

Deponieoberflächenabdichtungssysteme - künftig einfacher oder perfekter?

Klaus Stief, Berlin

1 Einführung

Anforderungen an Deponieoberflächenabdichtungssysteme werden in der TA Abfall und in der TA Siedlungsabfall gestellt. Im folgenden wird nur auf die Anforderungen für Siedlungsabfalldeponien eingegangen.

Die Anforderungen an Oberflächenabdichtungssysteme gelten grundsätzlich für neue Deponien der Klassen I und II, weil die Anforderungen in der TA Siedlungsabfall maßgeblich für neue Deponien gelten. Die Anforderungen werden aber auch für Altdeponien (siehe dazu Begriffe in der TA Siedlungsabfall) übernommen, weil das dringende Bedürfnis bestand, bei diesen Deponien nicht alles ungeregelt laufen zu lassen, zumal im LAGA-Deponiemerkblatt keine Empfehlungen für die Abdichtung der Oberfläche von Hausmülldeponien ausgesprochen worden waren.

Über die Anforderungen an Deponieoberflächenabdichtungssysteme für neue Deponien der Klassen I und II wird so gut wie nicht kontrovers diskutiert. Überraschend, und dennoch verständlich ist, daß über die Anforderungen an Deponieoberflächenabdichtungssysteme für Altdeponien für Bauschutt, Bodenaushub, u.ä. Abfällen (Bauschuttdeponien) nicht kontrovers diskutiert wird. Die Anforderungen sind äußerst gering. Die mineralische Dichtungsschicht ist billig, wenn auch mit äußerst großer Wahrscheinlichkeit nur sehr beschränkt wirksam. o- gegen sollte man protestieren?

2 Thesen zur Abdichtung/Abdeckung der Oberfläche nach Verfüllung von Deponien

Die unterschiedlichen Positionen hinsichtlich der Abdichtung bzw. Abdeckung der Deponieoberfläche nach Verfüllung werden anhand von Thesen, Behauptungen, Ansichten diskutiert, die zur Zeit in der Fachliteratur, Vorträgen, in Forschungsanträgen und Demonstrationsprojekten ihren Niederschlag finden.

Um Mißverständnisse zu vermeiden wird ausdrücklich darauf hingewiesen, daß die in den Thesen und in der Diskussion der Thesen niedergeschriebenen Meinungen nicht unbedingt

mit denen des Autors dieses Beitrages übereinstimmen. Übereinstimmungen werden, falls das erforderlich erscheint, besonders hervorgehoben.

2.1 These 1 Deponieoberflächenabdichtungssysteme nach dem Stand der Technik, müssen so dicht wie möglich und so lange wie möglich wirksam sein

Begründung: In einer Deponie sind immer mehr oder weniger schadstoffhaltige Abfälle abgelagert, von denen schädliche Emissionen auf dem Luft- oder Wasserpfad in die Umwelt gelangen können - sonst würden die Abfälle ja nicht in planfeststellungsbedürftigen Deponien abgelagert werden.

Da bei Deponien zum Schutz des Grundwassers während des Deponiebetriebes die Basis abgedichtet sein muß, ist konsequenterweise bei Abschluß der Deponie auch die Oberfläche abzudichten, um eine Sickerwasserbildung zu vermeiden. Ansonsten würde für mehrere hundert Jahre eine Sickerwasserbehandlung erforderlich.

Bei Deponien mit Basisabdichtung ohne freie Vorflut ist das Oberflächenabdichtungssystem erforderlich, um ein Aufstau von Sickerwasser in den Deponiekörper zu vermeiden, da sonst eine erhöhte Auslaugung stattfinden würde. Bei Altdeponien mit, insbesondere aber ohne Basisabdichtung und einem noch Deponiegas produzierendem Deponiekörper ist ein möglichst langfristig wirksames Oberflächenabdichtungssystem besonders wichtig, um weitere Grundwasserverschmutzung und die Emission des klimarelevanten Treibhausgases Methan konsequent und umgehend zu unterbinden.

Es gibt keine Möglichkeit den Zeitpunkt festzustellen, bis zu dem ein Deponieoberflächenabdichtungssystem unwirksam werden dürfte. Es gibt auch keine Möglichkeit festzustellen und verantwortlich festzulegen, wie unwirksam ein Oberflächenabdichtungssystem werden darf.

Deshalb: Entsprechend dem Stand der Technik so dicht wie möglich und so langfristig wirksam wie möglich.

2.2 These 2: Deponieoberflächenabdichtungssysteme nach dem Stand der Technik, aber nur so dicht wie nötig

Begründung: Deponieoberflächenabdichtungssysteme sind grundsätzlich notwendig. Es sollten aber nicht die technisch bestmöglichen Systeme gewählt werden, sondern nur die für den im Umweltschutz im Einzelfall notwendigen.

Im Deponiekörper von Altdeponien und in den abgelagerten Abfällen in Altablagerungen und Altlasten wird immer ein bißchen Wasser/Feuchtigkeit benötigt, um die biologischen Abbau-

prozesse solange in Gang zu halten, bis sie aufgrund der fehlenden biologisch abbaubaren organischen Substanz von allein zum Stillstand kommen, nicht aber, weil die biologischen Prozesse aufgrund von Wassermangel unterbrochen werden. Es wäre deshalb unsinnig, ein vielleicht kurz- und mittelfristig "superdichtes", aber nicht ewig wirksames Oberflächenabdichtungssystem aufzubringen, durch das die Abbauprozesse zunächst gestoppt werden, aber sofort wieder in Gang kommen, wenn das Abdichtungssystem unwirksam wird. Es kann aber durchaus sinnvoll sein, ein Oberflächenabdichtungssystem aufzubringen, durch das im Jahresdurchschnitt 1%, 2% oder auch 5% des Niederschlages in die abgelagerten Abfälle versickern können, um den Deponiekörper/die biologischen Abbauprozesse mit der notwendigen Feuchtigkeit zu versorgen. Wenn die biologischen Abbauprozesse infolge des Mangels an organischer Substanz zum Stillstand gekommen sind, werden die Deponiegasemissionen so unerheblich, daß sie nicht mehr klimarelevant sind, und die organische Sickerwasserbelastung wird ebenfalls zu vernachlässigen sein. Zu diesem Zeitpunkt ist dann auch eine Erneuerung der Deponieoberflächenabdichtung nicht mehr erforderlich, zumal der Wasserhaushalt der Rekultivierungsschicht bis dahin wirksam zur Verminderung der Infiltration von Niederschlagswasser in die abgelagerten Abfälle beitragen wird. (siehe dazu Veröffentlichungen u.a. von Berger, K., Melchior, S.)

Da es schwierig ist, Oberflächenabdichtungssysteme mit einer "definierten Unwirksamkeit" zu bauen, werden gelegentlich unter einer wasserdichten Abdichtung die abgelagerten Abfälle so bewässert, daß die biologischen Abbauprozesse in Gang gehalten werden. In der Regel wird in diesen Fällen auf die "möglichst langfristig wirksame" Abdichtungsschicht weniger Wert gelegt.

2.3 These 3: Deponieoberflächenabdichtungssysteme passen nicht zu einer nachhaltig umweltverträglichen Deponie

Technisch hergestellte Abdichtungssysteme sind generell, und natürlich auch auf Deponien, nicht ewig wirksam. Die Sicherheit von Deponien, die nachhaltig umweltverträglich sein sollen, kann und darf aber nicht auf Abdichtungssystemen beruhen, die nur befristet wirksam sind. Sobald die Abdichtungskomponenten unwirksam werden, stellt die Deponie wieder ein Umweltrisiko dar. Das ist besonders dann abzulehnen, wenn der Zeitpunkt der Unwirksamkeit erst in hunderten von Jahren eintritt, weil dann vergessen sein wird, daß "der Hügel, aus dem eine undefinierbare Giftbrühe raussickert", eigentlich ein Aufbewahrungsort für schadstoffhaltige Abfälle (eine Deponie) ist. Der Deponiekörper muß in der aktiven Betriebsphase (Deponiebetrieb) und in der passiven Betriebsphase (Teil der Nachsorgephase, in dem der Deponiebetreiber verantwortlich ist) in einen solchen Zustand versetzt werden, daß Emissio-

nen auf dem Gaspfad und auf dem Wasserpfad zu keine nachteiligen Umweltbeeinträchtigungen führen können.

Anstatt das Geld in aufwendige und sogar unsinnige Deponieoberflächenabdichtungssysteme zu stecken, sollte man es lieber zur Intensivierung der biologischen Abbauprozesse im Deponiekörper verwenden. Nachdem diese Prozesse wegen des Mangels an organisch abbaubarer Substanz zum Stillstand gekommen sind, braucht man auch keine Oberflächenabdichtung mehr. Deponiegas entsteht nicht mehr und die Sickerwasserzusammensetzung läßt eine schadlose Versickerung in den Untergrund zu.

Deshalb: Ein Oberflächenabdichtungssystem ist nach Stabilisierung des Deponiekörpers nicht erforderlich

3 Anforderungen an Deponieoberflächenabdichtungssysteme in der TA Siedlungsabfall

Mit den Anforderungen an Deponien in der TA Siedlungsabfall sollten die Grundgedanken aller oben aufgestellten Thesen in der Praxis realisiert werden:

- Die Abfälle sollten schadstoffarm (nicht schadstofffrei!) sein. Der organische Anteil in den abzulagernden Abfällen, sollte auf ein praktisch realisierbares Minimum reduziert werden. Damit sollte erreicht werden, daß keine Methanproduktion mehr möglich ist, und die organische Sickerwasserbelastung gegen Null geht.
- Weil während des Deponiebetriebes eine lückenlose Kontrolle der Einhaltung der Zuordnungskriterien und zusätzlicher behördlicher Auflagen nicht möglich sein wird, und weil der Grundwasserschutz in Deutschland eine hohe Priorität hat (theoretisch zumindest), wurde ein Deponiebasisabdichtungssystem nach dem Stand der Technik gefordert. Das war und ist die Kombinationsabdichtung.
- Weil Wasser im Deponiekörper die entscheidende Kraft ist, um biologische und chemische Umsetzungsprozesse in den abgelagerten Abfällen in Gang zu setzen, selbst wenn die schadstoffarmen, aber dennoch schadstoffhaltigen Abfälle scheinbar inert sind, sollte durch ein Deponieoberflächenabdichtungssystem nach dem Stand der Technik (wasserdurchlässig und langfristig wirksam), das ist eine Kombinationsabdichtung mit geeigneten Komponenten, die Infiltration von Niederschlagswasser in den Deponiekörper verhindert werden.
- Es war klar, daß bei Altdeponien nicht alle Anforderungen erfüllt werden können, die bei neuen Deponien erfüllbar sind.

- Weil in Altdeponien (Hausmülldeponien) in aller Regel die biologischen Abbauprozesse noch nicht zum Abschluß gekommen sind, und weil auch deshalb die Setzungen noch nicht abgeklingen sind, wurde zugestanden, eine vorläufige Abdichtung/Abdeckung vorzunehmen, ehe das endgültige Oberflächenabdichtungssystem eingebaut werden sollte und konnte.
- Es erschien und erscheint logisch, daß Altdeponien mit einem "schlechteren" (schadstoffhaltigerem, organikreicherem) Deponiekörper als dem neuer Deponien der Klasse II, mit einem mindestens genauso guten Oberflächenabdichtungssystem gegenüber der Umwelt abgekapselt werden müssen, wie neue Deponien.

4 Meine Schlußfolgerungen

1. Die in-situ-Behandlung von abgelagerten Abfällen in Altdeponien und in Altablagerungen wird insbesondere von Wissenschaftlern und Beratenden Ingenieuren für dringend erforderlich gehalten.
2. Verfahren zur "Nachbehandlung" von abgelagerten Abfällen sind verfügbar.
 - Deponierückbau einschließlich der mechanisch-biologischen Behandlung der rückgebauten Abfälle, falls das erforderlich ist, und teilweiser Wiedereinbau (BOTHMANN, 1997)
 - Bewässerung der abgelagerten Abfälle, um die Feuchtigkeit zur Verfügung zu stellen, die für den biologischen Abbau erforderlich ist (ATUS, 1997; KETTERN, ET.AL., 1997)
 - Aerobe in-situ-Stabilisierung (bmb+f ANTRAG LK ROTENBURG (WÜMME); VORVERSUCH VON STEGMANN; HEYER; HUPE).
3. Das beste Ergebnis der in-situ-Behandlungen kann allenfalls dem der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung entsprechen.
4. Wenn für Deponien der Klasse II mit Abfällen, die den Zuordnungskriterien des Anhangs B der TA Siedlungsabfall entsprechen, Oberflächenabdichtungssysteme gefordert werden, dann gibt es keinen fachlichen Grund auf diese bei Deponien für mechanisch-biologisch behandelte Abfälle, und erst recht nicht bei Altdeponien/Altablagerungen nach einer in-situ-Behandlung zu verzichten.
5. Der maßgebliche Grund für den Wunsch bei Altdeponien auf Oberflächenabdichtungssysteme, die den Anforderungen der TA Siedlungsabfall entsprechen, sind die Kosten.
6. Die Anforderungen an Oberflächenabdichtungssysteme in der TA Siedlungsabfall beruhen auf dem Vorsorgeprinzip. Aus grundsätzlichen Erwägungen kann von den Anforder-

rungen der TA Siedlungsabfall für Oberflächenabdichtungssysteme bei Altdeponien nur dann abgewichen werden, wenn hier die Anwendung des Gefahrenabwehrprinzips rechtlich schon heute zulässig wäre, oder die TA Siedlungsabfall entsprechend geändert würde. (siehe dazu Beiträge in Stief/Engelmann, 1997)

7. Die Tatsache, daß in der Praxis für Altablagerungen die Erfüllung der TASI-Anforderungen an Oberflächenabdichtungssysteme für Altdeponien gefordert wird, ist nicht rational erklärbar. Für Altablagerungen gilt die TA Siedlungsabfall nicht. Hier könnte ohne weiteres das Gefahrenabwehrprinzip für die Entscheidungen über die Abdichtung oder Abdeckung der Oberfläche der Altablagerung zugrunde gelegt werden.

5 Sind technisch perfekte Deponieoberflächenabdichtungssysteme bei Deponien überhaupt sinnvoll?

Warum werden in der Praxis, in der Umgangssprache, die Begriffe "einfache" und "perfekte" Abdichtungen/Abdichtungssysteme benutzt? Der Hauptgrund dürfte darin liegen, daß angenommen oder unterstellt wird, daß einfache Abdichtungen billiger sind als perfekte, und da vielfach unterstellt wird, die einfachen Abdichtungen seien trotzdem ausreichend wirksam. Da die Diskussionen in der Praxis in großem Maße dadurch bestimmt werden, daß wenig Geld zur Finanzierung der Abdichtungsmaßnahmen vorhanden ist, die zum Abschluß von Hausmülldeponien erforderlich sind, ergibt sich der Ruf nach "einfachen" Abdichtungen wie von selbst.

Die Begriffe "perfekt" bzw. "einfach" im Titel dieses Beitrages sind gewählt worden, weil sie in der Praxis verwendet werden. Sie sind, wie dieser Beitrag bis hierher gezeigt hat, nicht sehr glücklich gewählt. Aber die Tatsache, daß der Veranstalter den Beitrag angenommen hat zeigt doch, daß mit den Wörtern "einfach" und "perfekt" im Zusammenhang mit Deponieoberflächenabdichtungssystemen irgendwelche Assoziation verbunden sind, über die es sich lohnt zu reden und zu diskutieren.

5.1 Was erwartet man von Deponieoberflächenabdichtungssystemen?

Deponien sollen "Bauwerke" sein, welche die Aufgabe haben, schadstoffhaltige Abfälle für alle "Ewigkeit" aufzubewahren, und zwar so, daß keine oder nur vernachlässigbare Emissionen aus den abgelagerten Abfällen freigesetzt werden und in die Umwelt gelangen können.

Damit Deponien diese Aufgabe erfüllen können, müßte theoretisch die Summe der Maßnahmen, mit deren Hilfe die Freisetzung von Emissionen aus einer Deponie verhindert werden soll, auf Dauer, bis in alle Ewigkeit, wirksam sein (langfristig wirksame Maßnahmen),

oder man müßte in bestimmten Zeitabständen immer neue Maßnahmen ergreifen, um Emissionen zu verhindern (kurzfristig wirksame Maßnahmen).

Man sollte annehmen, daß zum Schutz der Umwelt vor den Emissionen aus einer Deponie, und nicht zuletzt auch gegen die Ausbreitung (z. B. Verwehung, Abschwemmung) der abgelagerten Abfälle immer nur die bestmöglichen Maßnahmen entsprechend dem Stand der Technik eingesetzt werden. Weit gefehlt. Das wäre vielleicht so, wenn es nur private Eigentümer von Deponien gäbe. Da aber viele Deponien im Eigentum von Kommunen, von öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern sind, ist das nicht der Fall. Staatliche Organisationen plädieren meistens für "angemessene Maßnahmen" und meinen damit in der Regel Maßnahmen, die nichts oder nur wenig kosten, wobei als Hauptgrund natürlich angegeben wird, daß das Portemonnaie der Bürger geschont werden soll und behauptet wird, daß die teureren Maßnahmen unangemessen und nicht zielführend seien. Wenn sie dann und wann keine guten Argumente gegen erforderliche technische Maßnahmen mehr haben, dann hilft die Haushaltsordnung, die die Ausschreibung von Leistungen und den Zuschlag für das preiswerteste Angebot verlangt, was in der Praxis aber in der Regel heißt, daß das billigste Angebot den Zuschlag bekommt. Das ist insbesondere bei technischen Maßnahmen der Fall, deren Wirksamkeit schlecht oder gar nicht kontrollierbar ist. Und damit bin ich wieder bei Deponieoberflächenabdichtungssystemen angelangt.

5.2 Das Kriterium "langfristige Wirksamkeit" bei neuen Deponien

Zweifellos ist die Abneigung gegen die Anforderungen an Deponieoberflächenabdichtungssysteme in der TA Siedlungsabfall durch Finanzierungsprobleme maßgeblich bedingt. Aber es gibt auch noch eine mehr fachliche Argumentation gegen die Forderung das bestmögliche System entsprechend dem Stand der Technik auch für neue Deponien nicht wählen zu müssen. Wenn, so kann argumentiert werden, begründete Zweifel daran bestehen, daß selbst die besten heute denkbaren Deponieoberflächenabdichtungssysteme "ewig" wirksam bleiben, warum kann man dann nicht preisgünstigere Systeme wählen, die mit einiger Sicherheit mindestens 100 Jahre wirksam sind? Wenn in 100 Jahren unsere Nachfahren zu der Auffassung kommen sollten, daß bei einer gewissen Anzahl von "neuen Altablagerungen" nachgebessert werden muß, dann ist das eben nicht zu vermeiden. Man kann aber doch wohl davon ausgehen, daß die "neuen Altablagerungen", die wir hinterlassen, weniger umweltgefährdend sind, als die, die wir uns in den letzten Jahrzehnten selbst geschaffen haben. Aber auch wenn die Berechnung der Nachsorgekosten zur Grundlage von Entscheidungen über die günstigsten Deponieoberflächenabdichtungssysteme gemacht werden, reicht eine Lebensdauer (Dauer der vollständigen Wirksamkeit) von 100 Jahren aus, um mit einer heute geringen Rücklage, in 100 Jahren einen ausreichenden Betrag zur Verfügung zu haben, um gegebenenfalls das Oberflächenabdichtungssystem erneuern zu können. Die

Erneuerung hätte zudem den Vorteil, daß dann, in 100 Jahren, ein System gewählt werden könnte, das Stand der Technik ist. (siehe zur Berechnung der Nachsorgekosten auch WÖBBEKING, 1998; URBAN-KISS, 1998 in STIEF/ENGELMANN 1998)

Die bisherige Argumentation ist vorwiegend für neue Deponien geeignet.

5.3 Das Kriterium "langfristige Wirksamkeit" bei Altdeponien und Altablagerungen

Wie kann man bei Altdeponien und Altablagerungen argumentieren?

Altdeponien werden trotz aller sogenannter Nachrüstungsmaßnahmen grundsätzlich nicht zu nachsorgefreien oder nachsorgearmen Abfallablagerungen werden. Ein gewisser Prozentsatz (5%?, 10%?, 20%?, 50%) wird sich langfristig sogar als nicht umweltverträglich (als Altlast) erweisen, auch wenn man eine Oberflächenabdichtung auf die Ablagerungen, auf die unbehandelten abgelagerten Abfälle aufbringt. Welche Altdeponien, welche Altablagerungen das sein werden ist ungewiß. Aber auch der Rest (95%, 90%, 80% oder 50%) werden hinsichtlich der Umweltverträglichkeit nicht annähernd so gut sein, wie die "neuen Altablagerungen", die auf der Basis der Anforderungen der TA Siedlungsabfall entstehen (könnten).

Deshalb, so könnte man argumentieren, macht es keinen Sinn auf alle Altdeponien das bestmögliche verfügbare Oberflächenabdichtungssystem aufzubringen. Man wird bei einigen ja doch nachbessern oder sogar in das Innere der Altablagerung/Altdeponie eindringen müssen, und dabei mit Sicherheit das Oberflächenabdichtungssystem zerstören. Oder das Oberflächenabdichtungssystem wird aufgrund der Setzungen der abgelagerten Abfälle zerstört, zumindest aber teilweise unwirksam. Warum dann heute viel Geld für ein System aufwenden, das vor Ende der "systemimmanenten Lebensdauer" durch äußere Einflüsse unwirksam wird?

Wer aber bringt nach 50 oder 100 Jahren das Geld auf, um die Nachbesserungen zu finanzieren? Die Gesellschaft unserer Nachkommen? Warum diese, warum nicht wir?

Deshalb kann man auch genau umgekehrt argumentieren. Wir bezahlen heute für alle Oberflächenabdichtungen, auch wenn 5%, 10%, usw. vor Ende der "systemimmanenten Lebensdauer" unwirksam werden. Schließlich ist es unser Versagen, daß wir nicht wissen, welche Altdeponien und Altablagerungen langfristig wieder zu Umweltbeeinträchtigungen führen werden.

5.4 Sind diejenigen, die was tun die Dummen?

Die bisherige Argumentation hat aber wohl nicht zur Klarheit geführt, ob einfachere oder perfektere Oberflächenabdichtungssysteme gewählt werden sollten.

Was würde geschehen, wenn man jedermann machen läßt, was er will? Es ist leicht vorherzusehen, was geschehen würde. Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger würden fast zu 100% ein bißchen Boden auf die Ablagerungen kippen lassen - natürlich mit dem Etikett "Verwertung von aufbereitetem Bauschutt und Bodenaushub", und für "Begrünung" sorgen. Voraussichtlich würde sich das Konzept der "natürlichen Sukzession" wieder durchsetzen, d. h. man tut selbst nichts, der liebe Gott, oder wenn das Religiöse nicht so herausgestellt werden soll, die Natur, wird es schon machen. Im Klartext gesagt, es würde nichts gemacht, was Geld kostet.

Nun wird aber von seriösen Wissenschaftlern und Beratenden Ingenieuren, aber auch von Verantwortlichen in Behörden deutlich auf nicht unerhebliche Umweltgefährdungen hingewiesen, die von Altablagerungen, aber auch von Altdeponien ausgehen können. Der Erfolg dieser Hinweise ist nahezu NULL. Altablagerungen ohne Basisabdichtung werden als nicht prioritär sanierungsbedürftig eingestuft und so wie sie sind, liegen gelassen - unter Beobachtung gehalten oder sogar aus der Beobachtung entlassen. Nicht an der Basis abgedichtete Altdeponien werden, unter den Augen, mit Billigung oder sogar mit Genehmigung der zuständigen Behörden ungeachtet aller sonstigen Beteuerungen, daß Umweltschutz und insbesondere der Grundwasserschutz herausragende Bedeutung hat, weiterbetrieben.

Warum? Ein Grund könnte darin liegen, daß sich die Befürworter der nachträglichen Behandlung der abgelagerten Abfälle durch Belüftung, Bewässerung oder durch Deponierückbau, untereinander über das beste Verfahren streiten, aber relativ geschlossen gegen die Befürworter der Abdichtung der Oberfläche der Altdeponien oder Altablagerungen auftreten. Die am Nichtstun Interessierten warten indessen interessiert und zufrieden ab. Zeit ist Geld heißt ein Sprichwort. In diesem Fall heißt es: Zeit in der nichts getan wird, ist Geld. (Hier muß aber unbedingt angemerkt werden, daß mit den Zuständigen nicht die einzelnen Personen (Ingenieure, Techniker, Juristen, usw. gemeint sind, sondern die anonyme zuständige Institution, die Beschlußgremien in den Kommunen, in den Ländern und im Bund).

Verständlich ist es schon, daß die Befürworter der nachträglichen Behandlung von abgelagerten Abfällen gegen die Oberflächenabdichtung sind. Die Behandlung verursacht Kosten, und dem Deponiebetreiber soll klargemacht werden, daß diese Kosten an der Oberflächenabdichtung eingespart werden können. Und es ist einleuchtend, daß am meisten gespart werden kann, wenn nach der Behandlung gar keine Oberflächenabdichtung erforderlich würde.

Viele Befürworter der Abdichtung der Deponieoberfläche argumentieren, daß die in-situ-Behandlung (einschließlich Rückbau und erneuten Ablagerung von Abfällen, die nicht der TA Siedlungsabfall entsprechen) der abgelagerten Abfälle auch nicht zu einem nachhaltig umweltverträglichen Deponiekörper führen wird, wenn auch die erheblichen Verbesserungen

des Deponieverhaltens nicht bestritten werden. Dann könnte man doch auch auf die Behandlung verzichten und eine wirksame Oberflächenabdichtung einbauen. Aber natürlich gibt es auch zwischen den Befürwortern der Oberflächenabdichtungssystemen keine Einigkeit. Jeder versucht das System des anderen schlecht zu machen und bringt "Beweise", daß das Konkurrenzsystem nichts taugt. Das wiederum freut die Gegner.

Diese Konstellation ist insgesamt nachteilig, weil sie ausgenutzt wird, und gar nichts getan wird.

5.5 Gefahrenabwehrprinzip statt Vorsorgeprinzip bei stillgelegten Altdeponien?

Aus meiner Sicht können die Probleme im Zusammenhang mit dem Umgang mit Altdeponien nur dadurch gelöst werden, daß die Maßnahmen zur Erhöhung der Umweltverträglichkeit von dem Anspruch befreit werden, dem Vorsorgeprinzip entsprechen zu müssen. Das Vorsorgeprinzip kann bei Altdeponien nicht erfüllt werden, und alle rhetorischen und juristischen Bemühungen nachzuweisen, daß man ihm doch genügt, werden in eine Sackgasse führen. (Bei Altablagerungen und Altlasten ist man längst zu dieser Einsicht gekommen.)

Das zeigt sich meiner Ansicht auch in dem aktuellen Bemühen von KNEBEL UND WICKE, 1998 ein Abdichtungssystem aus Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) mit einem Abdichtungskontrollsystem (Leckdetektionssystem) als gleichwertig mit einer Kombinationsabdichtung zu erklären. Dazu mußten Schwächen des einen Systems den Stärken des anderen Systems (und umgekehrt) gegenübergestellt werden. Das gewünschte Abdichtungssystem mußte zum Stand der Technik erklärt werden, um das nicht gewünschte System ins Abseits zu schieben. Und alles nur, weil die Abdichtungsschicht aus KDB mit Abdichtungskontrollsystem (Leckdetektionssystem) preisgünstiger ist als eine Kombinationsdichtung. Geradezu kurios ist die Tatsache, daß man erklärt, daß es zwingend erforderlich sei, daß der Stand der Technik einzuhalten sei, wenn es um das bevorzugte Abdichtungssystem mit Dichtigkeitskontrolle geht, aber nicht auf die Idee kommt, bei der Kombinationsabdichtung den Einbau einer wirksameren mineralischen Abdichtungsschicht zu fordern, obwohl auch diese Stand der Technik ist. KNEBEL & WICKE hätten sicher besser und vielleicht erfolgreicher argumentiert, daß sie die Kombinationsabdichtung bei Altdeponien für unangemessen, nicht sinnvoll, usw. halten, und dafür Fakten oder Argumente vorlegen sollen. Es ist nur zu hoffen, daß sie einer an sich guten Idee nicht nachhaltig (!) geschadet haben.

Das zeigt sich auch in der Argumentation von STEGMANN, 1998, der meint, man könne auf eine Oberflächenabdichtung verzichten, wenn eine Altdeponie in-situ aerob stabilisiert worden sei. Gegen die aerobe in-situ-Stabilisierung ist ja grundsätzlich nichts einzuwenden, genauso wenig wie gegen die Bewässerung von Altablagerungen und Altdeponien sowie g e

gen den Deponierückbau. Aber weshalb sollte man deshalb auf die Oberflächenabdichtung verzichten dürfen, wenn man sie sogar für neue Deponien fordert, die voll und ganz der TA Siedlungsabfall entsprechen?

Das Motiv ist ganz eindeutig, und sicher auch nicht ehrenrührig. Man will die für eine Altdeponie oder Altablagerung Verantwortlichen, die eine bestimmte Maßnahme zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit durchführen wollen, davor schützen, "zur Strafe", daß sie überhaupt etwas tun, auch alle anderen denkbaren Maßnahmen durchführen zu müssen, die bei neuen Deponien verlangt werden. Man möchte dem, der etwas Notwendiges und Sinnvolles tut, lieber dafür belohnen. Und der schönste Lohn ist immer noch Geld, das man bekommt oder wenigstens eingespart - obwohl man uns immer wieder einreden will, daß Geld nicht alles sei und ein schönes Lob es auch tue. (Aber um dieser Erkenntnis zum Durchbruch zu verhelfen, bedarf es noch vieler Fortbildungsseminare, insbesondere für Kommunalpolitiker und Abgeordnete.)

5.6 Welche technischen Maßnahmen sind bei Altdeponien und Altablagerungen angemessen?

Welche technischen Maßnahmen sind nun aber bei Altdeponien und Altablagerung notwendig und angemessen, um Emissionen auf dem Luft- und auf dem Wasserpfad zu verhindern? Einfache oder technisch perfekte?

Abgesehen davon, daß immer noch nicht klar definiert ist, was einfach und was perfekt ist, stellt sich die Frage, ob einfache und perfekte Maßnahmen kombiniert werden dürfen, um eine Optimierung der Emissionsminderung zu erreichen.

Das Hauptproblem bei der Optimierung der Emissionsminderung bei Deponien, Altdeponien und Altablagerungen ist, daß es keine Zielgrößen gibt. Z. B. gibt es keine Antworten auf die Fragen: Wieviel Deponiegas darf pro m² und Jahr an der Oberfläche emittiert werden? Wieviel Sickerwasser darf pro m² und Jahr an der Deponiebasis anfallen oder gar in den Untergrund versickern? Darf mehr versickern, wenn das anstehende Grundwasservorkommen bereits belastet ist, oder wenn es unbelastet ist?

Dadurch erscheint (und ist?) die Festlegung von technischen Maßnahmen mehr oder weniger Willkür. Dabei ist es relativ gleichgültig, ob die "Willkür" in Verwaltungsvorschriften der Länder oder des Bundes, oder im Zusammenhang mit "Entscheidungen im Einzelfall" zum tragen kommt. allerdings ist wohl unbestritten, daß für alle Beteiligte die "Entscheidung im Einzelfall" interessanter ist, und sicher mehr Spaß macht. Das traurige ist, daß es nicht anders geht, solange man sich nicht auf zulässige Emissionen einigen kann.

Doch zurück zur Frage: "Oberflächenabdichtungssysteme einfacher oder perfekter?"

Der Vorteil von Verbundabdichtungen, z. B. der Kombinationsabdichtung sollte sein (und ist!), daß man die Wirksamkeit nicht kontrollieren muß, wenn die einzelnen Komponenten für sich allein und natürlich auch im Verbund langfristig wirksam sind. Als Nachteil wird aber auch angesehen, daß man die Wirksamkeit nicht kontrollieren könne. Aber man könnte natürlich. Allerdings würde das an sich schon teurere System noch teurer, was dann als Argument gegen seine Anwendung genommen wird. Eine sicherlich raffinierte, gleichwohl aber nicht seriöse Argumentation.

Hier sollen nicht die Vor- und Nachteile von mineralischen Abdichtungen sowie Abdichtungen mit Geomembranen (z. B. Kunststoffdichtungsbahnen) umfassend diskutiert werden. Aber einige Argumentationen sollen doch aufgespießt werden.

Der Vorteil von einfachen Abdichtungen (nicht Verbundabdichtungen!) wird u.a. in den geringeren Kosten gesehen, und wenn man sich in die Nähe von sogenannten Ökobilanzen wagt, auch im geringeren Verbrauch natürlicher Rohstoffe. (Aber Ökobilanzen werden im Zusammenhang mit Deponieabdichtungssystemen soweit bekannt noch vermieden, vielleicht weil man befürchtet, daß das "falsche" System sich als das ökologisch bessere herausstellt. Wahrscheinlich werden Befürworter von Abdichtungen aus Sekundärrohstoffen (aufbereiteten Abfälle) bald darauf zurückgreifen, wenn Versuche und Demonstrationsvorhaben günstig ausgehen.)

Nachteile von Abdichtungen aus Kunststoffdichtungsbahnen sei, so wird häufig gesagt, die geringe Dicke und damit das hohe Risiko von Beschädigungen sowie die nicht bestrittene Alterung des Materials. Die Antwort auf die Besorgnis der fehlerhaften Herstellung der Abdichtungen sowie der Beschädigung beim Einbau der Abdichtung selbst, aber auch beim Einbau der Rekultivierungsschicht, sind Abdichtungskontrollsysteme (Leckdetektionssysteme). Ob die Argumentation, daß man mit Abdichtungskontrollsystemen die Kunststoffdichtungsbahnen bis zum Ende ihrer Lebenszeit auf Undichtigkeiten kontrollieren kann, sinnvoll ist, wage ich zu bezweifeln. Gleichwohl können Abdichtungskontrollsysteme für 10, 20, 30 Jahre eine wichtige Rolle spielen, und wenn es nur zur Beruhigung besorgter Bürger(iniativen) ist, aber auch um Gewährleistungsansprüche durchzusetzen oder Haftungsansprüche abzuweisen.

In diesem Zusammenhang soll immerhin darauf hingewiesen werden, daß die Wirksamkeit von einfachen mineralischen Abdichtungsschichten bisher nicht großflächig kontrolliert werden kann. Es gibt zwar Rechenmodelle zur Abschätzung der Rißgefährdung durch Feuchtigkeitsverluste (Austrocknung), die so gut wie nicht angewendet werden. Aber zur Abdichtungskontrolle von mineralischen Abdichtungsschichten mit einer bestimmten Wasserdurchlässigkeit müßte man eine zweite Abdichtungsschicht mit einer deutlich geringeren Wasserdurchlässigkeit einsetzen. Das könnte z. B. Kunststoffdichtungsbahnen oder Asphaltabdichtungen

gen sein, was natürlich nicht Sinn der Sache sein kann. Außerdem würde durch den "Beobachtungszwischenraum" unter der mineralischen Abdichtungsschicht die Gefahr der Austrocknung erhöhen, was auch nicht gewollt sein kann. Also muß man notgedrungen auf die Abdichtungskontrolle verzichten. Hat man wegen der nicht möglichen Abdichtungskontrolle ein "einfacheres" System? Und ist dieses "einfachere System deshalb ein "besseres" System?

5.7 Über welche Abdichtungstypen reden wir überhaupt?

Welche Abdichtungen einfacher oder perfekter sind, ist aber wohl immer noch nicht beantwortet. Vielleicht hilft eine Auflistung der verschiedenen Typen von Abdichtungen weiter?

Abdichtungen mit Abdichtungskontrolle	Abdichtungen ohne Abdichtungskontrolle
Abdichtungen aus mineralischen Materialien	Abdichtungen aus nicht mineralischen Materialien
Abdichtungen aus tonmineralischen Erdbaustoffen	Abdichtungen aus nicht tonmineralischen Erdbaustoffen
Abdichtungen aus Rohstoffen	Abdichtungen aus Sekundärrohstoffen
Abdichtungen aus polymeren Materialien	Abdichtungen aus Bitumen/Asphalt
Einkomponenten Abdichtungen (einfache Abdichtungen)	Multikomponentenabdichtungen
Multikomponentenabdichtungen ohne Verbundwirkung	Multikomponentenabdichtung mit Verbundwirkung, z. B. Kombinationsabdichtung aus KDB und mineralischer Abdichtungsschicht

Wahrscheinlich ist die Aufzählung nicht vollständig. Aber es wird trotzdem deutlich, daß sich diese Aufzählung nicht dazu eignet, eine Einteilung in "einfach" oder "perfekt" vorzunehmen.

6 Schlußbemerkungen

Es geht bei der Diskussion um "einfache" oder "perfekte" Deponieoberflächenabdichtungssysteme nicht um klare technische Definitionen. Sondern es geht um teurere und preisgünstigere, um wasserdichtere und weniger wasserdichte, um kontrollierbare und nicht kontrollierbare, um langfristig gleichbleibend wirksamen und langfristig unwirksam werdende Abdichtungssysteme.

Für die Abdichtung der Oberfläche von Altablagerungen, kann im Einzelfall entschieden werden, welches verfügbare Abdichtungssystem auf Grund von Kosten-Nutzen-Betrachtungen gewählt wird, weil das Gefahrenabwehrprinzip gilt.

Bei Altdeponien gilt aber das Vorsorgeprinzip, deshalb sind die Anforderungen der TA Siedlungsabfall zu beachten, und eine Kombinationsabdichtung oder ein gleichwertiges Abdichtungssystem zu wählen. Über die Bewertung der Gleichwertigkeit wird gestritten.

In der Praxis wird die Auffassung vertreten, daß die Anforderungen an Oberflächenabdichtungssysteme für Altdeponien nicht angemessen seien, und es sinnvoller und kostengünstiger sei Einzelfallentscheidungen zu treffen, wie das bei Altablagerungen erlaubt ist (unverständlichlicherweise aber nicht immer getan wird). Das sei insbesondere auch deshalb gerechtfertigt, weil Altdeponien in ihrem Deponieverhalten im Gegensatz zu neuen Deponien entsprechend der TA Siedlungsabfall völlig unterschiedlich seien, so daß sich pauschale landes- oder gar bundesweite Anforderungen verböten. (Eine durchaus einleuchtende Argumentation. Schließlich wurden die Anforderungen an die abzulagernden Abfälle in der TA Siedlungsabfall deshalb so festgelegt, weil man endlich nur noch Deponien haben wollte, die ein gleichartiges umweltverträgliches Deponieverhalten haben.)

Für die Abdichtung der Oberfläche von Altdeponien stehen unterschiedliche Systeme zur Verfügung.

Die Entscheidung für das eine oder andere System wird aber dadurch erschwert, daß es keine klaren Zielvorgaben gibt, was erreicht werden soll. Die Forderungen: "für immer keine Gasemissionen" und "für immer keine Sickerwasseremissionen" sind sinnlos, weil nicht erfüllbar oder zumindest nicht kontrollierbar. Solche Forderungen öffnen dem Mißbrauch Tür und Tor. Klare Zielvorgaben, wie z.B. " x m³ Deponiegas/Deponiesickerwasser pro m² und Jahr" oder die Angabe von zulässigen Schadstofffrachten werden nicht gemacht, weil das Vorsorgeprinzip nur Nullemissionen zuläßt. Deshalb sind die Entscheidungen für das eine oder andere Deponieoberflächenabdichtungssystem mehr oder weniger willkürlich, es sei denn, man legt hinter verschlossenen Türen doch Zielvorgaben fest.

Es erscheint einleuchtend, daß mit einer Oberflächenabdichtung die Umweltgefährdungen, die von Altablagerungen und Altdeponien ausgehen können, auch für alle Ewigkeit beherrscht werden können. Macht es dann Sinn, sie zu fordern. Folgt man dem Multibarrierekonzept für Deponien (STIEF, 1986): JA. Folgt man ihm nicht: VIELLEICHT oder NEIN.

Entbindet die Abdichtung der Oberfläche von Altdeponien und Altablagerungen von der "angemessenen" Verbesserung des Deponieverhaltens der abgelagerten Abfälle durch in-situ-Behandlung oder Rückbau? Folgt man dem Multibarrierenkonzept für Deponien (STIEF, 1986): JA. Folgt man ihm nicht: VIELLEICHT oder NEIN.

Muß man nach einer gelungenen in-situ-Behandlung oder dem Rückbau von Abfällen in einer Altdeponie oder einer Altablagerung auch noch die Oberfläche abdichten. Folgt man de

Multibarrierenkonzept für Deponien (STIEF, 1986): JA. Folgt man ihm nicht: VIELLEICHT oder NEIN.

Ist das Multibarrierenkonzept sinnvoll auf Altdeponien und Altablagerungen anzuwenden? Eigentlich NEIN, weil sich alles meist nur noch um die Oberflächenabdichtung dreht. Aber VIELLEICHT doch? Weil sonst nicht deutlich genug wird, daß die Umweltauswirkungen von Altdeponien, insbesondere aber von Altablagerungen und Altlasten in der Summe so groß sind, daß die Anforderungen an die Ablagerung in der TA Siedlungsabfall gerechtfertigt waren und sind.

Am sinnvollsten wäre es, wenn auch auf stillgelegte Altdeponien das Gefahrenabwehrprinzip angewendet werden dürfte. Die Stilllegung müßte aber innerhalb kürzester Zeit erfolgen, spätestens jedoch bis zum 1. Juni 2005. Ansonsten sollten man die TA Siedlungsabfall, das Wasserhaushaltsgesetz, die Grundwasserverordnung, das Bodenschutzgesetz und die entsprechenden EG Richtlinien zum Umweltschutz zerreißen und der Verwertung zuführen, falls sie nicht sogar wieder auf den neuen Hausmülldeponien abgelagert werden dürfen.

Ist eigentlich die Frage "Deponieoberflächenabdichtungssysteme - einfacher oder perfekter?" beantwortet?

7 Hinweise auf Fachliteratur

ATUS, 1997

Entwicklung eines Verfahrens zur Reduzierung diffuser Deponiegasemissionen und Optimierung des Nachbetriebes einer Altdeponie durch Abdeckung und geregelte Wasserzuführung.

Ingenieurgesellschaft für Abfalltechnik und Umweltschutz (ATUS) mbH, 2009 Hamburg

Gefördert von der DBU, Förderbereich I.2.2, AZ 10891

Berger, K. und Miehlich, G.; 1997-1998

bmb+f Forschungsvorhaben "Validierung und Anpassung des Simulationsmodells HELP zur Wasserhaushaltsberechnung von Deponien für deutsche Verhältnisse. Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg. Internet:

<http://www.geowiss.uni-hamburg.de/i-boden/>. Abschlußbericht 1. Hj. 1999 zu erwarten

Berger, K. und Sokollek, V., 1997

Sind qualifizierte Abdeckungen von Altdeponien unter den gegebenen klimatischen Voraussetzungen der BRD sinnvoll bzw. möglich. In: Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 103. Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten. Hrsg. Egloffstein/Burkhardt. Erich Schmidt Verlag, 1997

Bothmann, P., 1998

Stand des Deponierückbaus - Erfahrungen und Empfehlungen. In: Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Bd. 69: Zeitgemäße Deponietechnik 1998. Erich Schmidt Verlag, 1998

EG RILI, 1998

Richtlinie des Rates der EG über Abfalldeponien (Entwurf). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften vom 30.10.1998, Dokument 98/C 333/02

Verfügbar im Internet auch unter <http://www.deponie-stief.d>

LK Rotenburg (Wümme) und Stegman et.al., 1999

Aerob in-situ-Stabilisierung von Altdeponien und Altablagerungen. Förderungsantrag an den bmb+f/PT AWAS im Umweltbundesamt

Stief, K., Engelmann, B., 1998

Geforderte Maßnahmen bei der Stilllegung von Altdeponien - Kostentreibende Willkür oder Notwendigkeit?

Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis Bd. 107, Hrsg. Stief, K., Engelmann, B.

Erich Schmidt Verlag, 1998

mit folgenden Beiträgen:

Stief, Klaus

Ist das Gefahrenabwehrprinzip statt des Vorsorgeprinzips bei der Bewertung von Altdeponien verantwortbar und ein Hilfsmittel für Betreiber von Altdeponien zur Lösung finanzieller Probleme?

Hachen, J.

Maßnahmen zur Nachrüstung und Nachsorge von Altdeponien - Anpassung an den Stand der Technik oder schutzgutbezogene Gefahrenabwehr?

Schneider, Theo

Gründe für den Weiterbetrieb von Deponien (Altdeponien nach TASI) über das Jahr 2005 hinaus am Beispiel der Zentraldeponie der Landeshauptstadt Hannover

Stock, U

Brandenburger Regelungen zur Sicherung von stillgelegten Altablagerungen auch auf Altdeponien übertragbar

Wicke, Lutz

Anwendung des Schwerpunktprinzips bei der Stilllegung von Deponien oder: Der tatsächliche Schutz der Umwelt durch umweltverträgliche und kostengünstige Oberflächenabdichtungen!

Kersting, Andreas

Die Grundwasserverordnung vom März 1997 - Ein wirksames Instrument zur beschleunigten Stilllegung von nicht oder nur teilweise abgedichteten Altdeponien?

Anonym

Verordnung zur Umsetzung der Richtlinie 80/68/EWG des Rates vom 17. Dezember 1979 über den Schutz des Grundwassers gegen Verschmutzung durch bestimmte gefährliche Stoffe (Grundwasserverordnung) Vom 18. März 1997 Bundesgesetzblatt Teil I, 1997, Nr. 18, Bonn 21. März 1997, Seite 542-544

Dörhöfer, Gunter

Möglichkeiten und Probleme bei der Feststellung und Bewertung von Grundwasserbeeinträchtigungen im Umfeld von Altdeponien

Müller, Werner

Sind Kunststoffdichtungsbahnen mit und ohne Leckdetektion als Deponieoberflächenabdichtungen für Altdeponien technisch vertretbar

Melchior, Stefan

Ansätze zur Gestaltung und Dimensionierung von Rekultivierungsschichten in Abdecksystemen für Altdeponien

Urban-Kiss, Stepanka

Entscheidung über Deponieoberflächenabdichtungssysteme bei Altdeponien aufgrund standortspezifischer Gegebenheiten, dargestellt anhand von Beispielen

Rettenberger, Gerhard

Klimagefährdung durch Deponiegasemissionen aus Altdeponien ohne Oberflächenabdichtung

Heyer, K.-U., Leikam, K., Stegmann, R.

Beschleunigung der In-Situ-Stabilisierung von Altdeponien oder Mumifizierung?

Engelmann, Bernd

Zum Verhältnis von Oberflächenabdichtungen und temporären Abdeckungen von Hausmülldeponien¹

Urban-Kiss, Stepanka

Abschätzung der Nachsorgekosten und Kalkulation der Rückstellungen für die Deponie Kahlenberg

Wöbbeking, K. H.

Ganzeheitliche Deponiekalkulation - Berechnungsmodell

Markwardt, N, 1998

Der Einfluß von Rekultivierungsschichten auf den Wasserhaushalt von Oberflächenabdichtungssystemen.

In: Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 109: Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten '98.

Hrsg. Egloffstein/Burkhardt/Czurda. Erich Schmidt Verlag, 1998

Melchior, S.:

Ansätze zur Gestaltung und Dimensionierung von Rekultivierungsschichten in Abdecksystemen für Altdeponien und Altlasten. In: Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz (Hrsg.): Geforderte Maßnahmen bei der Stilllegung von Altdeponien - Kostentreibende Willkür oder Notwendigkeit. UTECH-Umwelttechnologieforum. Seminar 1, Berlin, S. 91-111, 1998

Melchior, S.:

In-situ Untersuchungen zur Wirksamkeit von Oberflächenabdichtungen. In: Stegmann, R. Rettenberger G. (Hrsg.): Entwicklungstendenzen in der Deponietechnik. S. 179-196, Bonn (Economica) 199

Schultheis, A. und Steinbach, D.

Umweltauswirkungen von Oberflächenabdichtungen zur Sicherung von Altablagerungen mit überwiegendem Hausmüllanteil. Studie im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg.

Im Internet unter http://www.uni-stuttgart.de/UNLuser/siwa/sia/projekte/pro_td1.htm.

Kontakt: schultheis@iswa.uni-stuttgart.de oder steinbach@iswa.uni-stuttgart.de

Anschrift des Autors

Dipl.-Ing. Klaus Stief WissD a.D., Nikolaus-Bares-Weg 78, D 12279 Berlin

Telefon: (030)7211576, Fax: (030)72320580

E-Mail: deponie.stief@t-online.de

Internet Homepage *DeponieOnline* unter <http://www.deponie-stief.de>

¹ Vortrag bei der SKZ-Tagung "Die sichere Deponie" in Würzburg, Februar 1998