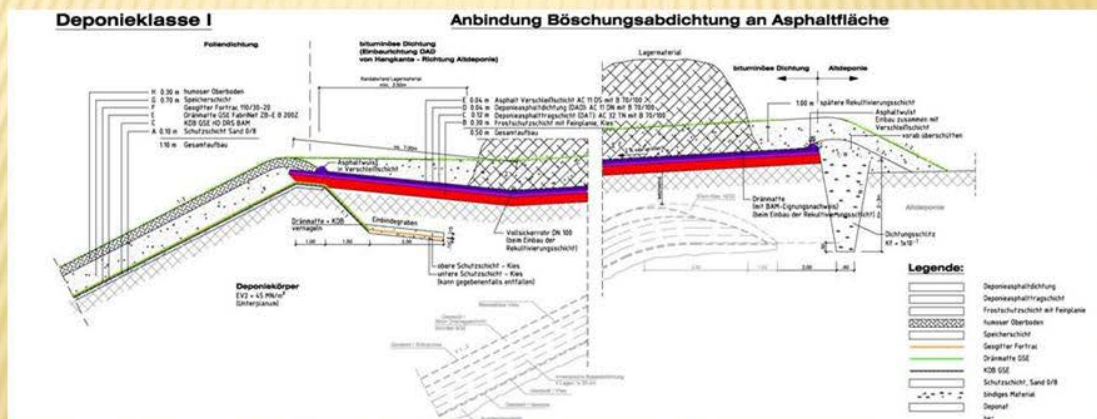
Nr.	Forderung	Vorgabe	Prüfstrater			Prüfung von	Verfahren
			EU	FU	sonstige		
11	Lage C: Deponieasphalttragschicht DAT AC 32 TN 70/100						
12	Mischgutzusammensetzung Asphalt (vgl. Einstellungsbericht Nr. 20101241, Fa. Sviatelsky)	Grenzw. TL Asphalt 3,9 %	2 x im Prüffeld	2 x im Prüffeld		Siebline Bindemittelgehalt	DIN EN 933-1 DIN EN 12697
13	Mischgutzusammensetzung Asphalt (vgl. Einstellungsbericht Nr. 20101241, Fa. Sviatelsky)	8 70/100 8,7 % 43 - 51 °C 70 - 100 mm	2 x im Prüffeld	2 x im Prüffeld		Bindemittelart Hohlraum Probel Erweichungspunkt Nadelpenetration	DIN EN 12697 DIN EN 12697 DIN EN 1427 DIN EN 1426
14	Mischgutzusammensetzung zurückgewonnene Mineralstoffe	Beschaffenheit Kornform Bruchfähigkeit Rohfläche	2 x im Prüffeld	2 x im Prüffeld			DIN EN 12697
15	Untersuchungen an Ausbauböden/Bohrkernen über alle 3 Lagen (Bohrkerne nicht an den Tiefpunkten der Asphaltfläche entnehmen)	<= 8,7 % Verbund vorhanden sonstigen 12 cm	2 x im Prüffeld	2 x im Prüffeld		Hohlraumgehalt Verbund Homogenität; Nähte Schichtdicke	DIN EN 12697
16	zerstörungsfreie Untersuchungen an der fertigen Schicht	dicht <= 8,7 % 12 cm	2 x im Prüffeld	Teilnahme		Dichtigkeit Nähte Hohlraumgehalt Schichtdicke	Vakuumglocke Hohlraumgehalt Wirbelstromverfahren
17	Kontrolle der Ebenheit	1 cm auf 2,5 m	laufend	Dichproben	laufend	Ebenheit	Vermessung



Lagerung von Schüttgütern auf der Asphaltfläche



- Lagerungshöhe wird durch die Statik für die Sickerwasserleitungsrohre begrenzt
- Mindestabstand der Schüttguthaufen vom Böschungsrand (Gleitbruch)
- Rekuboden etwas über die Asphaltebene gezogen - Markierung der Böschungskante
- Umlaufender Asphaltwulst um die Asphaltfläche falls durch Schüttgüter am Rand Wasser steht



nicht vergessen: Nutzung als Lagerfläche = zusätzlich Bauantrag



1. Plangenehmigungsverfahren für die Deponie durchgeführt (Volumenmehrung)

- Lärmgutachten (Baulärm - nahe Wohnbebauung)
- Nachweis der Standsicherheit der Böschung
- statischer Nachweis für die Sickerwasserleitung (Überschüttungshöhe steigt)
- Staubgutachten (Staub durch die Umlagerung - nahe Wohnbebauung)
- Nachweise zur Regenwasserableitung
- Wasserrechtsverfahren für die Regenwasserableitung

2. Bauantrag für die Nutzung als Lagerfläche

- erhöhter Bedarf an Ausgleichsfläche wegen der Asphaltierung
- Bauantrag, Baugenehmigung nicht Teil der Behandlung im Deponierecht



Bohrkernuntersuchung: DAD

Nr	Schichtdicke	Hohlraumgehalt
1	4	2,9
2	4,3	3
3	4,5	2,9
4	4	2,4
5	4	2,4
6	4,8	2,7
7	4,2	1,5
8	4,1	1,8
9	4,3	1,3
10	4,4	1,6
11	4,2	1,3
12	4	1,8

Was bleibt vom Müll in der Deponie übrig?

Prof. Dr.-Ing. Gert Lautenschlager, Hochschule Weihenstephan - Triesdorf

1 Einleitung

Deponien sind Stätten, auf denen Abfälle zeitlich unbegrenzt abgelagert werden. Die Eigenschaften und Zusammensetzung der Abfälle ändern sich im Laufe der Ablagerungszeit. Was vom Müll nach Jahrzehnte langer Ablagerung übrig bleibt, ist heute in zweierlei Hinsicht von Interesse. Einerseits ist für Betreiber stillgelegter Deponien eine wichtige Frage, wann mit dem Zeitpunkt zu rechnen ist, an dem die Deponie sich selbst überlassen werden kann, also wann die Nachsorgephase zu Ende geht. Andererseits wird seit einigen Jahren unter dem Stichwort „Urban Mining“ immer häufiger diskutiert, ob Abfälle für immer auf Deponien verbleiben sollen oder auch als Rohstoffquellen genutzt werden können. In beiden Fällen ist die Beschaffenheit des Mülls von großer Bedeutung.

Man kennt heute aus zahlreichen Untersuchungen zwar die Zusammensetzung von unbehandelt abgelagerten Siedlungsabfällen. Wie sich diese Abfälle aber nach einer Ablagerungsdauer von 20 oder 30 Jahren darstellen, ist weitaus weniger bekannt.

Auf der Deponie „Im Dienstfeld“ wurden 2011 und 2012 im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen der Sickerwasserleitungen mehrere Gruben bis zur Basisabdichtung abgeteuft. Dadurch bot sich die Gelegenheit, unterschiedlich alte Abfälle, mit einer Ablagerungsdauer zwischen 15 und 31 Jahren, näher zu analysieren. Die Hochschule Weihenstephan-Triesdorf griff die sich bietende Möglichkeit gerne auf und untersuchte in mehreren studentischen Projekten 19 Abfallproben an verschiedenen Stellen und in verschiedenen Tiefen der Deponie.

2 Beschreibung der Deponie „Im Dienstfeld“ und der Sanierungsmaßnahme

Der Betreiber der Deponie ist der Abfallbeseitigungsverband (ABV) Ansbach. Die Hausmülldeponie umfasst eine Fläche von insgesamt 12,4 ha. Zur Ablagerung von Abfällen steht eine Fläche von 9,4 ha zur Verfügung. Die Verfüllung des ersten Einbauabschnittes begann 1979. Es folgten Erweiterungen um die Bauabschnitte II, IIIa und IIIb. Bis heute ist eine Abfallmenge von ca. 1,25 Mio. t verfüllt worden. Der Müllberg besitzt eine Höhe bis zu 25 m. Das Abfallvolumen beträgt ca. 1,26 Mio. m³, woraus sich eine mittlere Abfalldichte von ca. 1000 kg/m³ ergibt.

Die Deponie besitzt eine mineralische Basisabdichtung mit einer Dicke von 60 bis zu 125 cm. Ein Großteil der Deponiefläche ist mit einer temporären Oberflächenabdichtung (HDPE-Folie, 1,5 mm) abgedeckt (Abb. 1). Das anfallende Sickerwasser wird in Sammelbecken geleitet. Ein Teil davon wird zur Befeuchtung des Müllkörpers reinfiltrierte, der verbleibende Rest wird einer deponieeigenen Reinigungsanlage zugeführt und mittels Umkehrosmose gereinigt. Das Deponiegas wird in einem dichten Netz von 118 vertikalen Gaskollektoren und 5 Horizontal-Brunnen gefasst und zwei Gasmotoren zur Verwertung zugeleitet.



Abb. 1: Deponie „Im Dienstfeld“ mit Gasbrunnen und temporärer Oberflächenabdichtung

Aus Kamerabefahrungen der Sickerwasserleitungen wurden Schäden der vorhandenen Steinzeugleitungen ersichtlich. Daraufhin wurde beschlossen, Teile der Sickerwasserrohre durch neue HDPE-Leitungen zu ersetzen. Die Neulegung sollte durch ein grabenloses Berstverfahren erfolgen. Der Aufwand für Aufgrabungen, Müllumlagerungen und die damit verbundenen Emissionen können damit im Vergleich zu einer offenen Bauweise wesentlich gesenkt werden.

Bei dieser Methode wird eine Berstrakete durch die defekte Rohrleitung gezogen, die die Rohrleitung zerstört und radial in den umgebenden Boden verdrängt und das neue Rohr in den frei werdenden Querschnitt einzieht. Es wird eine Start- und Zielgrube benötigt, die an den Anfangs- und Endpunkten der zu erneuernden Leitung angeordnet sind. Die Größe der Startgrube richtet sich nach den Abmessungen des Berstwerkzeuges bzw. dem Biegeradius des HDPE-Rohres. Im vorliegenden Fall besaß der Schacht einen Durchmesser von 6 Meter. Die Zielgrube war kleiner und musste nur Raum zum Bergen des Bersthammers bieten. Von einer Seilwinde wird ein Seil über die Zielgrube durch das Altrrohr hin zur Startgrube gezogen und mit dem Berstkopf verbunden. Das Seil zieht am Bersthammer, der mit Druckluft vorgetrieben wird und gleichzeitig das neue Rohr einzieht (Abb. 3).



Abb. 2:
Spezialbagger beim
Ausheben der Start-
grube



Abb. 3:
Einziehen des neuen
Sickerwasserrohres in
die Startgrube

3 Probenahme und Analyseverfahren

Die Abfallproben wurden aus zwei verschiedenen Startgruben entnommen. Grube 1 wurde im Sommer 2011, Grube 2 im Sommer 2012 erstellt. Die Schächte wurden schrittweise ausgehoben. Immer wenn ca. 2 Meter ausgebaggert waren, wurden die Grubenwände mit bewehrtem Spritzbeton gesichert (Abb. 4). Von den ausgehobenen Abfallchargen wurde jeweils eine Probe von 10 bis 20 kg entnommen (Abb. 5). Grube 1 wurde etwa in der Mitte der Deponie abgeteuft. Die Basisabdichtung wurde in einer Tiefe von 21,6 m erreicht, so dass sich daraus insgesamt 11 Proben ergaben. Grube 2 wurde im Böschungsbereich der Deponie ausgehoben. Die Basisabdichtung wurde hier bereits in einer Tiefe von 17 m erreicht. Aus diesem Bereich wurden weitere 8 Proben gewonnen.



Abb. 4:
Startgrube mit bewehrten Grubenwänden



Abb. 5:
Beprobung der ausgehobenen Abfallcharge

Das Alter des Abfalls konnte aus Angaben des Betreibers über Ablagerungsbeginn und -ende, aus sortierten Altpapieren, die noch ein lesbares Datum aufwiesen sowie aus Lebensmittelverpackungen mit Haltbarkeitsdatum grob abgeschätzt werden. In Grube 1 (Deponiemitte) stammt die tiefste und somit älteste Abfallprobe (Nr. 1-11) aus den Jahren 1979/80, die oberflächennächste und jüngste Probe (Nr. 1-1) aus den Jahren 1995/96. Bei der Probe Nr. 4 in einer Tiefe von ca. 6 bis 8 m wurde ein Datum aus dem Jahr 1988 und bei Probe Nr. 9 (Tiefe 16 bis 18 m) eines aus 1981 identifiziert. In Grube 2 (Böschungsbereich) lieferten noch gut lesbare Tageszeitungen ein verlässliches Alter der Abfälle. Es reichte von 1988 in einer Tiefe von 4 m (Probe 2-1) bis zum Jahre 1982 in 17 m Tiefe (Probe 2-8).

Bei einem Grubendurchmesser von 6 m und einer Abschnittstiefe von 2 m wurde jeweils ein Abfallvolumen von ca. 57 m³ ausgehoben, welches sich durch die aufgelockerte Ablagerung noch vergrößerte. Für eine repräsentative Probe wäre eine Zerkleinerung, Durchmischung und Einengung des ausgehobenen Materials erforderlich gewesen. Da leider kein geeignetes Gerät wie Shredder oder Mischtrommel zur Verfügung standen, wurde versucht, so gut wie möglich eine für den jeweiligen Abschnitt typische Abfallmischung zu entnehmen. Große Abfälle wie Holz, Plastikfolien oder Flaschen wurden nicht berücksichtigt. Diese Art der Probenahme stellte zwar eine Vereinfachung dar, liefert aber dennoch bessere Proben, als sie bei kleinvolumigen Probebohrungen erhalten werden.

Die Proben wurden zunächst zur Stabilisierung bei 60°C getrocknet. Der mittlere Trockenrückstand und die grobe Feuchte wurden durch Wägung ermittelt. Es folgte eine Klassierung in Grob- (> 32 mm), Mittel- (10 - 32 mm) und Feinfraktion (< 10 mm). Bei Grube I wurde nur die Grobfraktion in verschiedene Abfallarten (Glas, PPK, Inertes, Kunststoffe, Metalle, etc.) sortiert. Bei Grube II wurde die Sortierung für die Grob- und Mittelfraktion durchgeführt.

Des Weiteren wurden von den Proben aus der Grube 1 die Feinfraktion und von den Proben aus der Grube 2 die Mittelfraktion auf folgende Parameter hin untersucht:

- Trockensubstanz
- Glühverlust
- Heizwert
- Elementaranalyse (C, H, N, S, O)
- Gasbildung im Gärversuch (GB21)
- Schwermetalle im Eluat

4 Ergebnisse

4.1 Trockenrückstand, Feuchtegehalt

Der Trockenrückstand und die grobe Feuchte der Abfallproben wurden durch Trocknung bei 60°C und Rückwägung bestimmt. Die Trockensubstanzgehalte der Proben aus Grube 1 schwanken zwischen 65 und 79 % (Abb. 6), die aus Grube 2 zwischen 62 und 78 % (Abb. 7). In beiden Fällen ist kein Trend über der Einbautiefe erkennbar. Die Abfallfeuchte beträgt an mehreren Stellen weniger als 30 %, so dass für den biologischen Abbau der organischen Fraktion keine idealen Bedingungen gegeben sind.

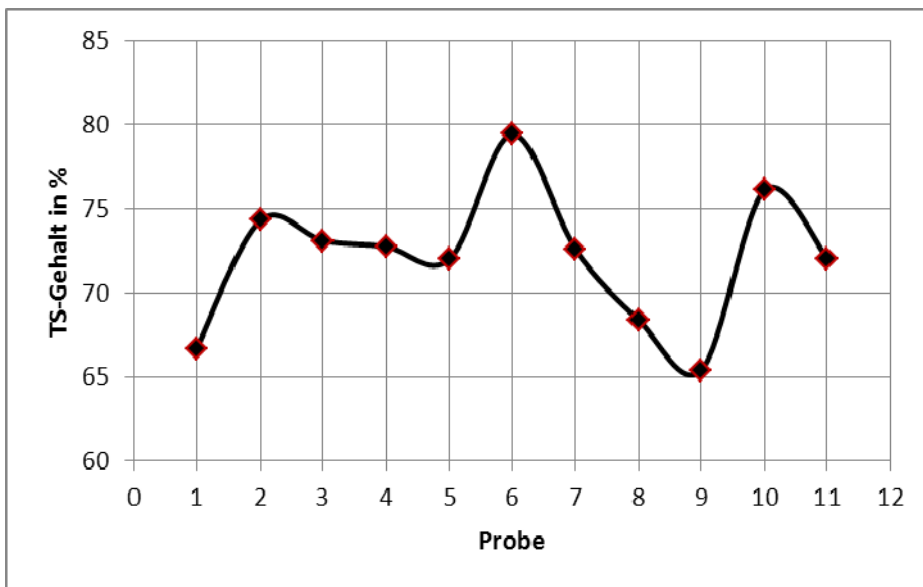


Abb. 6:
Verteilung des TS-
Gehaltes über der Ein-
bautiefe (Grube 1)

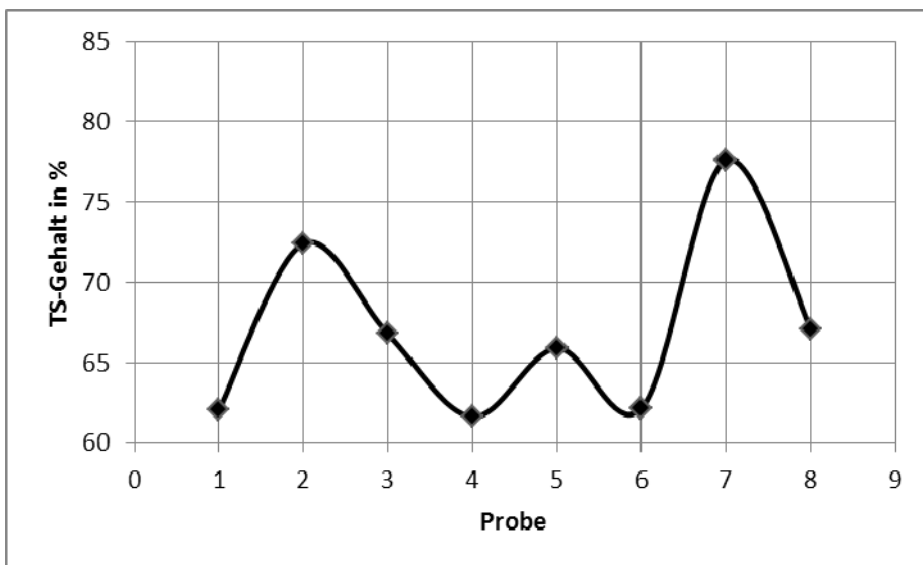


Abb. 7:
Verteilung des TS-
Gehaltes über der Ein-
bautiefe (Grube 2)

4.2 Klassierung und Sortierung

Die Abfallproben wurden durch Siebung in die Fraktionen

Grob: > 32 mm

Mittel: 10 - 32 mm und

Fein: < 10 mm

aufgeteilt.

Ein Trend ist über der Einbautiefe nicht erkennbar (Abb. 8 und 9). Bei den 11 Proben aus Grube 1 macht die Feinfraktion mit ca. 40 % den größten Anteil aus. Bei den 8 Proben aus Grube 2 dominiert die Grobfraktion mit ca. 70 %. Ein Grund für die unterschiedliche Verteilung der Korngröße zwischen den Gruben 1 und 2 könnte sein, dass verschiedene Personen die Probenahme durchführten.

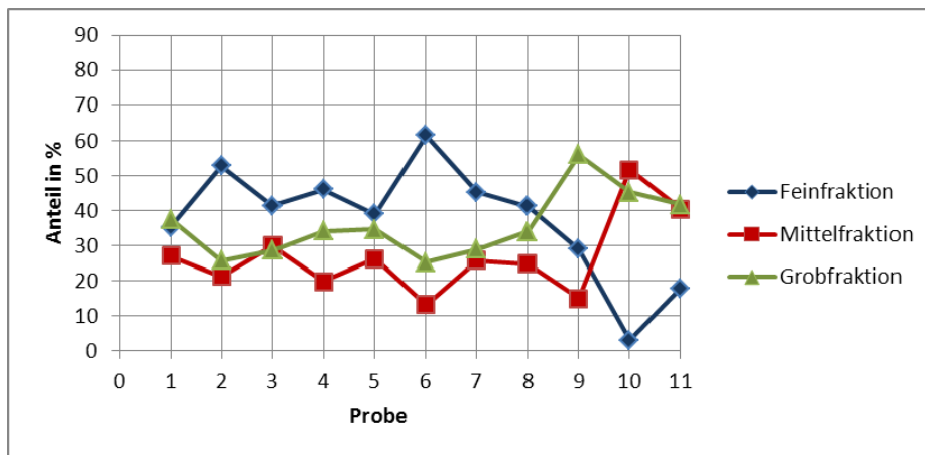


Abb. 8:
Anteil der Grob-, Mittel-
und Feinfraktion
(Grube 1)

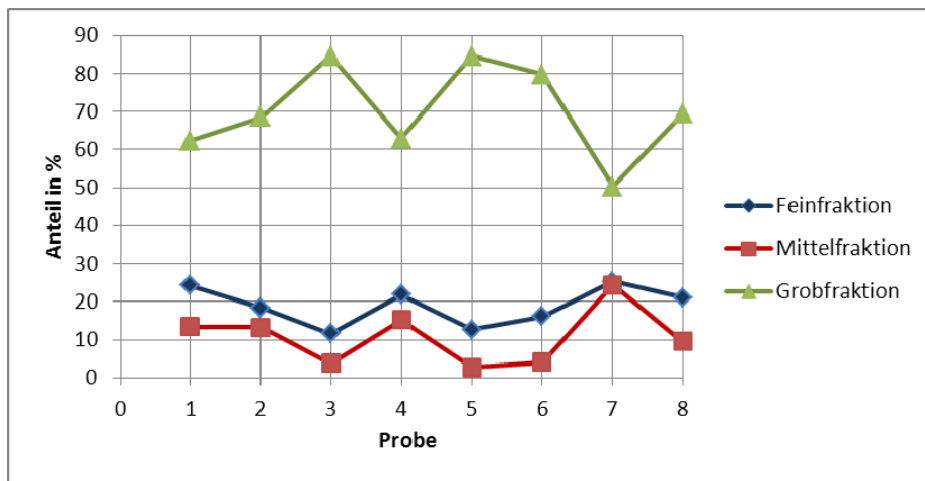


Abb. 9:
Anteil der Grob-, Mittel-
und Feinfraktion
(Grube 2)

Die Grobfraktion der Proben aus Grube 1 wurde nach verschiedenen Abfallarten sortiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Abfallanteile schwanken in allen Fraktionen willkürlich und über einen weiten Bereich.

Besonders hoch sind die Anteile an Kunststoff und Papier, Pappe und Karton. Der geringe Abbau von PPK ist auf den Holzanteil zurückzuführen, der unter anaeroben Bedingungen sehr schwer abbaubar ist. Selbst in mehr als 30 Jahre altem Müll waren noch gut lesbare Papierreste und Zeitungen enthalten. Abbildung 10 zeigt eine Verteilung der Abfallfraktionen über alle 11 Proben der Grobfraktion.

Tab. 1: Anteile der Abfallarten in der Grobfraktion (Grube 1)

Probe/Anteil [%]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Hygieneprodukte	-	-	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-
PPK	11,9	23,0	19,8	28,5	13,7	25,1	10,4	17,6	15,5	4,0	9,5
Kunststoffe	30,3	47,3	18,0	15,3	29,0	23,9	35,8	39,4	23,9	12,6	19,9
Glas	4,1	10,1	2,3	3,7	10,0	9,3	3,2	7,8	11,3	2,4	0,7
Metalle	4,9	-	8,3	4,1	15,6	9,3	4,9	14,5	5,5	1,7	4,4
Inertes außer Glas	20,1	9,4	21,7	5,0	20,1	27,5	27,4	18,2	-	27,6	22,9
Textilien	5,3	3,4	3,7	2,9	4,5	0,8	11,0	1,7	2,6	0,7	0,8
Holz	23,4	4,7	2,3	5,0	7,1	-	7,2	0,8	2,0	3,0	0,8
Verbunde	-	2,0	19,4	25,5	-	4,0	-	-	32,6	39,5	0,2
Sonstiges	-	-	3,2	-	-	-	-	-	6,8	8,6	40,6

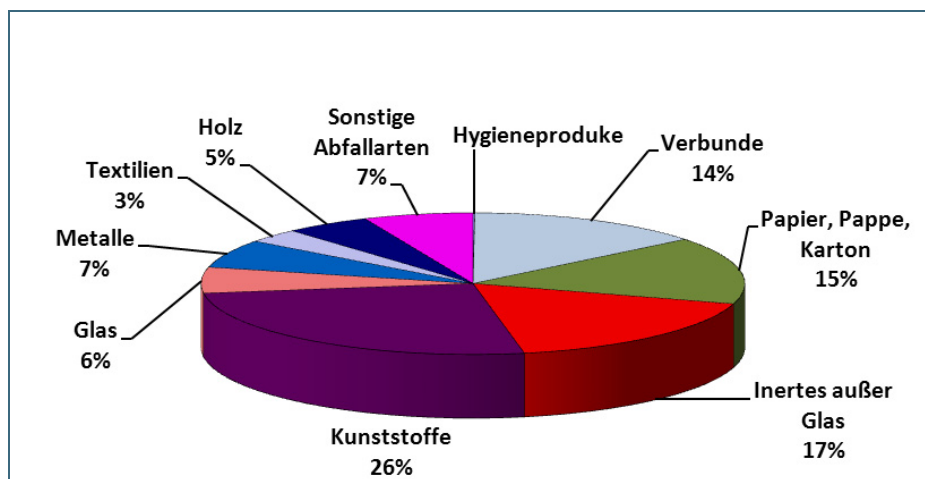


Abb. 10: Zusammensetzung der Grobfraktion, Mittelung über alle 11 Proben (Grube 1)

Von den Proben aus der Grube 2 wurden sowohl die Grob- als auch die Mittelfraktion nach verschiedenen Abfallarten sortiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 und 3 dargestellt. Die Abfallanteile schwanken auch hier in allen Fraktionen willkürlich und über einen weiten Bereich. In der Grobfraktion nehmen, wie bei den Proben aus Grube 1, Kunststoffe und PPK die größten Anteile ein. In der Mittelfraktion sind diese beiden Abfallarten deutlich niedriger vertreten.

Tab. 2: Anteile der Abfallarten in der Grobfraktion (Grube 2)

Probe/Anteil [%]	1	2	3	4	5	6	7	8	Mittel
Hygieneprodukte	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PPK	33,2	16,9	53,5	18,9	26,0	13,1	15,2	42,5	25,8
Kunststoffe	23,8	14,4	14,5	35,1	21,0	31,7	10,6	20,3	21,2
Glas	2,3	0,3	0,0	0,1	1,0	0,1	3,1	4,3	1,3
Metalle	11,1	10,7	19,6	10,3	23,8	3,2	8,0	4,9	11,7
Inertes außer Glas	4,3	10,7	7,6	1,3	2,8	0,0	45,1	0,0	10,0
Textilien	2,7	33,9	3,3	5,5	0,0	6,6	0,6	2,5	7,7
Holz	1,5	2,3	1,5	6,6	3,7	8,4	8,5	0,4	4,3
Verbunde	2,0	7,4	0,0	4,4	9,3	0,0	0,1	1,5	3,4
Sonstiges	19,1	3,5	0,0	17,7	12,3	37,0	9,0	23,7	14,6

Tab. 3: Anteile der Abfallarten in der Mittelfraktion (Grube 2)

Probe/Anteil [%]	1	2	3	4	5	6	7	8	Mittel
Hygieneprodukte	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PPK	14,1	4,0	6,5	2,9	3,6	5,7	1,0	6,1	4,2
Kunststoffe	12,1	8,0	5,7	6,3	10,8	19,6	3,3	6,3	6,7
Glas	24,6	10,0	11,0	10,9	15,9	8,5	12,0	24,4	14,0
Metalle	1,6	1,4	4,5	1,9	9,3	3,0	0,6	0,6	1,5
Inertes außer Glas	12,0	1,2	59,4	18,9	0,0	6,4	25,0	5,2	16,7
Textilien	1,5	0,5	0,0	0,7	1,9	1,2	0,5	2,7	0,9
Holz	4,3	1,8	5,4	3,2	4,6	0,7	1,2	1,0	2,2
Verbunde	0,0	4,7	2,0	5,3	0,0	0,3	0,0	0,3	1,8
Sonstiges	29,8	68,4	5,5	49,8	53,8	54,6	56,4	53,5	52,1

4.3 Eluate

Die Feinfraktionen der 11 Proben aus Grube 1 wurden im Schüttelverfahren 24 Stunden eluiert (Verhältnis Flüssigkeit zu Feststoff 10:1). Die ungelösten Bestandteile wurden durch Filtration abgetrennt. Von den Eluaten wurden der pH-Wert und die Leitfähigkeit sowie die Konzentrationen von Fluorid, Chlorid und Sulfat gemessen (siehe Tab. 4).

	pH-Wert	Leitfähigkeit	Fluorid	Chlorid	Sulfat
Einheit	-	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L
DK I	5,5 – 13	-	≤ 5	≤ 1500	≤ 2000
1	7,7	2190	-	188	134
2	8,3	816	0,53	29	107
3	8,1	672	1,10	29	82
4	9,8	954	2,88	124	70
5	8,4	934	1,50	136	38
6	9,7	1115	1,65	100	193
7	8,6	1205	1,52	179	33
8	8,5	969	1,38	131	32
9	7,9	2240	0,80	170	738
10	8,3	1132	1,16	147	96
11	8,1	1170	0,99	142	58

Tab. 4: Fluorid-, Chlorid- und Sulfatkonzentrationen im Eluat

Des Weiteren wurden folgende Schwermetalle bestimmt: Nickel (Ni), Zink (Zn), Eisen (Fe), Mangan (Mn), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Blei (Pb), Barium (Ba) und Quecksilber (Hg). Vor der Analyse wurden die Eluate mittels Mikrowellenaufschluss aufgeschlossen, um alle enthaltenen Metalle in Lösung zu bringen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 dargestellt.

Zum Vergleich sind in Tabelle 4 und 5 die Zuordnungskriterien für die Deponieklasse I gemäß DepV eingetragen. Mit Ausnahme der Bleikonzentrationen der Proben 5, 7 und 8 werden die entsprechenden Grenzwerte der DK I erfüllt und in den meisten Fällen sogar erheblich unterschritten.

Tab. 5: Schwermetallkonzentrationen im Eluat (Feinfraktion aus Grube1)

	Pb	Cd	Cu	Ni	Hg	Zn	Ba	Cr	Fe	Mn
Einheit	mg/L	µg/L	mg/L	mg/L	µg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
DK I	≤ 0,2	≤ 50	≤ 1	≤ 0,2	≤ 5	≤ 2	≤ 5	≤ 0,3	-	-
1	0,02	0,9	< 0,012	0,14	< 0,3	0,07	0,08	0,01	0,82	0,56
2	0,09	< 0,6	< 0,012	0,03	n.n.	0,10	0,26	0,01	1,55	0,32
3	0,06	1,0	0,031	0,08	n.n.	0,39	0,15	0,04	17,4	0,40
4	0,04	0,9	0,081	0,08	n.n.	0,51	0,05	0,04	2,32	0,04
5	0,39	24,3	0,064	0,16	0,43	0,78	0,24	0,07	21,3	0,31
6	0,02	< 0,6	0,080	0,07	n.n.	0,11	0,12	0,03	1,57	0,03
7	0,25	1,9	0,296	0,08	< 0,3	0,77	0,29	0,13	22,2	0,39
8	0,22	0,7	0,047	0,08	n.n.	0,46	0,18	0,01	4,59	0,12
9	< 0,01	< 0,6	< 0,012	0,05	n.n.	0,05	0,12	0,01	0,79	0,34
10	0,19	1,6	0,504	0,08	6,8	0,47	0,18	0,15	14,1	0,22
11	0,02	< 0,6	0,539	0,12	< 0,3	0,11	0,11	0,02	4,49	0,19

Von den Proben aus Grube 2 wurden die Eluate der Fein- und Mittelfraktion gemeinsam nach dem gleichen Verfahren bestimmt. Die Schwermetallkonzentrationen sind in Tabelle 6 dargestellt. Alle Ergebnisse unterschreiten die Zuordnungskriterien für die Deponieklasse I deutlich. Die Messung von Hg wurde nicht durchgeführt. Die Messungen der Salzkonzentrationen stehen noch aus.

Tab. 6: Schwermetallkonzentrationen im Eluat (Mittelfraktion aus Grube 2)

	Pb	Cd	Cu	Ni	Hg	Zn	Ba	Cr	Fe	Mn
Einheit	mg/L	µg/L	mg/L	mg/L	µg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
DK I	≤ 0,2	≤ 50	≤ 1	≤ 0,2	≤ 5	≤ 2	≤ 5	≤ 0,3	-	-
1	n.n.	n.n.	0,037	0,004	-	0,017	0,202	0,005	0,062	0,239
2	n.n.	n.n.	0,314	0,061	-	0,076	0,061	0,008	0,151	0,081
3	n.n.	n.n.	0,812	0,123	-	0,078	0,031	0,024	1,185	0,069
4	n.n.	n.n.	0,188	0,157	-	0,071	0,033	0,026	0,250	0,036
5	n.n.	n.n.	0,595	0,073	-	0,032	0,030	0,014	0,266	0,006
6	n.n.	n.n.	0,050	0,047	-	0,030	0,036	0,010	0,087	0,007
7	n.n.	n.n.	0,064	0,048	-	0,041	0,048	0,006	0,131	0,043
8	n.n.	n.n.	0,047	0,054	-	0,041	0,050	0,008	0,106	0,054

4.4 Heizwerte und Glühverluste

Von den Feinfraktionen der 11 Proben aus Grube 1 wurden die Heizwerte und Glühverluste ermittelt. Zunächst wurde von den wasserfreien Proben im Bomben-Kalorimeter der Brennwert gemessen. Für die Berechnung des Heizwertes nach DIN 51900-1 waren noch die Asche-, Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Schwefelgehalte erforderlich, die über eine Elementaranalyse bestimmt wurden. Für jede Probe erfolgte eine Doppelbestimmung. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 dargestellt.

Probe	Glühverlust	Brennwert	Heizwert
Einheit	%	kJ/kg	kJ/kg
1	29,6	3500	3135
2	22,0	3205	2754
3	8,0	736	618
4	12,9	990	825
5	16,2	1307	1101
6	9,2	858	724
7	15,8	1415	1243
8	18,7	2568	2347
9	20,1	1701	1409
10	13,2	994	822
11	16,9	1280	1039

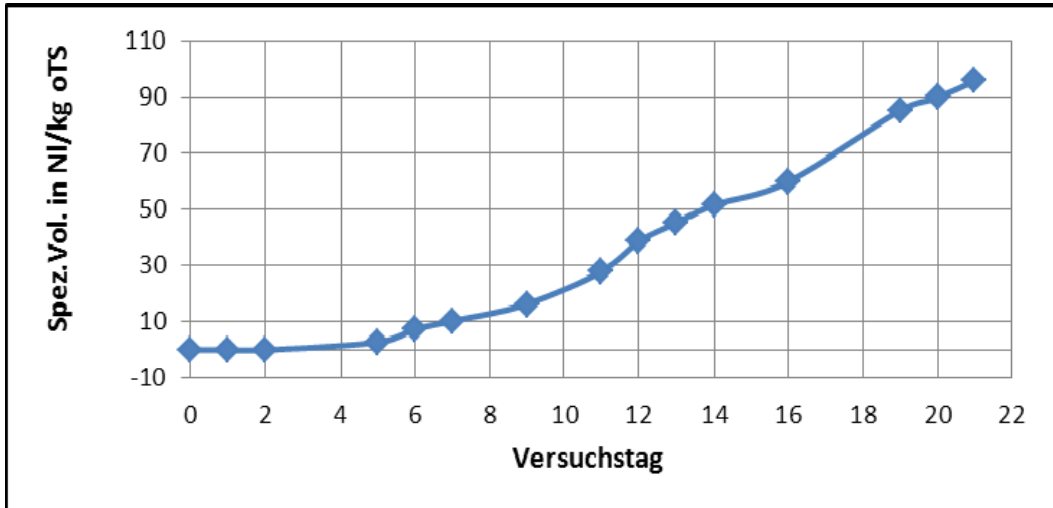
Tab. 7:
Glühverluste, Brenn- und Heizwerte
der Feinfraktionen

Die Glühverluste korrelieren relativ gut mit den Heizwerten. Bei Probe 1 und 2, bei denen die höchsten Glühverluste ermittelt wurden, wurden auch die größten Heizwerte gemessen. Bei den Proben 3 und 6 mit den geringsten Glühverlusten treten auch die niedrigsten Heizwerte auf. Die Brennwertbestimmung war aufgrund der niedrigen Werte nicht ganz unproblematisch. Eine vollständige Verbrennung der Proben im Kalorimeter war teilweise nur durch Zugabe von Hilfsbrennstoffen möglich. Insgesamt ist die Feinfraktion durch sehr hohen Inert-/Ascheanteile und niedrige Heizwerte gekennzeichnet. Ein Zusammenhang zwischen Heizwert und Alter der Proben ist nicht erkennbar.

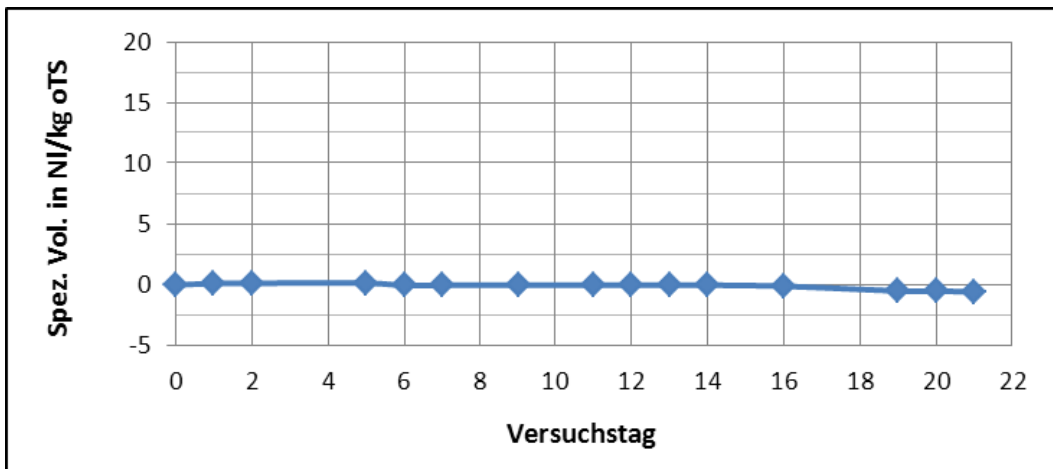
Bei den Proben aus Grube 2 sollen ebenfalls Heizwerte und Glühverluste ermittelt werden, jedoch von der Mittelfraktion. Diese Messungen sind noch nicht abgeschlossen.

4.5 Gasbildung in 21 Tagen (GB 21)

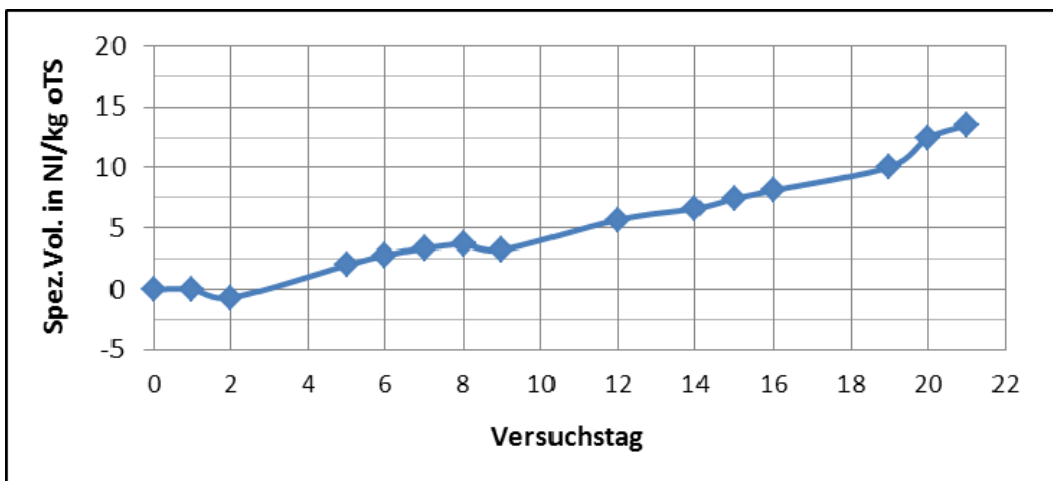
Die Gasbildung in 21 Tagen (GB 21) wird nach DIN 38414 Teil 8 (S8) (Bestimmung des Faulverhaltens) durchgeführt. Für die Messung wurden die Feinfraktionen der Proben 1 bis 6 aus der Grube 1 verwendet. Bei jeder Messung wurde eine Doppelbestimmung durchgeführt. Lediglich bei der Abfallprobe Nr. 1 konnte eine nennenswerte Gasproduktion von mehr als 90 NI/kg oTS nach 21 Tagen gemessen werden (Abb. 11). Bei Probe 3 wurden noch 13,5 NI/kg oTS verzeichnet. Alle übrigen Proben (Nr. 2, 4, 5, 6) lagen nach 21 Tagen zwischen 0 unter 2 NI/kg oTS.



Probe 1



Probe 2



Probe 3

Abb. 11. Gasbildungsraten in 21 Tagen bei den Proben 1, 2, 3 (Feinfraktion aus Grube 1)

Da bei den übrigen Proben (Nr. 7 bis 11), die aus größeren Tiefen stammten und daher ein höheres Alter aufwiesen, keine nennenswerten Gasbildungsraten erwartet wurden und die Messungen mit einem sehr großen Zeitaufwand verbunden waren, wurde bei den Proben 7 bis 11 auf die GB 21-Bestimmung verzichtet.

Bei den Proben aus der Grube 2 soll das Gasbildungspotential der Mittelfraktion bestimmt werden. Diese Messungen sind jedoch noch nicht abgeschlossen.

5 Diskussion

Aus den gewonnenen Ergebnissen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

1. Es lässt sich bei keinem der gemessenen Parameter ein Trend bezüglich der Länge der Ablagerungsdauer erkennen. Feuchtegehalt und Abfallzusammensetzung, Eluatwerte und Heizwert schwanken über der beprobten Abfalltiefe ohne erkennbaren Zusammenhang. Zwischen 15 und 31 Jahre altem Abfall sind keine signifikanten Unterschiede zu erkennen. Dies kann daran liegen, dass auch der jüngere Abfall bereits eine beachtliche Ablagerungsdauer aufweist und der überwiegende Teil der anaerob abbaubaren Fraktionen bereits umgewandelt ist.
2. Der Abfall im Böschungsbereich (Grube 2) weist etwas höhere Feuchtegehalte auf, als in der Mitte der Deponie (Grube 1). Teilweise besitzen die Proben eine geringe Feuchte von weniger als 30%, die zu einer erheblichen Beeinträchtigung des biologischen Abbaus der organischen Fraktion führt. Obwohl sich die Versickerungsfelder der Sickerwasserinfiltration in der Nähe der Grube 1 befinden, konnte der Abfall offensichtlich nicht stärker befeuchtet werden. Eine hohe Abfalldichte, die auf der Deponie sicherlich vorliegt und auch angestrebt wird, ist für die gleichmäßige Befeuchtung eher hinderlich.
3. Die Gefahr der Schadstoffelution ist relativ gering. Sowohl die gemessenen Salze, als auch Schwermetalle im Eluat unterschreiten – mit wenigen Ausnahmen für Blei – die Zuordnungskriterien der Deponieklasse I, in den meisten Fällen sogar erheblich. Von den Eluatwerten her ist der Abfall mit MVA-Schlacken vergleichbar.
4. Der Feinmüll ist weitgehend mineralisiert. Der Inertanteil liegt im Mittel deutlich über 80%. Der Heizwert der Feinfraktion, der bei Frischmüll etwa in der Größenordnung von 5000 bis 6000 kJ/kg liegt, bewegt sich im Mittel bei etwa 1500 kJ/kg. Die Grobfraktion ist dagegen sehr heizwertreich. Der Heizwert wurde zwar nicht gemessen, der hohe Anteil an Kunststoff, Papier, Holz und Textilien deutet aber auf Heizwerte über dem von unbehandelten Siedlungsabfällen hin. PPK und Kunststoff finden sich hauptsächlich in der Grobfraktion und nehmen bereits in der Mittelfraktion deutlich ab. Die Grobfraktion besitzt auch in 30 Jahre alten Siedlungsabfällen noch ein beachtliches Potential für eine energetische Verwertung.
5. Die Gasbildungen einzelner Proben sind so unterschiedlich, dass daraus keine Schlussfolgerungen auf Dauer und Menge an Gaserträgen angestellt werden können. Hinzu kommt, dass der Gasertrag nicht nur vom organischen Abfallanteil abhängt, sondern ganz wesentlich von der Abfallfeuchte beeinflusst wird, die nicht prognostizierbar ist.
6. Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen. Es stehen noch einige Messungen und Auswertungen der Mittelfraktion aus. Eine genauere Analyse der Grobfraktion wäre ebenfalls sinnvoll gewesen. Mangels fehlender Mittel und Geräte – insbesondere eines Shredders, der den Abfall auf eine für den Labormaßstab erforderliche Größe zerkleinert – konnten diese Untersuchungen nicht durchgeführt werden. Von Interesse wäre beispielsweise der Heizwert der Grobfraktion oder die Zusammensetzung der Metalle, die in der Grobfraktion immerhin 7 % bzw. 11,7 % ausmachen.

6 Zusammenfassung

Die Beschaffenheit von mehrere Jahrzehnte altem Siedlungsabfall, der unbehandelt auf Deponien abgelagert wurde, ist von Interesse, wenn es um die Dauer der Nachsorgephase oder die Möglichkeit geht, Deponien als Rohstoffquellen zu nutzen.

Auf der Deponie „Im Dienstfeld“ wurden 2011 und 2012 im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen mehrere Gruben bis zur Basisabdichtung ausgehoben. Die Hochschule Weihenstephan-Triesdorf nutzte die Gelegenheit, den ausgehobenen Abfall, der eine Ablagerungsdauer zwischen 15 und 31 Jahren aufwies, näher zu analysieren.

Die Untersuchungen umfassten eine Sortierung und Klassierung, die Bestimmung von Feuchtegehalt, Heizwert, Glühverlust, Elementaranalyse, Gasbildung in 21 Tagen sowie die Elution von Salzen und Schwermetallen.

Es konnte bei keinem der untersuchten Parameter, wie ursprünglich erwartet, ein signifikanter Zusammenhang mit der Ablagerungsdauer nachgewiesen werden. Die Grobfraktionen weisen hohe PPK- und Kunststoffanteile auf und besitzen daher Potential für eine energetische Verwertung. Das Gefahrenpotential durch Auslaugung erscheint gering. Weitere Untersuchungen, beispielsweise der Grobfraktion hinsichtlich Heizwert und Wertstoffen, wäre zu empfehlen.

Dauerhaftigkeit von PE-Rohren in Deponien

Helmut Zanzinger & Kurt Engelsing, SKZ – Das Kunststoff-Zentrum, Würzburg

1 Einleitung

Für die Entwässerung von Deponien werden nahezu ausschließlich dickwandige Kunststoff-Sickerrohre aus Polyethylen (PE) eingesetzt. Bei der Einführung biegeweicher Rohre aus PE kamen vor ca. 25 Jahren Fragen auf, wie diese Rohre statisch richtig zu bemessen seien. Im Gegensatz zu starren Steinzeugrohren können sich PE-Rohre einer Überbelastung durch Verformung entziehen - mit dem Nachteil einer u. U. zu großen Deformation, die als eine Zusammendrückung des Rohrs zwischen Scheitel und Sohle ausgedrückt wird.

Sickerrohre werden nach DIN 4266-1 ausgeschrieben. Diese Norm liefert Angaben zum Kriechmodul und den zugehörigen Abminderungsfaktoren sowie zur Geometrie und den erforderlichen Wassereintrittsöffnungen und sie fordert für PE eine Dichte von $> 0,947 \text{ g/cm}^3$ und eine Schmelze-Massefließrate (MFR) 190/5 von $\leq 1,5 \text{ g/10 min}$. Für eine statische Bemessung sind andere Kenngrößen eines PE-Rohrs notwendig (HOCH ET AL., 1993):

- Kurzzeit- und Langzeitkriechmodul
- zulässige Kurzzeit- und Langzeitspannungen
- Abminderungsfaktoren für die Spannungen
- zulässige Kurzzeit- und Langzeitrandfaserdehnungen

Es ist bekannt, dass bei Thermoplasten statt mit einem Elastizitätsmodul mit einem Kriechmodul gearbeitet wird. Dieser ist zeit-, spannungs-, temperatur- und medienabhängig. Gegenüber einem Vollwandrohr hat man bei einem Sickerrohr aufgrund der Wassereintrittsöffnungen eine reduzierte Rohrsteifigkeit. Bei einer Mindest-Wassereintrittsfläche von $100 \text{ cm}^2/\text{lfm}$ reduziert sich die Rohrsteifigkeit um bis zu 30 %. Darüber hinaus kann die Langzeit-Standsicherheit zusätzlich durch scharfkantig ausgebildete Schlitzecken beeinträchtigt werden, weil an diesen Stellen überhöhte Kerbspannungen auftreten können. Kerben können auch beim Verlegen oder beim Einbau oder bei unsachgemäßer Verarbeitung entstehen (FRANK, 2005). Neben Löchern und Schlitzern können auch Schweißverbindungen oder Inhomogenitäten im Material Kerbwirkungen verursachen.

In der statischen Berechnung der PE-Rohre werden Spannungs-, Stabilitäts- und Verformungsnachweise geführt. Die Berechnung basiert auf Rechenmodellen wie die ATV M 127 / DWA A 127. Alternativ können Nachweise mit der Methode der Finiten Elemente (FEM) geführt werden.

Bezüglich der Bemessung von biegeweichen Rohren in Deponien gab es anfangs Unklarheiten darüber, dass nicht nur der Kunststoff ein nichtlineares Werkstoffverhalten hat, sondern auch die Böden, in denen das Rohr gebettet ist. Schon sehr frühzeitig förderte daher das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) Grundsatzuntersuchungen über die statische Berechnung von Rohrleitungen in Sickerwasserentsorgungssystemen bei Abfalldeponien (Zanzinger et al., 1992) und auch Modellversuche im Maßstab von 1:1 (ZANZINGER, 1994, ZANZINGER ET AL., 1997), um die Bemessung von PE-Sickerrohren in Deponien absichern zu können.

Speziell in Bayern müssen alle statischen Bemessungen von Deponie-Sickerrohren durch das Institut für Statik der TR-LGA geprüft werden. Dabei wurde seitens der TR-LGA von Anfang an darauf geachtet, dass neben der richtigen Bemessung Qualitätswerkstoffe zum Einsatz kamen. Über viele Jahre wurde Hostalen GM5010T2 der Firma Hoechst für die Herstellung der PE-Rohre verwendet. In Bayern sind bis heute vielleicht wegen dieser konsequenten Vorgehensweise bei ordnungsgemäßer Bettung

und keiner Überschreitung der zulässigen Belastung keine Schäden an PE-Leitungen bekannt geworden.

Als mögliches Versagensszenario für biegeeweiche Rohre wurde ein Kollabieren in Betracht gezogen. EDENBERGER (2010) hat jedoch in jüngster Zeit von Rissen in Deponiesickerwasserleitungen aus PE berichtet. Ihm sind mittlerweile Schadensfälle mit Rissbildungen in PE-Leitungen in über 15 Deponien im gesamten Bundesgebiet bekannt. PE-Rohre wurden seit Mitte der 80er Jahre deshalb auf der Deponie-Basisabdichtung verlegt, weil man davon ausging, dass diese den hohen chemischen und physikalischen Beanspruchungen in einem Deponiekörper gewachsen sind. Die Rohre sollen gemäß den Anforderungen durch die Deponieverordnung (2009) mindestens 100 Jahre die Funktion der Entwässerung des Deponiekörpers sicherstellen. Über die Schäden in Form von Rissen (Maier, 2010), die in letzter Zeit vereinzelt festgestellt wurden, wird noch spekuliert (TSCHACKERT & EDENBERGER, 2010). Mögliche Gründe für das Materialversagen könnten sein, dass:

- die dauerhaft hohen Temperaturen über 50 °C zu einer Versprödung der Rohre geführt haben,
- ungeeignete PE-Formmassen eingesetzt wurden,
- die Rohre falsch gebettet waren,
- die Rohre entlang der Rohrachse schlecht gelagert waren, oder
- die Kerbwirkung in den Ecken der Dränschlitze ursächlich war.

Wie so oft können die Gründe für die Risse an den PE-Leitungen vielschichtig sein.

Die Fragen sind also:

1. „Wurde der richtige Werkstoff verwendet?“
2. „Wurden die Rohre richtig verlegt und richtig gebettet?“
3. „Waren außergewöhnliche äußere Umwelteinflüsse für die Risse verantwortlich?“
4. „Waren die statischen Belastungen höher als vorgesehen?“

Obwohl es in Bayern aufgrund von fehlenden derartigen Schadensfällen – Schäden in schachtnahen Bereichen ausgenommen – keinen unmittelbaren Handlungsbedarf gibt, hat das LfU das SKZ mit einer Studie beauftragt, PE-Rohre nach mehrjährigem Einsatz in Deponien einer Alterungsuntersuchung zu unterziehen.

In der LfU-Studie wurden die heutigen PE-Werkstoffe, die in Dränrohren in Deponien nach dem Stand der Technik (FRANK & GROßMANN, 2011) zum Einsatz kommen (LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“, 2010; SKZ/TÜV-LGA Güterrichtlinie, 2010), mit Rohren aus älteren PE-Werkstoffen, die in früheren Jahren eingebaut wurden, verglichen. Die Frage ist, ob diese älteren Werkstoffe – und natürlich auch die heutigen – dauerhaft beständig sind, um den Ansprüchen an eine langfristige Funktionstüchtigkeit der Entwässerungsleitungen in Deponien zu genügen.

In den letzten Jahren werden spannungsrisseempfindlichere Rohre aus PE 80 im Deponiebau verwendet. Mittlerweile wird in vielen Fällen PE 100 Material eingesetzt (FRANK & HOLTSMANN, 2009). Noch in den 90er Jahren sprach man nur von „PEHD“. Die Klassifizierung folgte einer Einteilung nach der Dichte. „PEHD“ steht daher für Polyethylen – hoher Dichte. Für den Rohrleitungsbereich hat sich aber gezeigt, dass diese Einteilung unzureichend ist (RIEGL, 2006). Seit 1999 (DIN EN ISO 9080) werden PE-Formmassen nach der Langzeit-Druckbeständigkeit bzw. der zulässigen Ringzugspannung klassifiziert. Entscheidend sind Zeitstand-Innendruckversuche. Die nach Norm zulässigen Ringzugspannungen werden auf eine Lebensdauer von 50 Jahren bei einer Temperatur von 20 °C bezogen. D.h. PE 80 hat eine zulässige Ringzugspannung von 8 MPa. Bei PE 100 liegt diese bei 10 MPa (DIN 8074, DIN 8075).

Grundsätzlich müssen PE-Rohre für Langzeitanwendungen einen ausreichend hohen Widerstand gegen Rissfortpflanzung und gegen thermisch-oxidativen Abbau aufweisen. Vor 20 Jahren bestanden lediglich Anforderungen an die Langzeit-Grenzspannung und den Langzeit-Kriechmodul von PE-Rohren. Es gab aber keine Anforderungen an die Spannungsrisssbeständigkeit sowie die Oxidationsstabilität.

2 Anforderungen an PE-Formmassen

2.1 Anforderungen an den bundeseinheitlichen Stand der Technik

Der bundeseinheitliche Stand der Technik wird durch den Bundeseinheitlichen Qualitätsstandard 8-1 der LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ (2010) beschrieben. Dieser nimmt Bezug auf die SKZ/TÜV-LGA Güterichtlinie (2010). Rohre, die nach diesen Vorgaben hergestellt und geprüft werden, müssen im Rahmen des Eignungsnachweises eine Beständigkeit von mehr als 100 Jahren erreichen: *„Polyolefine unterliegen Alterungsprozessen durch Oxidation, UV-Belastung, Medieneinflüssen und Temperatur. Das Erreichen des Zeitraumes der von der Deponieverordnung Anhang 1 Nummer 2.1.1 geforderten Funktionserfüllung der einzelnen Komponenten von mindestens 100 Jahren hängt von den Alterungsprozessen und den Spannungen im Material unter Belastung ab. Anforderungen der Spannungsrisssbeständigkeit erfordern werkstoffgerechte Konstruktionen und ausreichende Dimensionierungen. Neue Rohre aus PE müssen nach der SKZ/TÜV-LGA Güterichtlinie aus PE 100- oder PE 80-Materialien bestehen, die in der DIBt-Liste für Rohstoffe zugelassen sind.“*

Als maßgebend für die Langzeit-Beständigkeit von Rohren werden die Einflussfaktoren thermo-oxidative Beständigkeit, Beständigkeit gegen Auslaugung und Spannungsrisssbeständigkeit betrachtet und nachfolgend im Einzelnen diskutiert.

2.2 Zeitstand-Innendruckversuch

PE-Rohre werden in Zeitstand-Innendruckversuchen bei 80 °C geprüft. Die Probekörper dürfen während der festgelegten Prüfdauer (Mindeststandzeit) von 165 h nicht zu Bruch gehen. Das Rohr ist mit Wasser befüllt und in einem Wasserbad gelagert. Für PE 80 beträgt die Umfangsspannung 4,6 MPa und für PE 100 wird bei 5,4 MPa geprüft. Bei entsprechenden Randbedingungen müssen die Rohre zusätzlich eine Mindeststandzeit von 1000 h bei 4,0 MPa Umfangsspannung für PE 80 und 5,0 MPa für PE 100 ohne Bruch erreichen. Für PE-Rohre im Deponiebau muss jedoch die Frage gestellt werden ob diese Anforderungen ausreichen. Denn im Deponiebau wird eine Lebensdauer von 100 Jahren statt nur von 50 Jahren gefordert und die dauerhafte Betriebstemperatur an der Deponiebasis beträgt 40 °C und nicht nur 20 °C wie bei sonstigen geotechnischen Anwendungen.

Die DIN EN ISO 9080 beschreibt ein Verfahren für die Ermittlung der Zeitstand-Innendruckfestigkeit von thermoplastischen Werkstoffen durch statistische Extrapolation. Die Prüfungen selbst werden nach DIN EN ISO 1167-1 und DIN EN ISO 1167-2 durchgeführt. Sie erfolgen an Rohren bzw. rohrförmigen Probekörpern. Das Grundprinzip ist, dass Probekörper mit Wasser gefüllt und in ein auf Prüftemperatur temperiertes Wasserbecken bzw. einen Wärmeschrank eingelegt werden. Dann werden sie an eine Druckstation angeschlossen und so lange mit konstantem hydrostatischem Innendruck beaufschlagt, bis sie zu Bruch gehen. Die Zeitdauer bis zum Bruch der Probekörper („Standzeit“) wird aufgezeichnet. Je niedriger die Temperatur bzw. der Druck ist, desto länger sind die Standzeiten. Die Prüftemperatur, der Prüfdruck und die Standzeit sowie die Bruchart (duktil oder spröd) werden für die Auswertung nach DIN EN ISO 9080 herangezogen.

Für PE-Rohre ist es typisch, dass die aus Zeitstand-Innendruckversuchen gewonnenen Kurven in doppellogarithmischem Maßstab drei Phasen (Abb. 1) zeigen:

- Phase I ist gekennzeichnet durch ein duktilen Versagen durch lokales Überschreiten der Streckspannung. Dies zeigt sich als eine flache Gerade bei hoher Prüfspannung.
- Phase II beschreibt ein Bruchversagen durch langsames Risswachstum. Dies ist eine steilere Gerade bei mittlerer Prüfspannung und auch längerer Prüfdauer.
- In Phase III findet sprödes Versagen durch thermo-oxidativen Abbau des Polymers statt. Dies tritt nahezu unabhängig von der aufgetragenen Prüfspannung ein und braucht dafür sehr lange Prüfzeiträume.

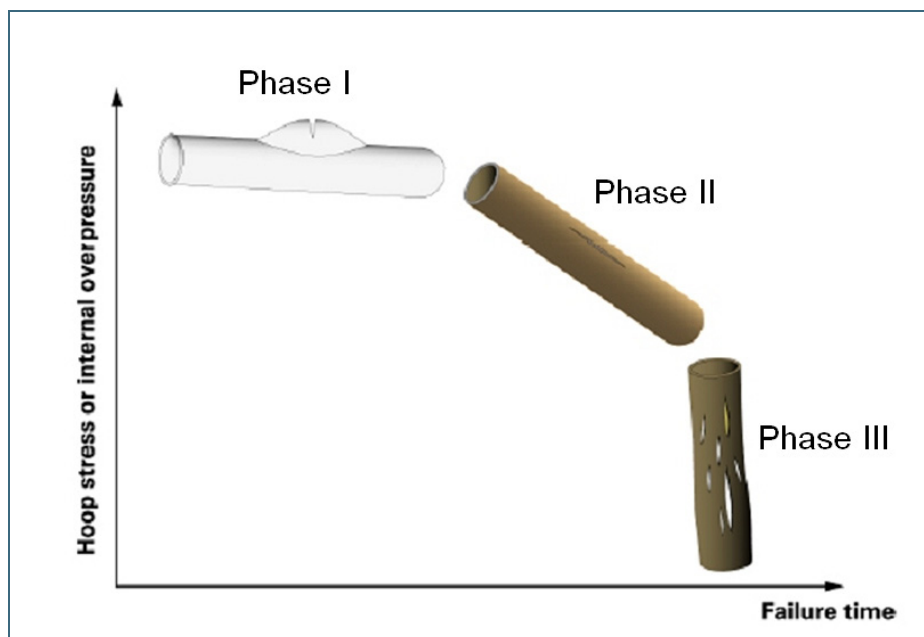


Abb. 1:
schematische Darstellung der Zeitstand-Rohrinnendruckversuche

In einem Zeitstand-Rohrinnendruckversuch herrscht ein mehraxialer Spannungszustand (axiale und tangentialer Zugspannung). Der Alterungseinfluss durch thermo-oxidative Alterung ist gering, weil die Rohre mit Wasser gefüllt sind und auch in Wasser gelagert sind. Es ist also nur sehr wenig Sauerstoff vorhanden, der eine Oxidation verursachen könnte. Allerdings können Antioxidantien von dem Wasser ausgelaugt werden und somit eine Alterung verursachen. An der Deponiebasis ist neben Sauerstoff auch Methan und CO_2 vorhanden. Außerdem kann es zu Auslaugungseffekten kommen.

Bei hohem Innendruck, d. h. bei sehr hohen Prüfspannungen im Rohr, treten duktile Brüche ein. Je niedriger diese Prüfspannungen sind, umso mehr werden Sprödbrüche maßgebend. Diese können durch die einhergehende Alterung des Werkstoffs hervorgerufen werden. Durch Alterung verringert sich die aufnehmbare Zugspannung und auch die Verformbarkeit nimmt ab. Die Alterung fängt an der Innen- bzw. an der Außenseite des Rohrs an. Es können sich erste Risse ergeben. Bei einer Langzeit-Zugbeanspruchung kann auch schon vorher ein Sprödbbruchversagen eintreten. Man spricht hierbei von einem Spannungsrissversagen. Prinzipiell kann dies in Wasser passieren. Ist jedoch ein entsprechendes Netzmittel vorhanden, so verkürzt sich die Zeitdauer noch. Beispielsweise können beim Reinigen von Trinkwasserrohren u. U. Reinigungsmittel zum Einsatz kommen, die Chlorit freisetzen. Dies kann zur Folge haben, dass die Spannungsrissempfindlichkeit eines PEHD-Materials herabgesetzt wird.

Wodurch wurden die Risse in den Sickerwasserleitungen ausgelöst? Trinkwasserrohre stehen unter Innendruck aber Sickerrohre sind „drucklos“, d. h. sie werden nicht von „innen“ sondern durch äußere Kräfte beansprucht. Diese bewirken Spannungen in der Rohrwand, hervorgerufen durch:

- äußeren Druck, der durch die unterschiedliche radiale Bettung des Rohrs entsteht,
- Punktlasten – beispielsweise durch Dränkies, welche lokale Spannungsspitzen im Rohr erzeugen können,
- ungleichmäßige Setzung des Rohres infolge Biegung des Rohrs in axialer Richtung und
- Spannungsumlagerungen um Löcher und Schlitze herum.

2.3 Thermo-oxidative Beständigkeit

2.3.1 Oxidations-Induktions-Zeit (OIT)

Nach der SKZ/TÜV-LGA Güterrichtlinie (2010) bzw. nach BQS 8-1 gilt: *„Der OIT-Wert ist für die Beurteilung der Langzeitstabilität alleine nicht aussagekräftig. Für die Langzeitstabilität d. h. gegen thermisch oxidativen Abbau oder auch gegen das Auslaugen von Stabilisatoren in flüssigen Medien sind weitere Untersuchungen notwendig bei denen mit Langzeitprüfungen unter entsprechend angepassten erhöhten Temperaturen der Abbau oder Verbrauch der Stabilisatoren und der Festigkeitsverlust bestimmt werden können. Als Beurteilungskriterium können aber der prozentuale Abbau des OIT Wertes nach Alterung und eine Reduzierung der Zugeigenschaften herangezogen werden.“*

Die Oxidations-Induktionszeit (OIT) beschreibt die Zeitdauer, über die das Polymer bei Messtemperatur noch durch die Antioxidantien vor oxidativem Abbau geschützt ist. Geht der OIT-Wert nach einer gewissen Einlagerungszeit infolge Alterung gegen Null, so ist der Stabilisator vollständig verbraucht. Die OIT-Untersuchungen werden nach ISO 11357-6 bzw. nach DIN EN 728 durchgeführt.

Obwohl allgemein bekannt ist, dass der OIT-Wert als Maß für die Langzeitstabilisierung keine Bewandnis hat, wird er von vielen gerade dazu fälschlicherweise benützt. Sogar das DIBt fordert gemäß deren Zulassungsgrundsätzen Mindestwerte für den OIT-Wert von:

- $OIT_{200^{\circ}C} > 30 \text{ min}$, bzw.
- $OIT_{210^{\circ}C} > 15 \text{ min}$.

Die Aussagen für einen Mindest-OIT beziehen sich auf eine Anwendungstemperatur von nur 20 °C. An der Deponiebasis ist aber von wenigstens 40 °C auszugehen. Demnach müssten die Mindest-OIT-Werte für Sickerrohre in Deponien sogar deutlich über den Anforderungen des DIBt liegen.

2.3.2 Hochdruck-Autoklavenversuche

Im Gegensatz zu Zeitstand-Innendruckversuchen kann mit Hochdruck-Autoklaventests eine beschleunigte Alterung simuliert werden. Die thermische Alterung im Hochdruck-Autoklav geht aufgrund der Bereitstellung von ausreichend Sauerstoff weitaus schneller vonstatten als bei einer Einlagerung im Wärmeofen – selbst bei niedrigeren Temperaturen. Darüber hinaus befinden sich die Probekörper im Hochdruck-Autoklaven in einer wässrigen Lösung mit basischem Milieu. Dadurch wird neben der oxidativen Alterung eine Auslaugung von Stabilisatoren erzielt. PE-Rohre sind üblicherweise mit Phenolen stabilisiert. Hochdruck-Autoklavenversuche sind für phenolstabilisierte PE-Werkstoffe sehr gut geeignet.

Beim Hochdruck-Autoklavenversuch werden Zugprobekörper in einem Druckbehälter einer erhöhten Temperatur und einem hohen Sauerstoffdruck ausgesetzt. Dadurch wird die unter Anwendungsbedingungen allmählich stattfindende Oxidation stark beschleunigt und es kann mit vertretbaren Versuchsdauern eine Aussage über die Qualität der Materialstabilisierung getroffen werden.

Der Versuch findet in Anlehnung an DIN EN ISO 13438 (Methode C) statt. Die Probekörper werden bei 80 °C und 50 bar Sauerstoffdruck in einer 0,01 molaren NaHCO₃-Lösung eingelagert. Der pH-Wert der Lösung wird mit 1 mol/l NaOH auf pH = 10 eingestellt. In Zeitintervallen von ca. 7 Tagen wird die Prüflüssigkeit ausgetauscht und jeweils 2 bis 5 Zugprüfstäbe (Typ 2) nach DIN ISO 6259-3 entnommen.

An den Probekörpern werden nach 24stündiger Konditionierung bei Normalklima Zugprüfungen in Anlehnung an DIN ISO 6259-3 durchgeführt. Daneben werden auch Kontrollproben bezüglich ihrer Zugeigenschaften geprüft, die für 24 h einer Wärmebehandlung von 80 °C unterzogen wurden. Sobald ein deutliches Unterschreiten der Bruchdehnung gegenüber dem 50 %-Wert der Bruchdehnung der Kontrollproben festzustellen ist, wird der Hochdruck-Autoklavenversuch beendet. Dieses Stadium kann als das Ende der Lebensdauer der Messprobe betrachtet werden. Der Sauerstoffdruck wird während der Einlagerung kontinuierlich aufgezeichnet.

2.4 Widerstand gegen langsame Rissfortpflanzung

2.4.1 Spannungsrißbeständigkeit

Die Prüfung der realen Zeitstandfestigkeit von modernen PE-Werkstoffen ist in vertretbaren Zeiten nicht mehr möglich. Deshalb wurden hierfür Prüfmethoden entwickelt, die eine Zeitraffung ermöglichen. Der Full-Notch-Creep-Test (FNCT) nach ISO 16770 bzw. DIN EN 12814-3 gilt als die am häufigsten eingesetzte Zeitstandprüfung für PE.

Beim FNCT handelt es sich um einen Zeitstand-Zugversuch an stabförmigen Probekörpern mit quadratischem Querschnitt. Vor dem Einbau der Probekörper werden diese über den vollen Umfang gekerbt. Der Versuch findet bei 80 °C in einer Netzmittellösung statt, wobei an jedem Prüfkörper eine Spannung von 4 MPa wirkt. Bei der Prüflüssigkeit handelt es sich um eine verdünnte Lösung (2 %) von Arkopal® N100. Es wird aufgezeichnet, nach wie vielen Stunden die Messprobe unter der konstanten Last versagt. Dazu werden stabförmige Proben mit einem quadratischen Querschnitt (10 mm x 10 mm) und ca. 100 mm Länge in Produktionsrichtung gemäß DVS 2203-4, Beiblatt 2 aus den Rohren entnommen.

Die Anforderungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) in Berlin für PE-Formmassen betragen:

- für PE 80: $t_{\text{FNCT}} \geq 100 \text{ h}$,
- für PE 100: $t_{\text{FNCT}} \geq 300 \text{ h}$

FRANK (2005) empfiehlt für Sickerrohrleitungen: $t_{\text{FNCT}} \geq 500 \text{ h}$.

Die SKZ/TÜV-LGA Güterrichtlinie empfiehlt:

- für Standardeinbaubedingungen $t_{\text{FNCT}} \geq 300 \text{ h}$,
- für Sanierung oder an der Deponiebasis $t_{\text{FNCT}} \geq 1600 \text{ h}$.

2.4.2 Verstreckmodul (Strain Hardening Modul)

Kurelec et al. (2005) entwickelten eine neue Methode zur Bestimmung des Widerstandes von PEHD-Rohren gegen langsames Risswachstum anhand eines einaxialen Zugversuches bei 80 °C - ohne die Verwendung eines Netzmittels wie z. B. beim FNCT. Sie zeigten, dass die Steigung einer Spannungs-Dehnungs-Kurve in einem Zugversuch oberhalb des natürlichen Verstreckungsgrads (hier: Verstreckmodul) gut mit den Standzeiten von konventionellen Spannungsrißversuchen korreliert. In einem Riss entstehen feine mikroskopisch kleine Fibrillen (Abb. 2, links). Diese Fibrillen verstrecken sich mit Zunahme des Risses immer weiter. Hierzu besteht eine Analogie zum Zugversuch da sich auch der Probekörper im Verlauf des Zugversuchs einschnürt und es im weiteren Verlauf zu einer Dehnungsverfestigung kommt (Abb. 2, rechts).

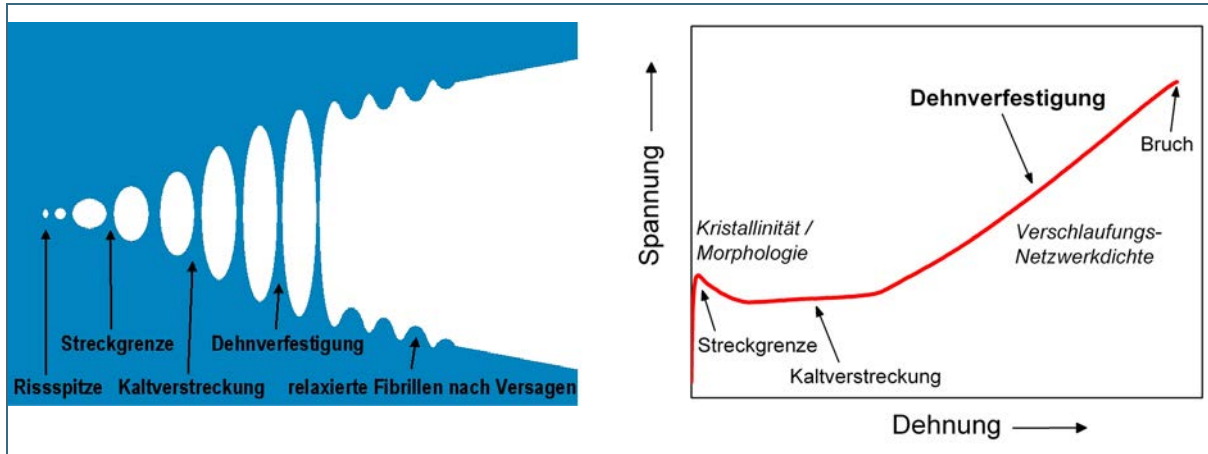


Abb. 2. Schematische Darstellung der Verfestigung der verreckten Fibrillen in einem Riss und der Bezug zur Verfestigung im uniaxialen Zugversuch

Der Verreckmodul stellt ein Maß für die PEHD-typische Polymermolekül-Orientierung durch eine Beanspruchung dar und ergibt sich als Steigung der (wahren) Spannung in Abhängigkeit des Verreckgrads für hohe Deformationen (Abb. 3).

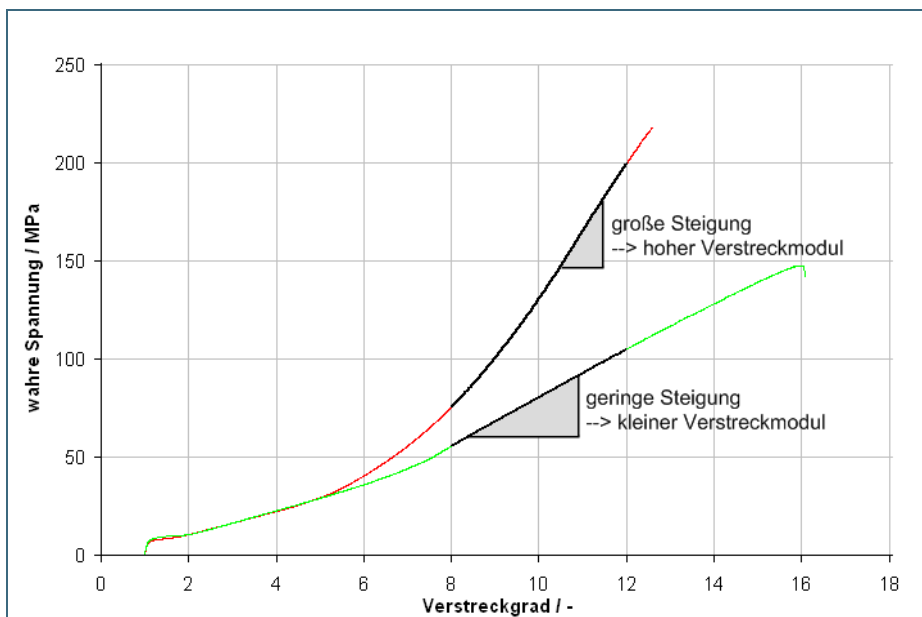


Abb. 3: Darstellung des Verreckmoduls in einem einaxialen Zugversuch

Es handelt sich bei unseren Untersuchungen um einen Zugversuch in Anlehnung an DIN EN ISO 527-1 bei einer Temperatur von 80 °C. Als Probekörper werden Schulterstäbe des Typ 5B nach DIN EN ISO 527-2 verwendet. Die Prüfgeschwindigkeit beträgt 10 mm/min. Die Dehnungsmessung erfolgt über einen optischen Wegaufnehmer. Es wurden von allen Versuchsmaterialien jeweils mindestens 3 Probekörper in Produktionsrichtung geprüft.

3 Untersuchungsprogramm

Im Rahmen der Studie wurden dem SKZ mit Unterstützung der TR-LGA vier Rohrstücke mit unterschiedlicher Vorgeschichte aus verschiedenen Deponien zur Verfügung gestellt, um daran entsprechende Alterungsuntersuchungen durchzuführen. Diese Rohre wurden mit zwei neuen Rohren aus PE 80 und PE 100 verglichen.

Bei den Versuchsmaterialien handelt es sich um:

- Vollwandrohr, $d_A = 280$ mm, ca. 20 Jahre alt
- Geschlitztes Rohr, $d_A = 250$ mm, 20 bis 25 Jahre alt
- Vollwandrohr mit T-Stück, $d_A = 90$ mm, ca. 15 Jahre alt
- PE 80 Rohr, $d_A = 108$ mm (Referenzrohr, neu)
- PE 100 Rohr, $d_A = 108$ mm (Referenzrohr, neu)

Tab. 1: Versuchsmaterialien

Material	Geometrie	Außendurchmesser	Wanddicke	Alter	Anmerkung
A	Vollwandrohr	280 mm	28 mm	ca. 20 Jahre	Riss in Sohle, ca. 5 % verformt, 50 - 60 °C Dauertemperatur
B	Dränrohr geschlitzt	250 mm	25 mm	20 - 25 Jahre	stark verformt durch ca. 20 m Müllhöhe
C ₁	T-Rohrstück	90 mm	12 mm	ca. 15 Jahre	unbeschädigt
C ₂	angeschweißtes Rohrstück		9 mm		
D	Vollwandrohr	108 mm	10 mm	neu	---
E	Vollwandrohr	108 mm	10 mm	neu	---



Abb. 4: Material A (Vollwandrohr, $d_A = 280$ mm, ca. 20 Jahre alt); Riss in der Rohrinneenseite im Sohlbereich



Abb. 5: Material B (geschlitztes Rohr, $d_A = 250$ mm, 20 bis 25 Jahre alt)



Abb. 6: Material C
(Vollwandrohr mit
T-Stück, $d_A = 90$ mm,
ca. 15 Jahre alt)

An diesen Rohren wurden folgende Alterungsuntersuchungen durchgeführt:

- Thermische Oxidation im Hochdruck-Autoklav und OIT-Messungen
- Widerstand gegen Spannungsrisversagen in einer Zeitstandprüfung nach der FNCT-Methode und mit einem Zugversuch zur Bestimmung des Strain Hardening Moduls

4 Versuchsergebnisse

4.1 Hochdruck-Autoklavenversuche

An den Versuchsmaterialien A bis E wurden im Anlieferungszustand der OIT bei 200 °C bestimmt. Demnach erfüllten alle Proben die Anforderungen des DIBt von $\text{OIT}_{200\text{ °C}} \geq 30$ min. Es zeigten sich aber deutliche Unterschiede untereinander. So ergaben sich für die Materialien A und C_1 Werte von 50 bis 60 min, für die Materialien B und C_2 Werte von 80 bis 90 min und für die neuen Rohre (Mat. D und E) Werte von ca. 130 min (Tab. 2).

Material	OIT _{200°C} im ALZ (Entnahme Rohrwandmitte) / min
A	58,8
B	86,6
C_1	48,1
C_2	81,8
D	128,4
E	137,8

Tab. 2:
OIT-Werte bei 200 °C im Anlieferungszustand

Neben den Zugversuchen werden ebenfalls OIT-Werte in Abhängigkeit der Einlagerungszeit im Autoklaven ermittelt. Die Probekörper wurden den Rohrmaterialien A, B, D und E (Tab. 1) in Produktionsrichtung entnommen. An Material C₁ und C₂ (Tab. 1) konnte aufgrund der geringen Probenmenge kein Hochdruck-Autoklavenversuch mit anschließender Zugprüfung durchgeführt werden.

Das Vollwandrohr (Mat. A) wies neben den niedrigen OIT-Werten im Anlieferungszustand (Tab. 2) in den Alterungsversuchen im Hochdruck-Autoklav die kürzesten Versagenszeiten von allen geprüften Rohren auf. Aus Erfahrung mit anderen PE-Rohren ist trotz der begrenzten Datenlage bei nur einer Prüftemperatur und einem Sauerstoffdruck davon auszugehen, dass Material A bei den hohen Anwendungstemperaturen eine Oxidationsstabilität von nur noch wenigen Jahrzehnten aufweist.

Die maximalen Prüfzeiten bis zum Abbau des Polymers waren bei den Materialien B, D und E trotz deutlichen Unterschieden beim Ausgangs-OIT praktisch gleich. Ein OIT-Wert des Ausgangsmaterials ist demnach nicht allein ausschlaggebend für eine Oxidationsbeständigkeit.

Es ist auffällig wie exakt die Zeitpunkte bis zum Erreichen einer Restbruchdehnung von 50 % im Zugversuch nach Einlagerung in Hochdruck-Autoklaven mit den Zeitpunkten des Abfalls des Sauerstoffdrucks zusammen passen. Das geschlitzte Dränrohr (Material B) und die beiden neuen Rohre aus PE 80 (Material D) und PE 100 (Material E) haben eine vergleichbare Oxidationsstabilität, obwohl Material B schon 20 Jahre im Einsatz war. Die Untersuchung hat auch gezeigt, dass Material B im Scheitel stärker gealtert ist als an der Sohle. Material D und Material E haben zwar unterschiedliche zulässige Ringzugspannungen aber die Oxidationsstabilisierung ist gleich (Tab. 3).

Material	Erreichen der 50 %-Restbruchdehnung nach Ak-Lagerung (80 °C / 50 bar) / d	Beginn des O ₂ -Druckabfalls im Autoklaven / d
A	24,5	26,0
B	33,5 (Sohle)	30,0 *)
	30,6 (Scheitel)	
C ₁	---	---
C ₂	---	---
D	30,8	31,0
E	30,9	31,0

Tab. 3: Versagenszeiten der Probekörper bei Alterung im Hochdruck-Autoklav

*) Die Probekörper aus der Sohle bzw. dem Scheitel von Material B wurden gemeinsam im Autoklav gelagert. Der Sauerstoff-Druckabfall bezieht sich also auf die zuerst versagenden Probekörper aus dem Scheitelbereich.

Bei allen Versuchen fallen die OIT-Werte (bei 180 °C gemessen) nach wenigen Tagen Einlagerung im Hochdruck-Autoklaven auf ein Minimum ab. Auffallend ist die darauffolgende lange Induktionsphase zwischen der Phase des Verbrauchs der Stabilisatoren und dem Beginn des Polymerabbaus. Am Ende der Induktionsphase tritt ein sehr abrupter Abfall der physikalischen Eigenschaften ein. Dies ist der Beginn der Versprödung (Abb. 7).

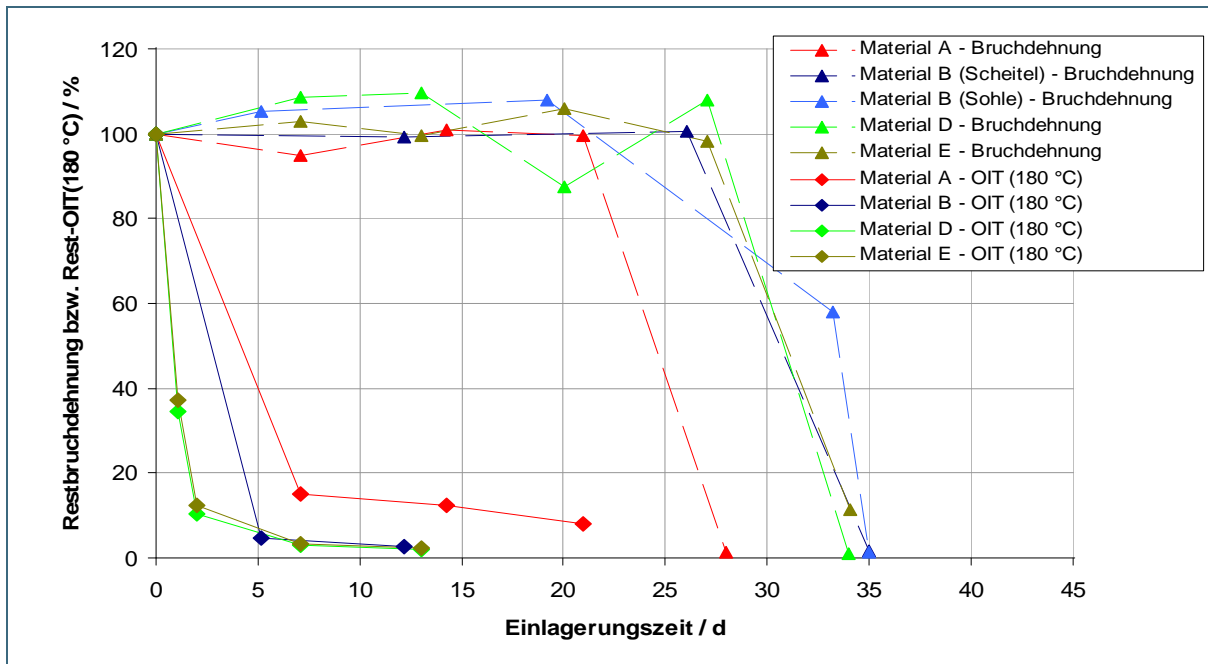


Abb. 7: Prozentualer Abfall der Bruchdehnung und des OIT-Werts von Rohrmaterialien bei Alterung in Hochdruck-Autoklaven bei einer Temperatur von 80 °C und einem Sauerstoffdruck von 50 bar

4.2 Spannungsrisssbeständigkeit

Sehr deutliche Unterschiede zeigen die Versuchsmaterialien bei der Spannungsrisssbeständigkeit. Der Probekörperquerschnitt von Rohrmaterial C₁ und C₂ (Tab. 1) beträgt aufgrund der geringen Rohrwandstärke nur 6 mm x 6 mm. Die Kerbe wurde gemäß DVS 2203-4 Beiblatt 2 mit einer Tiefe von 15 ± 2 % der Kantenlänge realisiert. An den kommerziell verfügbaren Materialien D und E (Tab. 1) haben keine FNCT-Tests stattgefunden, da hier die sehr langen Standzeiten des Herstellers verwendet werden konnten.

Material A liegt mit Standzeiten beim FNCT von knapp über 20 h weit unter den Mindestanforderungen von 100 h. Ein weiterer Beleg für die geringe Spannungsrisssbeständigkeit ist die Tatsache, dass das Rohr schon einen Längsrisse aufweist (Abb. 4, rechts). Auch das an das T-Stück angeschweißte PE-Rohr hat Standzeiten unter 100 h. Selbst das geschlitzte Dränrohr (Material B) hat Standzeiten unter 200 h und würde somit nicht mehr den Anforderungen der SKZ/TÜV-LGA Güterichtlinie genügen. Das T-Stück (Mat. C₁) hat im Mittel zwar eine weit höhere Standzeit, allerdings variieren diese enorm stark. Die Standzeiten lagen zwischen 102 h und 1650 h. Daher erfüllt keines der ausgebauten Rohre die heutigen Anforderungen an ein Sickerrohr in einer Deponie. Nur die neuen PE 80 und PE 100 Rohre (Mat. D und E) erfüllen nach den Angaben des Herstellers die Anforderungen (Tab. 4).

Material	FNCT / h	Verstreckmodul / MPa
A	21,3	23,4
B	168	26,4
C ₁	> 858	33,3
C ₂	79,5	29,0
D	2593 (Wert von Sabic)	31,0
E	> 7818 (Wert von Sabic)	33,6

Tab. 4: Ergebnisse der FNCT-Versuche

4.3 Verstreckmodul (Strain Hardening Modul)

Für den Verstreckmodul zeigte sich ein vergleichbares Verhalten wenngleich die Streuung der Werte im Vergleich zum FNCT weit weniger ausgeprägt ist (Abb. 8). Für diese Eigenschaft gibt es in den Regelwerken noch keine Anforderungen. Die Prüfung ist noch neu und es existieren bislang auch keine Normen dafür. Im Gegensatz zum FNCT handelt es sich um eine Kurzzeitprüfung und man erhält deshalb sehr rasch ein Ergebnis. Darüber hinaus ist diese Prüfung besser reproduzierbar.

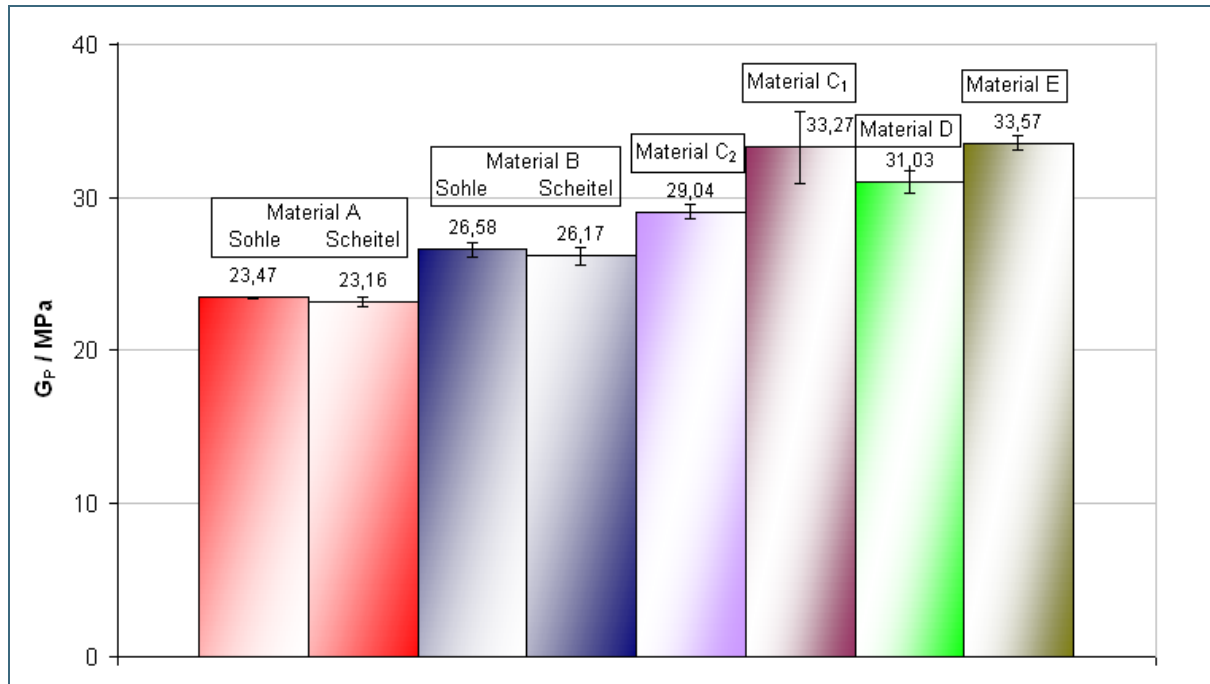


Abb. 8: Ergebnisse der Verstreckmodule

Die Ergebnisse der FNCT und die des Verstreckmoduls korrelieren gut (Abb. 9). Die Strain-Hardening-Methode hat gegenüber FNCT erhebliche Vorteile hinsichtlich Zeit und Kosten.

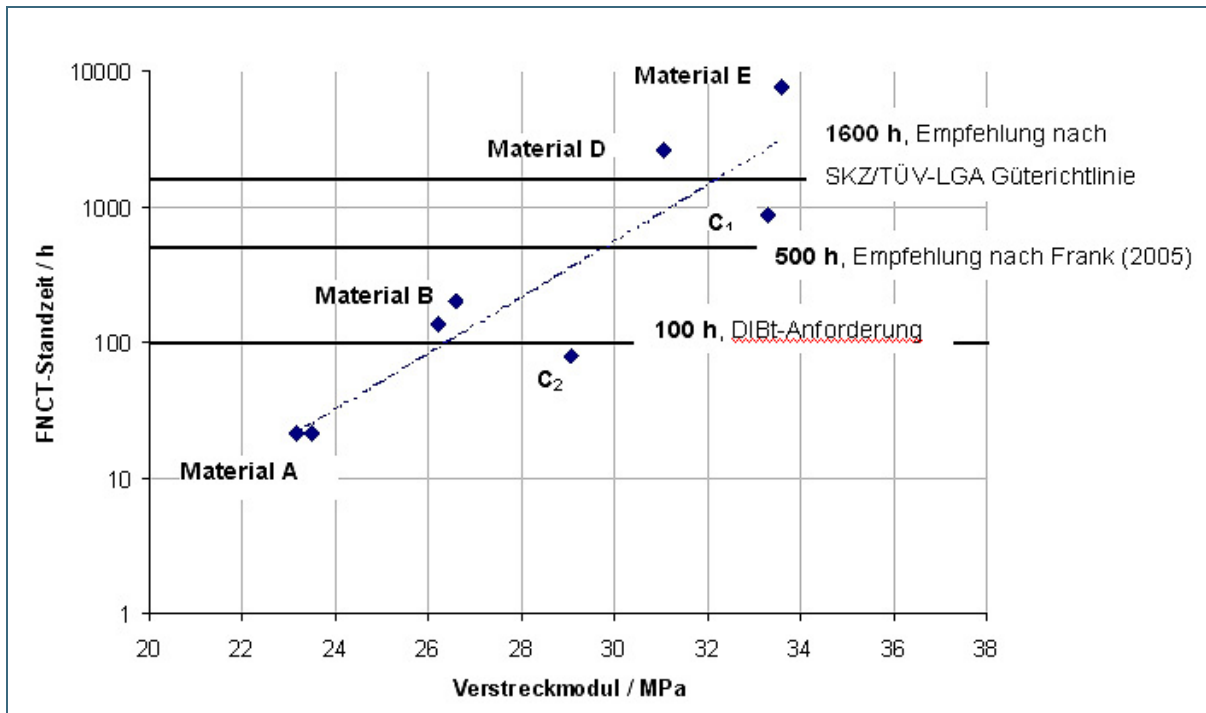


Abb. 9: Vergleich der FNCT-Standzeiten mit den Verstreckmodulen

Folgt man der Einteilung nach Frank (2005) nach der die „Rohrqualitäten“ nach den FNCT-Werten eingeteilt wurden, so entsprächen die Materialien A und C₂ etwa einer „PEHD-Qualität“. Das Material B wäre „PE 80-Qualität“ und Material C₁ wäre „PE 100- Qualität“.

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Dränrohre an der Deponiebasis haben eine wichtige Aufgabe. Um eine sehr lange Funktionstüchtigkeit unter den extremen Bedingungen in einer Deponie erfüllen zu können, müssen hoch stabilisierte, spannungsrisseempfindliche Werkstoffe verwendet werden. Nachdem es in jüngster Zeit zu Schäden an Dränrohren in Deponien gekommen ist, weil zumindest die Materialeigenschaften dieser Rohre nicht den heutigen Anforderungen genügten, besteht Handlungsbedarf, um den Zustand der gealterten Dränrohre in Deponien zu erfassen. Hierzu können Untersuchungen an Materialproben durchgeführt werden. Anhand der untersuchten Materialparameter lassen sich Abschätzungen hinsichtlich der verbleibenden „Lebensdauer“ vornehmen. Einfache Untersuchungen wie die Bestimmung des OIT reichen dazu nicht aus. Neue zeitraffende Methoden erlauben eine gute Abschätzung ob das Dränrohr auch den heutigen Anforderungen genügt oder nicht.

Die untersuchten PE-Rohre haben nach mehrjährigem Einsatz in Deponien einen Teil der Funktionsdauer verbraucht. Mit zunehmender Alterung geht die Spannungsrissebeständigkeit zurück. Eine Restlebensdauer der untersuchten PE-Rohre von vielen Jahrzehnten ist bei einer Anwendungstemperatur von > 40 °C sehr fragwürdig. Die Strain Hardening Methode ist ein sehr schnelles Verfahren, um die Spannungsrisseempfindlichkeit von PE-Rohren abzuschätzen. Die Versprödung eines PE-Werkstoffs kann im Hochdruck-Autoklaven mit einer hohen Zeitraffung simuliert werden. Gekennzeichnet ist die Versprödung durch eine starke Veränderung der mechanischen Eigenschaften. Mit OIT-Messungen kann lediglich das Vorhandensein von gewissen Stabilisatoren im Ist-Zustand des Materials beschrieben werden. Es kann damit keine Abschätzung der künftigen Materialalterung getroffen werden.

Die in den letzten 20 Jahren verwendeten PE-Werkstoffe können sehr unterschiedliche Kennwerte hinsichtlich oxidativer Langzeit-Stabilität und auch Spannungsrissbeständigkeit aufweisen. Ein 20 Jahre altes Vollwandrohr hatte schon zum Zeitpunkt der Anlieferung am SKZ einen Längsriss in der Rohrsohle. Die Prüfung der Oxidations-Stabilität im Hochdruck-Autoklaven bei 80 °C und 50 bar Sauerstoffdruck zeigt deutlich kürzere Versagenszeiten als bei anderen Vergleichsmaterialien, an denen keine sichtbaren Schäden im Ausgangszustand feststellbar waren. Die Prüfung der Spannungsrissbeständigkeit sowohl im Zeitstandversuch nach FNCT als auch im Zugversuch nach der Strain-Hardening-Methode belegen, dass die Mindestanforderungen von dem Rohr nicht mehr erfüllt werden. Dieses Ergebnis deckt sich mit der Feststellung, dass das Vollwandrohr schon vorher in der Sohle gerissen war.

Es sollten systematische Bestandsaufnahmen der in Deponien eingebauten PE-Rohre durchgeführt werden, um die Restlebensdauern dieser Rohre anhand der heutigen Erkenntnisse abschätzen zu können. Neue PE-Rohre müssen den Nachweis für die Spannungsrissbeständigkeit und die Oxidationsbeständigkeit erfüllen, um damit eine Funktion von 100 Jahren (z. B. bei einer Temperatur von 40 °C) belegen zu können. Neue Verfahren wie die Strain-Hardening-Methode und die Alterung in Hochdruck-Autoklaven sind sehr wirksame Untersuchungsmethoden, um in vertretbaren Zeiträumen die notwendigen Versuchsergebnisse zu bekommen. Die LfU-Studie hat gezeigt, dass diese Verfahren neben etablierten Verfahren wie Zeitstandversuchen nach der FNCT-Methode sehr gut dazu geeignet sind, um die Lebensdauerabschätzungen führen zu können. Diese Nachweisverfahren bilden u. a. die Grundlage für die Langzeitbeständigkeit von PE-Rohren nach der SKZ/TÜV-LGA Güterrichtlinie für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren.

Literatur

ATV-M 127-1 (1996). Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungsleitungen für Sickerwasser aus Deponien Ergänzung zum Arbeitsblatt ATV-A 127. Ausgabe: 03 1996, DWA, ISBN:978-3-927729-30-8

DEPONIEVERORDNUNG (2009). Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung – DepV); Artikel 1 der Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts vom 27. April 2009 (BGBl I Nr. 22 vom 29. April 2009 S. 900)

DIN 4266-1. Sickerrohre für Deponien – Teil 1: Sickerrohre aus PE und PP“

DIN 8074. Rohre aus Polyethylen (PE) - PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD – Maße

DIN 8075. Rohre aus Polyethylen (PE) - PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD - Allgemeine Güteanforderungen, Prüfungen

DIN EN 12814-3. Prüfen von Schweißverbindungen aus thermoplastischen Kunststoffen - Teil 3: Zeitstand-Zugversuch

DIN EN 728. Kunststoff-Rohrleitungs- und Schutzrohrsysteme - Rohre und Formstücke aus Polyolefinen – Bestimmung der Oxidations-Induktionszeit.

DIN EN ISO 1167-1. Rohre, Formstücke und Bauteilkombinationen aus thermoplastischen Kunststoffen für den Transport von Flüssigkeiten - Bestimmung der Widerstandsfähigkeit gegen inneren Überdruck - Teil 1: Allgemeines Prüfverfahren

DIN EN ISO 1167-2. Rohre, Formstücke und Bauteilkombinationen aus thermoplastischen Kunststoffen für den Transport von Flüssigkeiten - Bestimmung der Widerstandsfähigkeit gegen inneren Überdruck - Teil 2: Vorbereitung der Rohr-Probekörper

- DIN EN ISO 13438. Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Auswahlprüfverfahren zur Bestimmung der Oxidationsbeständigkeit
- DIN EN ISO 527-1. Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 1: Allgemeine Grundsätze
- DIN EN ISO 527-2. Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 2: Prüfbedingungen für Form- und Extrusionsmassen
- DIN EN ISO 9080. Kunststoff-Rohrleitungs- und Schutzrohrsysteme - Bestimmung des Zeitstand-Innendruckverhaltens von thermoplastischen Rohrwerkstoffen durch Extrapolation
- DVS 2203-4. Prüfen von Schweißverbindungen an Tafeln und Rohren aus thermo-plastischen Kunststoffen - Zeitstand-Zugversuch
- EDENBERGER, W. (2010). Rissbildung in PE-Leitungen. *Workshop über „Risse in Deponiesickerwasserleitungen aus PE“, AVL und ICP, 18. Mai 2010 im Landratsamt Ludwigsburg, Seite 17-24.*
- FRANK, H. / GROßMANN, B. (2011). Die SKZ / TÜV-LGA Güterrichtlinie „Rohre, Rohrleitungsteile, Schächte und Bauteile in Deponien“. 27. *Fachtagung „Die sichere Deponie 2011 – Sicherung von Deponien und Altlasten mit Kunststoffen“, SKZ - ConSem GmbH, Würzburg.*
- FRANK, H. / HOLTSMANN, G. (2009): Rohre, Bauteile und Schächte aus Kunststoffen im Deponiebau. 25. *Fachtagung „Die sichere Deponie 2009 – Abdichtung von Deponien und Altlasten mit Kunststoffen“, SKZ - ConSem GmbH, Würzburg.*
- FRANK, P. (2005): Besondere Anforderungen an Polyethylen-Formmassen für Rohre und Bauteile in Deponien - Punktlasten durch Kiesfilter erfordern eine erhöhte Beständigkeit gegen langsame Rissfortpflanzung. 21. *Fachtagung „Die sichere Deponie“ Sicherung von Deponien und Altlasten mit Kunststoffen, SKZ - ConSem GmbH, Würzburg.*
- HOCH, A. / LOTTNER, U. / ZANZINGER, H. (1993): Statische Berechnung von Rohrleitungen im Sickerwasserentsorgungssystem bei Abfalldeponien. *Müll und Abfall, Heft 1/93, Berlin.*
- ISO 11357-6:2008-06. Kunststoffe - Dynamische Differenz-Thermoanalyse (DSC) - Teil 6: Oxidations-Induktionszeit (isothermische OIT) oder -Temperatur (isodynamische OIT)
- ISO 16770:2004-02. Kunststoffe - Bestimmung der Spannungsrisssbeständigkeit von Polyethylen unter Medieneinfluss (ESC) - Kriechversuch an Probekörpern mit umlaufender Kerbe (FNCT)
- ISO 6259-3. Thermoplastische Rohre - Bestimmung der Eigenschaften im Zugversuch - Teil 3: Polyolefin-Rohre
- KURELEC, L., TEEUWEN, M., SCHOFFELEERS, H. AND DELIECK, R. (2005): Strain hardening modulus as a measure of environmental stress crack resistance of high density polyethylene, *Polymer 46*: 6369-6379.
- LAGA AD-HOC-AG „Deponietechnik“ (2010): Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 8-1. Rohre, Rohrleitungsteile, Schächte und Bauteile in Basis- und Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien vom 09.11.2010; www.laga-online.de
- MAIER, P. (2010): Risse in Deponiesickerwasserleitungen aus PE – Problemschilderung am Beispiel der Deponie „Burghof“. *Workshop über „Risse in Deponiesickerwasserleitungen aus PE“, AVL und ICP, 18. Mai 2010 im Landratsamt Ludwigsburg, Seite 1-10.*
- RIEGL, P. (2006): Anforderungen an PEHD-Formmassen im Hinblick auf das Trag- und Langzeitverhalten von Rohren und Bauteilen in Deponien. 22. *Fachtagung „Die sichere Deponie“ Sicherung von Deponien und Altlasten mit Kunststoffen, SKZ - ConSem GmbH, Würzburg.*

- SKZ/TÜV-LGA GÜTERICHTLINIE (2010): Rohre, Rohrleitungsteile, Schächte und Bauteile in Deponien, 64 Seiten.
- TSCHACKERT, A. / EDENBERGER, W. (2010): Risse in Deponiesickerwasserleitungen aus PE – Bericht über ein erstes Forschungsvorhaben. *Workshop über „Risse in Deponiesickerwasserleitungen aus PE“, AVL und ICP, 18. Mai 2010 im Landratsamt Ludwigsburg, Seite 25-40.*
- ZANZINGER, H. (1994): Verhalten von PEHD-Rohren an der Deponiebasis - Ergebnisse des großmaßstäblichen Modellversuchs. *Geotechnische Probleme beim Bau von Abfalldeponien -1994-10. Nürnberger Deponieseminar, Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstituts, Heft 72, Nürnberg.*
- ZANZINGER, H. / GARTUNG, E. / HOCH, A. (1992): Grundsatzuntersuchung über die statische Berechnung von Rohrleitungen in Sickerwasserentsorgungssystemen bei Abfalldeponien. *Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstituts, Heft 61, Nürnberg.*
- ZANZINGER, H. / STEIGLECHNER, A. / GARTUNG, E. (1997): Endergebnisse der großmaßstäblichen Rohrbelastungsversuche. *Geotechnische Probleme beim Bau von Abfalldeponien -1997- 13. Nürnberger Deponieseminar, Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstituts, Heft 76, Nürnberg.*

Tagungsleitung / Referenten

Karl Johann Drexler
 Bayer. Landesamt für Umwelt
 Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
 86179 Augsburg
 Tel.: 0821 9071-5362
 E-Mail: KarlJohann.Drexler@lfu.bayern.de

Dr. Wolfgang Güntner
 Bayer. Landesamt für Umwelt
 Dienststelle Hof
 Hans-Högn-Str. 12
 95030 Hof
 Tel.: 09281 1800-4660
 E-Mail: Wolfgang.Guentner@lfu.bayern.de

Dipl.-Kaufmann (Univ) Alexander Böhm
 Gesellschaft zur Altlastensanierung in Bayern
 mbH (GAB)
 Innere Wiener Straße 11a
 81667 München
 Tel.: 089 447785-0
 E-Mail: Alexander.Boehm@gab-mbh.de

Eckhard Haubrich
 Klinger und Partner
 Ingenieurbüro für Bauwesen und Umwelttechnik
 GmbH
 Friolzheimer Straße 3
 70499 Stuttgart
 Tel.: 0711 693308-50
 E-Mail: Eckhard.Haubrich@klinger-partner.de

Dr.-Ing. Dirk Heyer
 Akad. Direktor, Betriebsleiter
 Prüfamts für Grundbau, Bodenmechanik,
 Felsmechanik und Tunnelbau der
 Technischen Universität München
 Baumbachstraße 7
 81245 München
 Tel.: 089 289-27134
 E-Mail: Dirk.Heyer@bv.tu-muenchen.de

Simone Klett
 Bayer. Landesamt für Umwelt
 Ökoenergie-Institut Bayern
 Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
 86179 Augsburg
 Tel.: 0821 9071-5371
 E-Mail: Simone.Klett@lfu.bayern.de

Prof. Dr.-Ing. Gert Lautenschlager
 Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
 Fakultät Umweltingenieurwesen
 Steingruberstraße 2
 91746 Weidenbach
 Tel.: 09826-654-225
 E-Mail: Gert.Lautenschlager@hswt.de

Peter Raunecker
 IB-Raunecker
 Langdörfferstr. 4
 84489 Burghausen
 Tel.: 08677 9885-31
 E-Mail: Peter.Raunecker@raunecker.de

Andreas Schweizer
 Bayer. Landesamt für Umwelt
 Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
 86179 Augsburg
 Tel.: 0821 9071-5358
 E-Mail: Andreas.Schweizer@lfu.bayern.de

Helmut Zanzinger & Kurt Engelsing
 SKZ - TeConA GmbH
 Friedrich-Bergius-Ring 22
 97076 Würzburg
 Tel.: 0931 4104-259
 E-Mail: H.Zanzinger@skz.de

