

**N Aufgaben, Verantwortung und Beauftragung
der Fremdprüfung bei der Planung und bei der
Ausführung von Deponieabdichtungssystemen**

Prof. Dr.-Ing. Horst Düllmann, Aachen

Aufgaben, Verantwortung und Beauftragung der Fremdprüfung bei der Planung und bei der Ausführung von Deponieabdichtungssystemen

1 Vorbemerkungen

Die Erstellung von Deponieabdichtungssystemen zur Einkapselung von Neuanlagen oder Altlasten gehört zu den zentralen Aufgaben der Deponietechnik. Abdichtungssysteme übernehmen damit eine wichtige Aufgabe im gesamten Planungskonzept. Durch Reduzierung der Wahrscheinlichkeit von Material- und Herstellungsfehlern wird gleichzeitig die Sicherheit erhöht für die Schutzgüter Gesundheit der Menschen, Flora und Fauna sowie die Umweltmedien Wasser, Boden und Luft. Qualitätssicherung ist somit ein wesentliches Element des Gesamtsicherheitskonzeptes von Deponien [1]. Damit ein Abdichtungssystem die ihm zugewiesene Funktion auch erfüllen kann, ist neben fach- und materialgerechter Planung eine konsequente Qualitätssicherung durch Qualitätskontrolle erforderlich. Die Qualitätssicherung hat hierbei die Aufgabe eine organisierte, systematische und koordinierte Überwachung von der Planung über die Ausführung bis zum Betriebsabschluss zu entwickeln und konsequent durchzusetzen. Ihr kommt auch rechtliche und vertragsrechtliche Bedeutung zu, da nur auf diese Weise sichergestellt werden kann, dass auf der einen Seite der Eigentümer bzw. der Betreiber eine planmäßige und den Auflagen entsprechende Anlage erhält und außerdem, dass die Erfüllung der Vertragsverhältnisse zwischen Bauherrn und Unternehmer objektiv nachprüfbar ist und klare Abnahmebedingungen definiert werden können. In diese Qualitätskontrollen sind nicht nur die mineralischen Dichtungsschichten einschließlich Kunststoff-Dichtungsbahnen eingeschlossen, sondern sie sind auszudehnen auf anschließende Schichten wie z. B. Schutz- und Filterschichten sowie das Deponieauflager und Kontroll- und Entwässerungssysteme.

Diese Überlegungen sind nicht grundsätzlich neu, sie wurden von mir in ähnlicher Form bereits 1992 auf der 8. Fachtagung „Die sichere Deponie“ hier in Würzburg [2] angestellt. Damit könnte man zu dem naheliegenden Schluss kommen, alles Wesentliche zur Qualitätssicherung sei ja bereits gesagt und von den am Deponiebau Beteiligten verstanden und verinnerlicht worden.

Dies trifft in der Deponie-Wirklichkeit leider nicht zu. In einer Zeit, in der die Leistungen eines Systems und auch die Leistungen von Fachingenieuren zunehmend unter Kostendruck geraten – an die Stelle des Leistungswettbewerbs tritt immer mehr der Preiswettbewerb – ist es mir ein persönliches Anliegen, die Aufgaben der Qualitätssicherung und hier insbesondere die des Fremdüberwachers an dieser Stelle noch einmal in ihren wesentlichen Elementen zu verdeutlichen. Voransstellen möchte ich meine wiederholt formulierte und ich meine nach wie vor zutreffende These, dass Qualitätssicherung nachgewiesenermaßen die wirtschaftlichste Methode ist die Sicherheit einer Deponie zu erhöhen. Wer die genannten Schutzziele und Schutzgüter ernst nimmt, muss eine uneingeschränkt positive Einstellung zur Qualitätssicherung und hier insbesondere auch zur Leistung des Fremdprüfers entwickeln.

2 Organisation der Qualitätssicherung

Die Fremdprüfung ist in Ergänzung zu der Eigenprüfung durch den Hersteller oder ein von ihm beauftragtes Ingenieurbüro oder Institut das wesentliche Element eines in der Regel mindestens 2-stufigen Prüfverfahrens. Die zuständige Behörde hat darüber hinaus die Arbeiten zu überwachen, sie hat sich u. a. davon zu überzeugen, dass der Fremdüberwacher ordnungsgemäß arbeitet. Die einschlägigen Richtlinien (z. B. NRW-Richtlinie Nr. 18 [3], BAM-Richtlinien [4,5,6]) sehen zwar grundsätzlich auch ggfs. notwendige weitere stichprobenartige Prüfungen durch die Überwachungsbehörde selbst oder durch einen von ihr beauftragten sog. behördlichen Überwacher vor, dies ist in der Deponiepraxis aber relativ selten und bei einer Auswahl qualifizierter Eigen- und Fremdprüfer (s. a. Abschn. 5) i. d. R. auch nicht erforderlich. Das 2-stufige Prüfverfahren, das im klassischen Erdbau seit Jahrzehnten mit Erfolg eingesetzt wird, hat sich auch im Deponiebau ohne Einschränkungen bewährt.

3 Aufgaben und Verantwortung des Fremdprüfers

Die Aufgaben des Fremdprüfers sind umfassend und beispielhaft in der BAM-Richtlinie von 2005 [5] bezogen auf den kunststofftechnischen Bereich beschrieben worden, sie lassen sich - mit gewissen Einschränkungen und Modifikationen - aber auch auf mineralische Systemkomponenten übertragen.

Danach kontrolliert und ergänzt die Fremdprüfung auf der Grundlage rechtlicher und genehmigungsrechtlicher Bestimmung und Vorgaben (Bescheide) im Einvernehmen mit der zuständigen Behörde im Rahmen des gesamten Qualitätsmanagements die Eigenprüfung der bauausführenden Firmen und unterstützt in besonderen Fällen auch die Bauüberwachung des Bauherren. Eine Erweiterung der Zuständigkeit auf die Kontrolle der Unterlagen über die Eigen- und Fremdüberwachung der Produktion von Kunststoffkomponenten und –bauteilen oder von speziellen mineralischen Abdichtungsmaterialien und deren stichprobenartige Überprüfung ist dagegen zu weitgehend. Das Herstellerwerk (z. B. Hersteller von Kunststoff-Dichtungsbahnen, geosynthetischen Tondichtungsbahnen, Deponieasphalten oder speziellen Mineralgemischen) unterliegt ja in der Regel bereits einer qualifizierten Eigen- und Fremdüberwachung. Prüfvorgaben und -rhythmen hierfür werden ebenfalls bereits in entsprechenden Regelwerken und Prüfvorschriften detailliert vorgegeben. Zusätzlicher Überprüfungs- bzw. Überwachungsaufwand wird deshalb nicht gesehen und sollte in keinem Fall auf die Fremdprüfung der Baustelle übertragen werden. Hier ist eine strikte Trennung zwischen Fremdüberwachung und Fremdprüfung vorzunehmen, die sich in der Praxis auch bewährt hat. Lediglich in begründeten Ausnahmefällen sollte hiervon abgewichen werden.

Durch den Fremdprüfer als eingeschalteten unabhängigen Dritten ist zu dokumentieren, dass das Abdichtungssystem in der geplanten und erforderlichen Qualität hergestellt wurde.

Zu den Aufgaben des Fremdprüfers zählen insbesondere nach [2] im Einzelnen:

die fachtechnische Prüfung des Genehmigungsantrages sowie der Ausschreibungs- und Ausführungsunterlagen im Vorfeld der Baumaßnahme. Dies setzt zweckmäßigerweise eine Beauftragung der fremdprüfenden Stelle bereits in der Planungsphase voraus,

die Mitwirkung bei der Aufstellung der projektbezogenen Qualitätssicherungspläne (QS),

die Durchführung der baubegleitenden Kontrollen und Prüfungen einschließlich Probefeld entsprechend dem QS-Plan,

die Dokumentation der Ergebnisse aller Qualitätssicherungsmaßnahmen (Eigen- und Fremdprüfung) und deren Beurteilung in einem abschließenden Bericht in eindeutiger und nachvollziehbarer Weise.

Die Leistungen des Fremdprüfers nach Ziffer 1 – 4 sind zeitnah und projektnah zu erbringen und müssen neben der reinen Kontrollfunktion primär darauf ausgerichtet sein den gesamten Bauablauf zu unterstützen. Der Fremdprüfer ist damit aktiv in den gesamten Bauprozess integriert, was natürlich nicht so weit gehen darf, dass er Bauleitungsfunktionen übernimmt.

4 Qualifikation und Ausstattung

Hinsichtlich der allgemeinen und personellen Anforderungen sowie Anforderungen an Einrichtung und Geräte sind sehr weitgehende Festlegungen in der BAM-Richtlinie von 2005 [5] für den Bereich Einbau von Kunststoffkomponenten und -bauteilen getroffen worden. Es wird darin nicht nur eine Akkreditierung als Fremdprüfende Stelle nach dem Standard der DIN EN ISO/IEC 17020:2004-11: „Allgemeine Kriterien für den Betrieb verschiedener Typen von Stellen, die Inspektionen durchführen“, gefordert sondern die Fremdprüfende Stelle vom Typ A oder C mit ausdrücklichem Bezug auf die Richtlinie muss auch über ein eigenes, nach den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025:2000-04: „Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien“ akkreditiertes Prüflabor verfügen.

Hinsichtlich der Qualifikation des Personals wird zwischen dem verantwortlichen Fremdprüfer (Projektleiter) und dem Fremdprüfer vor Ort (Techniker, technischer Assistent) unterschieden und die Qualifikationsmerkmale sehr genau spezifiziert.

Prüfstellen und Prüflabore, die die genannten Voraussetzungen erfüllen und dies durch eine gültige Akkreditierung nachweisen, sind zudem in einer von der BAM veröffentlichten Liste zusammengestellt [7]. Die in der Liste erfassten Institutionen sind grundsätzlich dann einzusetzen, wenn eine BAM -zugelassene Dichtungsbahn eingebaut wird. Es darf in diesem Zusammenhang aber nicht übersehen werden, dass die Verknüpfung der Fremdüberwachenden Stelle mit einem eigenen akkreditierten Prüflabor ein Problem darstellt und - ohne Übertreibung - auch als rechtlich unzulässiger Eingriff in die Marktwirtschaft gewertet werden kann. Die Fremdprüfung erfolgt durch die Überwachungstätigkeit der Inspektionsstelle vor Ort sowie durch die begleitenden Laboruntersuchungen der durch die Inspektionsstelle vor Ort entnommenen Proben der Prüflabors. Die Qualitätssicherung ist gewährleistet, wenn sowohl die Inspektionsstelle als auch das Prüflabor akkreditiert sind. Da die Bewertung der Laboruntersuchungen der Inspektionsstelle obliegt und das Prüflabor nur auf die Baustelle bezogen i. d. R. unkommentierte Ergebnisse der Inspektionsstelle übergeben muss, könnte auch ohne Qualitätseinbußen ein externes akkreditiertes Prüflabor – gegebenenfalls auch nur für Einzelversuche – im Unterauftrag von der Inspektionsstelle eingeschaltet werden.

Ein auch nur annähernd vergleichbares und weitgehendes Akkreditierungssystem ist für die Prüfung mineralischer Dichtungs- und Systemkomponenten bisher nicht eingeführt und auch in Zukunft nicht zu erwarten. In der Richtlinien Nr. 18: Mineralische Deponieabdichtungen [3] des Landes NRW wird z. B. lediglich ausgeführt, dass mit der Eigen- und/oder Fremdprüfung jeweils nur ein solches Institut/Ingenieurbüro zu beauftragen ist, das einen geotechnisch qualifizierten Fachmann (Fachfrau) mit vertieften Kenntnissen auf dem Gebiet der Deponietechnik mit diesen Aufgaben betraut. Auch die TA Abfall und die TASI [8,9] sowie die DepAbIV [10] gehen über diese Anforderung nicht hinaus. Der Zusatz „anerkannt“ ist dabei nicht vergleichbar mit dem Akkreditierungsverfahren im Kunststoffbereich und hat auch nichts – wie oft irrtümlich angenommen – mit der Anerkennung als Baugrundinstitut nach DIN 1054 [11] zu tun. Dennoch ist nicht zu übersehen, dass in letzter Zeit wegen der sich abzeichnenden Entwicklung im europäischen Rahmen einzelne Baugrundlabore oder Baustoff-Prüfstellen auf freiwilliger Basis Akkreditierungsverfahren begonnen und in Einzelfällen abschlossen haben. Eine wie auch immer geartete rechtliche Verpflichtung, ob als Richtlinie oder Verordnung existiert dazu z.Zt. jedoch nicht und sie ist auch mittelfristig nicht zu erwarten.

In der Praxis werden die Fremdprüferleistungen in der Regel getrennt nach den einzelnen Arbeitsschwerpunkten ausgeführt, einzelne Prüforganisationen decken aber auch beide Arbeitsbereiche ab, was in der Abwicklung zu Vereinfachungen und auch zu wirtschaftlichen Vorteilen führen kann, zumal die unterschiedlichen Fremdüberwachungsleistungen sich in Teilbereichen ohnehin überschneiden und Kenntnisse beider Arbeitsbereiche voraussetzen. Die in letzter Zeit vereinzelt erhobene Forderung, beide Fremdprüferleistungen aus Gründen der Unabhängigkeit grundsätzlich getrennt auszuführen ist sehr vordergründig, sachlich nicht zu begründen und in ihrer Zielrichtung zudem noch sehr durchsichtig.

5 Beauftragung von Fremdprüferleistungen, Auftragsumfang, Vergütung

Generell ist anzumerken, dass im Organisationsschema der Qualitätssicherung die Fremdprüfende Stelle eng mit der zuständigen Genehmigungs- und Überwachungsbehörde zusammenarbeitet. Dies begründet jedoch nicht die immer wieder auflebende Forderung, die Beauftragung müsse grundsätzlich durch die Behörde selbst erfolgen. Die Beauftragung der fremdprüfenden Stelle ist abhängig von den unterschiedlichen Geflogenheiten der einzelnen Bundesländer und Bezirksregierungen und wird in der Praxis auch unterschiedlich gehandhabt.

Praktikabel und praxisgerecht ist die Lösung, dass die Beauftragung durch den Bauherrn und mit Zustimmung der Zulassungsbehörde erfolgen muss. Die Genehmigungsbehörde sollte dabei auch stärker von ihrem Recht Gebrauch machen, für das konkrete Projekt die wesentlichen Inhalte des Überwachungsvertrages einzusehen und diese auch auf Angemessenheit zu überprüfen. Um der gestellten Aufgabe gerecht werden zu können, müssen nach Art und Umfang bestimmte wirtschaftliche Rahmenbedingungen erfüllt werden. Hier erwartet der Fremdprüfer eine entsprechende Überstützung.

Eine immer wiederkehrende Frage bei der Erbringung von Fremdprüferleistungen ist die der erforderliche Präsenz des Fremdprüfers auf der Baustelle, weil sie am stärksten in die Vertragsgestaltung und damit auch in die Kosten eingreift. Generell sollte und muss davon ausgegangen werden, dass bei der Ausführung qualitätsbestimmender Arbeiten eine ständige fachtechnische Überwachung durch den Eigen- und Fremdprüfer zu erfolgen hat. Qualitätskontrollen durch den Fremdprüfer haben die Abdichtung als Gesamtlieferung zu begreifen. Daraus resultiert die besondere Bedeutung der Überwachung des gesamten Herstellungsvorganges. Eine Beschränkung der Qualitätsprüfung im Rahmen der Fremdprüfung lediglich auf die Probennahme und die anschließende labortechnische Überprüfung einzelner Parameter reicht nicht aus. Nur die fremdprüfenden Stellen sollten für Prüfaufgaben herangezogen werden, die über die entsprechenden personellen und sächlichen Voraussetzungen hierfür verfügen, die Anforderungen gemäß Anhang E, Abschn. 3.2.2 der TA Abfall sind uneingeschränkt zu erfüllen.

Bei der Erbringung von Fremdprüferleistungen für ein konkretes Projekt ist absolute Unabhängigkeit zu gewährleisten. Die fremdprüfende Stelle muss rechtlich, wirtschaftlich und personell von den an der Planung und Herstellung des Deponieabdichtungssystems beteiligten Firmen unabhängig sein. Insbesondere darf die fremdprüfende Stelle nicht auch anderweitig mit Tätigkeiten zu den im QS-Plan erfassten Maßnahmen direkt oder indirekt beauftragt werden. Unternehmen, die Planungsleistungen, Eigen- und Fremdüberwachungsleistung bei einem Projekt über nur scheinbar von einander unabhängige Betriebseinheiten oder Tochterfirmen erbringen, erfüllen diesen Unabhängigkeitsanspruch nicht.

Ein weiteres Problem ist die Ausschreibung und Vergütung von Fremdprüferleistungen. Die zunehmend im Trend liegende Pauschalierung der Gesamtleistung wird den hohen Anforderungen und der Qualifikation der Fremdprüfer für das Einzelgewerk oder auch für die Gesamtleistung nicht gerecht. Nicht nur die Bauverträge der ausführenden Baufirmen sondern auch die der Eigen- und Fremdprüfer haben deshalb den hohen Anforderungen an die Qualität zu entsprechen.

Die Prüfung des Entwurfs, die örtliche Überwachung sowie Prüfleistungen im Zusammenhang mit Standsicherheitsfragen sowie Laborleistungen lassen sich eben nicht in einem Pauschalpreis pro m² fertige Dichtung anbieten, hier ist eine qualifizierte Aufschlüsselung in Einzelpositionen mit realistisch abgeschätzten Vordersätzen unerlässlich. Bei dieser Vorgehensweise und bei klaren Qualitätsvorgaben für das zu erstellende Gewerk und auch an die mit Qualitätsprüfung beauftragten Institutionen seitens des Auftraggebers bleiben die möglichen Schwankungsbreiten in den Angebotspreisen in einer vertretbaren tolerablen Größenordnung. Pauschalierungen zu einem Mindest- oder „Billigst“-Preis verstoßen dem Grundsatz nach eigentlich gegen die Unabhängigkeit des Prüfers und führen zwangsläufig auch zu einem Unterlaufen der in den Richtlinien (s.a. Abschn. 4) fixierten allgemeinen und personellen Anforderungen sowie Anforderungen an Einrichtungen und Geräte. Es kann nicht sein, dass das wirtschaftliche Ergebnis, Gewinn oder Verlust, von dem Leistungsvermögen oder -unvermögen der ausführenden Firmen abhängig ist. Hier sind faire, an die jeweilige Bauaufgabe angepasste Bedingungen zwischen AG und Fremdprüfer zu vereinbaren.

6 Verfügbare Standards- Deponiewirklichkeit

Aus den Ausführungen in den Abschnitten 1 bis 5 folgt, dass wir nicht nur seit Jahren über sehr fortgeschrittene, allgemein anerkannte Standards hinsichtlich Planung, Bau und Betrieb von Deponien verfügen sondern auch im Hinblick auf die Qualitätssicherung beim Einbau der Sicherheitselemente, dies gilt sowohl für mineralische Komponenten als auch für Elemente aus Geokunststoffen. Aufgrund der Entwicklungsgeschichte einzelner Deponien ist für viele Ablagerungsbereiche in der BRD jedoch die in den Technischen Anleitungen festgeschriebene Sicherheitsphilosophie einfach nicht vorhanden und sie kann auch nachträglich nicht mehr in vollem Umfang installiert werden. Verschärft wird die Situation durch Entwicklungen, die nach 2005 entstanden sind. Häufig wird ein geordneter zeitnaher Deponeabschluss und vor allem eine geordnete Nachsorge kaum möglich sein. Hier ergeben sich für die privaten und öffentlichen Entsorgungsunternehmen z.T. unüberwindbare Probleme, vor allem weil einerseits die nötigen Abfallmengen fehlen und andererseits für den geordneten Abschluss sehr viel Geld angefasst werden muss, das nicht oder nicht mehr zur Verfügung steht. Dieser wirtschaftliche Druck führt zunehmend dazu, dass allgemein anerkannte und bewährte Standards in Frage gestellt werden. Standards auf ihre Aktualität und auch technische Zweckmäßigkeit von Zeit zu Zeit zu überprüfen und auch fortzuschreiten ist legitim.

Wenn aber erkennbar wird, dass – dies gilt insbesondere für Materialkonzepte und Überprüfungsstrategien im Rahmen der Qualitätssicherung – Alternativen und die damit vorgelegten Gleichwertigkeitsnachweise und Begründungen häufig allein den Zweck verfolgen nicht eine technisch gleichwertige oder sogar bessere Lösung vorzuschlagen, sondern ausschließlich die Kosten zu senken, wird dieses Vorgehen äußerst bedenklich und kontraproduktiv.

Wer, wie von einem Bauherrenvertreter auf dem letzten Deponieseminar in Karlsruhe (2005) vorgetragen, in sehr negativer Form von der (zu) großen Zahl der in das Projekt eingebundenen Qualitätsüberwacher sprach, die nur ein Ziel hätten, nämlich Geld zu verdienen, hat die Rolle der Qualitätssicherung nicht begriffen. Gleiches gilt für am Deponiebau Beteiligte, die nicht BAM-zugelassene Dichtungsbahnen oder sonstige qualitätsgesicherte Werkstoffe für die Projekt favorisieren, nur weil sie vom Material her kostengünstiger sind und bei ihrer Verarbeitung ggf. auch auf die besondere Qualifikation der von der BAM gelisteten Fremdprüfer verzichtet werden kann. Dass man sich im Deponie in der Vergangenheit häufig eher an der unteren Anforderungsgrenze bewegt hat ist jedem in die Deponiepraxis Eingeweihten bekannt, der zunehmende Versuch der Unterschreitung eigentlich allgemein anerkannten Standards ist eine neue Erfahrung und Qualität.

Ich komme noch einmal auf mein Eingangsstatement zurück: Bei richtiger Organisation ist die 2-stufig installierte Qualitätssicherung die wirtschaftlichste Methode die Deponiesicherheit zu erhöhen. Bei dem o.a. Rollenverständnis ist es nicht mehr verwunderlich, dass man als Lösung des Problems „Kosten“ die Pauschalierung auf einem häufig nicht mehr kostendeckenden Niveau für eine hoch verantwortliche Ingenieurleistung sieht. Um hier gegenzusteuern sind aber nicht nur Auftraggeber sondern auch die Anbieter von Prüfleistungen selbst gefordert. Bei allem Verständnis für die augenblickliche wirtschaftliche Situation muss der Leistungswettbewerb wieder den Vorrang vor einem ausschließlichen Preiswettbewerb erhalten.

Literaturverzeichnis

- [1] DÜLLMANN, H. (2002) – Schutzziele und Sicherheit von Deponien. Mitt. Ing- und Hydrogeologie, RWTH Aachen, Heft 80, S. 103 – 113.
- [2] DÜLLMANN, H. (1992) – Qualitätssicherung beim Einbau von Kombinationsdichtungen. 8. Fachtagung „Die sichere Deponie“, Würzburg, S. 131 – 145.
- [3] Abfallwirtschaft NRW (1993) – Mineralische Deponieabdichtungen, Heft Nr. 18, Landesamt für Wasser und Abfall NRW.
- [4] BAM (1999) – Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen für die Abdichtung von Deponien und Altlasten. 2. überarbeitete Fassung.
- [5] BAM (2005) – Richtlinie für Anforderungen an die Qualifikation und die Aufgaben einer fremdprüfenden Stelle beim Einbau von Kunststoffkomponenten und –bauteilen. 3. überarbeitete Fassung.
- [6] BAM (1995) – Anforderungen an die Schutzschicht für die Dichtungsbahn in der Kombinationsdichtung. – Zulassungsrichtlinie für Schutzschichten.
- [7] BAM (2005) – Liste fremdprüfender Stellen, die die Anforderungen der Richtlinie nach [5] erfüllen.
- [8] TA Abfall (1991) – Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen. Bundesanzeiger.
- [9] TA Si (1993) – Technische Anleitung Siedlungsabfall – Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen. Bundesanzeiger.
- [10] AbfAbIV (2002) – Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen, BGBl. I, S. 305, Febr. 2001, zuletzt geändert am 24. Juli 2002 (BGBl. I, S. 2820).
- [11] DIN 1054 (1976) – Baugrund; zulässige Belastung des Baugrundes.
- [12] DÜLLMANN, H. (1989) – „Qualitätssicherung durch Qualitätskontrolle“ – ein wesentliches Element des Sicherheitskonzeptes von Deponien. Mitt. Ing.- und Hydrogeologie, RWTH Aachen, Heft 32, S. 415 – 444.
- [13] GDA-Empfehlungen (1997) – Geotechnik der Deponien und Altlasten. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT), 3. Auflage. Verlag Ernst & Sohn.

