

LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnische Vollzugsfragen“

Allgemeine Grundsätze für die Eignungsbeurteilung von Abdichtungskomponenten der Deponieoberflächenabdichtungssysteme

10.09.2004

Inhaltsverzeichnis

1. Zielsetzung und Anwendungsbereich.....	3
2. Anforderungen an die Leistungsfähigkeiten und Nachweise	4
2.1 Dichtigkeit	6
2.2 Mechanische Widerstandsfähigkeit.....	7
2.3 Beständigkeit	9
2.4 Herstellbarkeit.....	14
2.5 Sonstige Anforderungen.....	16
3. Qualitätsmanagement.....	18
3.1 Allgemeines	18
3.2 Qualitätsmanagement bei der Herstellung von Abdichtungsprodukten	19
3.3 Qualitätsmanagement bei der Herstellung der Abdichtung	20
3.4 Qualitätsmanagementplan.....	21
4. Literatur	22

1. Zielsetzung und Anwendungsbereich

Deponien müssen so errichtet, betrieben und abgeschlossen werden, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird [1.1]. Hierzu bedarf es u.a. besonderer Abdichtungsmaßnahmen, die unter Berücksichtigung des vorhandenen Schadstoffpotenzials der eingelagerten Abfälle einen ausreichenden Schutz von Boden und Grundwasser gewährleisten müssen.

In Umsetzung der allgemeinen Forderungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) [1.1] enthalten die Deponieverordnung (DepV) [1.3] und die Verwaltungsvorschriften TA-Abfall [1.4] und TA-Siedlungsabfall (TASi) [1.5] u. a. Anforderungen an die erforderlichen Abdichtungsmaßnahmen nach dem Stand der Technik. Für verschiedene Deponieklassen, die sich hinsichtlich der Zuordnungswerte für den abzulagernden Abfall unterscheiden, werden dort Regelabdichtungssysteme für die Deponiebasis und die Deponieoberfläche beschrieben. Eine umfassende Beschreibung der Abdichtungseigenschaften der Regelabdichtungssysteme in Form quantitativer Anforderungen erfolgt jedoch nicht.

Nach Anhang 1 DepV können alternative Abdichtungen verwendet werden, wenn es sich in Bezug auf die Regelabdichtung um gleichwertig Komponenten oder um eine gleichwertige Kombination von Systemkomponenten handelt. Nr. 9.4.1 TA Abfall und Nr. 10.4.1 TASi lassen ebenfalls gleichwertige Lösungen zu. Die Gleichwertigkeit alternativer Systemkomponenten ist jeweils nachzuweisen.

Im Auftrag der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) hat der Abfalltechnische Ausschuss (ATA) die LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnische Vollzugsfragen“ (im folgenden „Ad-hoc-AG“) eingerichtet. Aufgabe der Ad-hoc-AG ist es u. a., anlassbezogen und objektunabhängig die Eignung von Komponenten der Deponieabdichtungssysteme zu beurteilen, für die keine Eignungsbeurteilung durch die Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) in Berlin oder eine andere bundeseinheitlich bestimmte Stelle vorgenommen wird.

Mit der Eignungsbeurteilung ist sicherzustellen, dass die abfallrechtlichen Anforderungen zum geforderten Schutzes des Wohls der Allgemeinheit erfüllt werden. Da diese Anforderungen in den Rechtsvorschriften nur allgemein formuliert sind, müssen sie soweit konkretisiert werden, dass entsprechende Eignungsnachweise erbracht werden können.

Auf absehbare Zeit werden sich Baumaßnahmen an Deponien vorwiegend auf Oberflächenabdichtungen beschränken. Daher bezieht sich dieses Papier - im folgenden "Allgemeine Grundsätze" genannt - ausschließlich auf Oberflächenabdichtungen.

Nachfolgend werden Anforderungs- und Bewertungsmaßstäbe für Deponieabdichtungen in Form materialunabhängig formulierter Grundsätze definiert. In ihnen sind die abfallrechtlichen Anforderungen gemäß [1.1, 1.3, 1.4, 1.5] berücksichtigt. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Bestimmungen der TASi, der TA Abfall, der DepV und der Abfallablagereverordnung (AbfAbIV) [1.2] hinsichtlich der für die einzelnen Deponieklassen festgelegten Zuordnungswerte des abzulagernden Abfalls einschließlich der Übergangsregelungen sowie

hinsichtlich der Organisation, des Betriebes und der Kontrolle der Deponie eingehalten werden.

Die "Allgemeinen Grundsätze" sind die Grundlage für die Bewertung von Abdichtungskomponenten in Deponieabdichtungssystemen im Rahmen der Eignungsbeurteilung für gleichwertige Systemkomponenten i. S. Anhang 1 DepV durch die Ad-hoc-AG.

Mit der objektunabhängigen Eignungsbeurteilung durch die Ad-hoc-AG wird festgestellt, dass die Leistungen der alternativen Abdichtung den Leistungen der entsprechenden Komponenten bzw. Systems der Regelabdichtung i. S. der DepV gleichwertig sind. Dies setzt voraus, dass die Abdichtungen unter allen den für die Eignungsbeurteilung zu Grunde liegenden Randbedingungen verwendet werden. In der Eignungsbeurteilung müssen daher die Voraussetzungen angegeben werden, unter denen sie als Bestandteil der Abdichtung zu verwenden sind.

Die Gleichwertigkeit einer alternativen Abdichtung wird projektbezogen durch die abfallrechtlich zuständige Behörde im Rahmen der Zulassung einer Deponie festgestellt. Eine objektunabhängige Eignungsbeurteilung der Ad-hoc-AG sollte von der zuständigen Behörde als Grundlage ihrer Entscheidung herangezogen werden. Unabhängig davon kann im Einzelfall von der zuständigen Behörde auch auf der Basis anderweitig vorgelegter Eignungsnachweise eine Zustimmung zur Verwendung alternativer Produkte erteilt werden

2. Anforderungen an die Leistungsfähigkeiten und Nachweise

Die erforderliche Leistungsfähigkeit von Komponenten einer alternativen Abdichtung wurde aufbauend aus den Grundsätzen des Deutschen Instituts für Bautechnik [2.1] auf der Grundlage der Leistungsfähigkeit der Regelabdichtungssysteme festgelegt. Die für die Eignungsbeurteilung von alternativen Abdichtungen maßgebenden Maßstäbe und Nachweisverfahren sind in Tabelle 1 zusammengestellt und werden nachfolgend erläutert.

Kriterien / Einwirkungen	Leistungsfähigkeit	Nachweise
Dichtigkeit	Permeationsraten DK I / II $q \leq 8 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ DK III $q \leq 8 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	k-Wert - Bestimmung nach DIN 18 130 Berechnung bei 30 cm Aufstau
Mechanische Widerstandsfähigkeit	dauerhaft standsicher bei Böschungsneigung 1 : 3	Scherkastenversuch
	verformbar bis Krümmungsradius 200 m ohne Erhöhung der Durchlässigkeit	Biegezugversuch
	hydraulisch widerstandsfähig (erosions- und suffosionsbeständig)	Körnungslinien
Beständigkeit	Langzeitbeständigkeit (>> 100 Jahre) der die Dichtigkeit maßgeblich beeinflussenden Komponenten	zeitraffende Reaktorsimulation mineralogische Analogien
	Dauerbeständigkeit der die Standsicherheit beeinflussenden Komponenten (> 1000 Jahre)	zeitraffende Reaktorsimulation mineralogische Analogien
	beständig gegen aggress. Niederschlagswasser (pH 4 – pH 11)	pH-stat-Verfahren [2.8]
	beständig gegen Mikroorganismen, Pilze (Erhöhung $c_{\text{org}} < 1 \%$)	Eingrabversuch
	beständig gegen Pflanzenwurzeln (Wurzelanteil < 1 Gew.-%)	Wurzeltest
	schrumpfrissunempfindlich bei relativer Wassergehaltsänderung von bis zu 10 Gew.-%	Trocknen
	deponiegasbeständig	Durchströmungsversuch
Herstellbarkeit	Die Errichtung muss unter Baustellenbedingungen mit Sicherheit erbringbar und reproduzierbar sein.	Probekbau / Versuchsfeld
Sonstige Kriterien (Hinweis: Erfüllung ist nicht in jedem Fall möglich und erforderlich, ggfs. ergänzende Maßnahmen und Elemente notwendig z.B. temporärer Frostschutz oder Kontrollelemente.	systemverträglich	Probekbau / Versuchsfeld Scherversuche
	kontrollierbar (DK III)	z. B. Stellungnahme der BAM
	frostsicher in der Bauphase	Frost-/Tauwechsel
	robust	Probekbau / Versuchsfeld
	umweltverträglich	Einhaltung der Zuordnungswerte abfallrechtlicher Vorschriften

Tabelle 1: Übersicht der erforderlichen Leistungsfähigkeiten und Nachweise

2.1 Dichtigkeit

2.1.1 Anforderungen an die Dichtigkeit gegenüber infiltriertem Niederschlagswasser

Bezogen auf eine 50 cm dicke mineralische Abdichtung nach DepV errechnen sich bei einer Aufstauhöhe von 30 cm folgende Permeationsraten:

Deponieklasse	Durchlässigkeitsbeiwert gemäß DepV	Permeationsrate
I und II	$k \leq 5 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$	$q \leq 8 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$
III	$k \leq 5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$	$q \leq 8 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$

Tabelle 2: maximal zulässige Permeationsraten

Die tatsächliche Aufstauhöhe wird in der Regel deutlich unter der für die Vergleichsberechnung angesetzten Aufstauhöhe liegen. Gleichwohl kann zeit- und bereichsweise eine solche Aufstauhöhe nicht ausgeschlossen werden, was u. a. auch durch die in den abfallrechtlichen Vorschriften vorgegebenen Dicke der Entwässerungsschicht zum Ausdruck kommt. Sie ist daher für einen objektunabhängigen Eignungsnachweis anzusetzen. Im übrigen ist darauf hinzuweisen, dass die angegebenen Permeationsraten keine Rückschlüsse auf die tatsächlich auftretenden Durchflussraten zulassen. Sie dienen lediglich als Vergleichswerte unter angenommenen Einwirkungen zum Nachweis der grundsätzlichen Eignung einer Abdichtung.

Die Anforderungen gelten für die Abdichtung im eingebauten Zustand.

Die geforderten Werte dürfen an keiner Stelle der Abdichtung überschritten werden. Sie müssen auch bei einer Randfaserdehnung, die sich bei einer Krümmung der Abdichtungskomponente mit einem Krümmungsradius R von 200 m ergibt, eingehalten werden.

2.1.2 Nachweis der Dichtigkeit

Beim Nachweis der Dichtigkeit ist grundsätzlich folgendes zu beachten:

- Die Dichtigkeit ist unter Berücksichtigung der maßgebenden Einwirkungen und Anforderungen nachzuweisen. Materialspezifische Besonderheiten sind zu berücksichtigen.
- Die Nachweise können durch Versuche und / oder Rechnungen erbracht werden. Der rechnerische Nachweis der Konvektion erfolgt für mineralische Abdichtungsschichten

unter Annahme eines gesättigten Porenraums mit Hilfe der Formel nach Darcy, wonach die Durchflussrate q proportional dem Durchlässigkeitsbeiwert k multipliziert mit dem hydraulischen Gefälle i ist ($q = k \cdot i$).

Folgende Größen werden für den rechnerischen Nachweis benötigt:

- Durchlässigkeitskoeffizient k
- hydraulisches Gefälle $i = h / d$
 - Druckhöhendifferenz h zwischen Ober- und Unterseite der Abdichtung
 - Schichtdicke d gemäß Systemaufbau zu bestimmen

Der rechnerische Nachweis der Dichtigkeit erfolgt mit einem k -Wert, der grundsätzlich für ein hydraulisches Gefälle von $i = 30$ zu bestimmen ist.

- Die Nachweise müssen die Materialeigenschaften einschließlich ihrer Streuungen berücksichtigen, wie sie sich nach dem bestimmungsgemäßen Einbau der Abdichtung ergeben. Die Anforderungen müssen an jeder Stelle der Abdichtung erfüllt sein.
- Ein qualitätsgesichertes Herstellungsverfahren muss die geforderten Eigenschaften sicherstellen (s. Nr. 3).
- Günstig wirkende ständige Auflasten können mit max. 15 kN/m^2 , ungünstig wirkende müssen mit mind. 60 kN/m^2 angenommen werden.
- Für die Bewertung der Dichtigkeit der Oberflächenabdichtung gegenüber infiltriertem Niederschlagswasser sind grundsätzlich Temperaturen von 0 °C bis 30 °C maßgebend.
- Ggf. mögliche Selbstheilungseffekte können berücksichtigt werden, wenn sie nachgewiesen werden [3.1].
- Es ist nachzuweisen, dass die in Tabelle 2 genannten Permeationsraten eingehalten werden.

2.2 Mechanische Widerstandsfähigkeit

2.2.1 Anforderungen an die mechanische Widerstandsfähigkeit

Während die Dichtigkeit von Systemkomponenten in vollem Umfang nach allen Erwartungen zwar für eine lange, aber nur begrenzte Zeit aufrecht erhalten werden kann, muss die Gefahr eines Bruches oder eines Abgleitens der Böschung dauerhaft vermieden werden, da dies zum einen eine Gefahr für Leib und Leben darstellen kann, zum anderen die angestrebte dauerhafte, ggf. mit der Zeit verminderte Dichtigkeit der Oberflächenabdichtung gänzlich aufhebt. Die Standsicherheit des Oberflächenabdichtungssystems muss also dauerhaft gewährleistet sein. Die Abdichtungskomponente darf keinen Veränderungen unterliegen, die die Standsicherheit in Frage stellt. Sofern Nachweise für einen bestimmten Zeit-

raum geführt werden, muss die Standsicherheit für einen Zeitraum von mindestens 1000 Jahren nachgewiesen werden.

Im Regelfall ist mit Böschungsneigungen bis 1 : 3 zu rechnen. Daher erfolgt die objektunabhängige Eignungsbeurteilung für diese Böschungsneigung.

Kann die dauerhafte Standsicherheit nur bei geringerer Böschungsneigung und / oder unter bestimmten Randbedingungen gewährleistet werden, dann sind diese anzugeben. Die Abdichtung kann dann nur innerhalb dieses Anwendungsbereiches als geeignet beurteilt werden.

Sofern entsprechende Nachweise geführt werden, kann auch eine Eignung für die Anwendung auf steiler als 1:3 geneigten Bereichen bescheinigt werden.

2.2.2 Mechanische Widerstandsfähigkeit

Im objektunabhängigen Eignungsnachweis sind die materialspezifischen bodenmechanischen Kenngrößen anzugeben. Diese sind durch Versuche zu ermitteln.

Dabei sind zu berücksichtigen:

- Porenwasserüberdrücke in den mineralischen Abdichtungsschichten sowie mögliche Kondensationsausscheidungen an den Schichtgrenzen
- die Auswirkung von aufstauendem Wasser bei den Einwirkungen und anzusetzenden Materialwiderständen,
- dynamische Lasten bei bestimmten Lastfällen und deren mögliche Auswirkung auf Materialwiderstände.

Haltende Mechanismen sind bei den Versuchen auszublenden, wenn sie beispielsweise durch Alterung nicht dauerhaft wirken.

Der objektunabhängige Eignungsnachweis bezieht sich grundsätzlich auf eine einzelne Systemkomponente. Der Nachweis der Standsicherheit des gesamten Oberflächenabdichtungssystems ist daher in der Regel projektbezogen nach den Regeln der Technik vorzunehmen. Auf die einschlägigen Normen und die diesbezüglichen Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ der DGGT [2.2] wird hingewiesen.

2.2.3 Verformbarkeit

Es ist durch Versuche nachzuweisen, bis zu welcher Verformungsgrenze die Anforderungen an die Dichtigkeit von einem Material erfüllt werden [2.2]. Dabei sind ggf. Einflüsse aus Wassergehaltsänderungen und Auflasten mit mindestens 15 kN/m² und maximal 60 kN/m² zu berücksichtigen. Zur Ermittlung von Grenzdehnungen können Zug- oder Biegezugversuche vorgenommen werden. Wegen der ggf. großen Streuungen kommt der geeigneten Festlegung der charakteristischen Werte von Grenzdehnungen als vorsichtig abgeschätzte Mittelwerte aus einer ausreichenden Anzahl von Einzelversuchen besondere Bedeutung zu [2.2].

2.2.4 Hydraulische Widerstandsfähigkeit

Die hydraulische Widerstandsfähigkeit gegenüber Erosions- und Suffosionsvorgängen muss dauerhaft und auch bei einem bereichsweisen Volleinstau der Entwässerungs- und der Rekultivierungsschicht gewährleistet sein.

Die dauerhafte Erosions- und Suffosionsbeständigkeit des Materials ist für eine Aufstauhöhen von 150 cm nachzuweisen. Sofern aufgrund des vorhandenen Kornaufbaus dieser Nachweis nicht geführt werden kann, sind gemäß dem Stand der Technik ausreichend dimensionierte, langfristig wirksame Filterschichten vorzusehen.

2.3 Beständigkeit

2.3.1 Allgemeines

Im Hinblick auf die Dichtigkeit (Nr. 2.1) und mechanische Widerstandsfähigkeit (Nr. 2.2) spielt die Beständigkeit der hierfür erforderlichen Materialeigenschaften eine wichtige Rolle.

Unter der Forderung nach Beständigkeit wird hier ein Materialverhalten verstanden, bei dem sich unter den maßgebenden Einwirkungen die die Dichtigkeit beeinflussenden relevanten Eigenschaften der Abdichtung innerhalb eines Zeitraums von deutlich mehr als 100 Jahren nicht unzulässig verändern. Maßstab für noch zulässige Veränderungen sind die nicht verhinderbaren Veränderungen am Regelsystem.

Die die Standsicherheit beeinflussenden relevanten Eigenschaften der Abdichtung dürfen auf Dauer keiner unzulässig Veränderung unterliegen.

Die langfristig geforderten dichtenden und auf Dauer geforderten mechanischen Eigenschaften der Abdichtungskomponente müssen auch nach Beendigung der Einwirkung (z. B. kurzfristigen Temperatureinflüssen) noch gegeben sein.

2.3.2 Anforderungen an die Beständigkeit

Die Beständigkeit von Abdichtungen kann durch folgende Einwirkungen beeinflusst werden:

- infiltriertes Niederschlagswasser
- Mikroorganismen, Pilze
- Pflanzen
- Tiere
- Temperaturen
- Witterung
- Wassergehaltsänderungen
- Gase

2.3.2.1 Beständigkeit gegenüber infiltriertem Niederschlagswasser

Genauere Angaben zur Zusammensetzung des infiltrierten Niederschlagswassers können nicht gemacht werden, da sie sehr von den örtlichen Verhältnissen abhängig sind. Es muss jedoch damit gerechnet werden, dass SO_2 , CO_2 , O_2 aus der Atmosphäre sowie ggf. Karbonate das Redoxpotenzial der Rekultivierungs- und Dränschicht verändern und somit infiltriertes Niederschlagswasser mit pH-Werten zwischen 4 und 11 die Abdichtung belasten kann.

2.3.2.2 Beständigkeit gegenüber Mikroorganismen, Pilzen

Mikroorganismen können eine Metabolisierung organischer und anorganischer Stoffe von der angegriffenen Oberfläche her bewirken. Ihre Ausscheidungen können weitere Einwirkungen verursachen.

Pilze können aufgrund der sehr geringen Dicke ihrer Hyphen ($\varnothing \sim 5 \mu\text{m}$) von der Oberfläche her in sehr kleine Hohlräume eindringen und durch ihr Saugvermögen Feinporenanteile entwässern.

Das Auftreten derartiger Beanspruchungen ist sehr von dem spezifischen stofflichen Aufbau des Abdichtungsmaterials abhängig. Entsprechende Einwirkungskriterien sind materialspezifisch festzulegen.

2.3.2.3 Beständigkeit gegenüber Pflanzen

Die Abdichtung soll wurzelbeständig sein.

Falls dies nicht nachgewiesen werden kann, ist durch den Aufbau der überlagernden Bodenschichten oder durch geeignete Schutzschichten eine Durchwurzelung weitgehend auszuschließen.

2.3.2.4 Beständigkeit gegenüber Tieren

Die Abdichtung sollte gegenüber Wühltieren beständig sein.

Kann dies nicht gewährleistet werden, ist die Dicke der Rekultivierungsschicht auf die Grabtiefe der Tiere abzustimmen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Grabtiefe wühlender Tiere mehrere Meter betragen kann [3.2, 3.3]. Alternativ sind spezielle mechanische Sperren mit einer entsprechenden Materialfestigkeit und einem hohen Eindringwiderstand ähnlich einer 30 cm dicken mineralischen, grobkörnige Entwässerungsschicht vorzusehen.

2.3.2.5 Beständigkeit gegenüber Temperaturen

Temperaturen können die Beständigkeit von Abdichtungen maßgeblich beeinflussen. Unter der Voraussetzung eines frostsicheren Einbaus der Abdichtungskomponente sind die nachfolgend aufgeführten Temperaturen maßgebend:

- ständige Einwirkungen von 30 °C
- wechselnde Einwirkungen von 0 bis 30 °C
- 3-jährige Einwirkungsdauer von 40 °C

2.3.2.6 Beständigkeit gegenüber Witterung

Die Witterung wirkt nur während der Herstellung unmittelbar auf die Abdichtung. Sie besteht aus Niederschlag, Temperatur, Wind und UV-Strahlung.

Feuchtigkeitseinwirkung muss während der Herstellung angenommen werden. Sofern sich dies negativ auf die Qualität auswirken kann, müssen geeignete Schutzmaßnahmen ergriffen oder der Einbau bei Regen ausgeschlossen werden

Kurz nach Fertigstellung ist bei den projektbezogenen Nachweisen der Standsicherheit der maßgebende Regen zu berücksichtigen.

Oberflächentemperaturen können im jahreszeitlichen Wechsel zwischen -20 und 60°C betragen

Die Einwirkungsmöglichkeit für UV-Strahlung ist durch entsprechende Schutzmaßnahmen in ihrer Intensität stark zu reduzieren oder auszuschließen, wenn eine entsprechende Empfindlichkeit bei bestimmten Materialien besteht.

2.3.2.7 Beständigkeit gegenüber Wassergehaltsänderungen

Abnehmende Wassergehalte in einer mineralischen Abdichtungsschicht stehen in direktem Zusammenhang mit zunehmenden Wasserspannungen, die sich auf die Matrix des Materials übertragen. Hierdurch werden Schrumpfvorgänge im Material hervorgerufen, was bei behinderten Verformungsmöglichkeiten Risse zur Folge haben kann. Überlagernde Bodenspannungen aus Auflasten sind bei Oberflächenabdichtungen i. d. R. nicht ausreichend, um der Reißbildung entgegenzuwirken. Materialzusammensetzung und Einbautechnik sind daher so zu wählen, dass die Gefahr der Trockenrissbildung minimiert wird. [1.3].

Es ist nachzuweisen, dass die Abdichtungskomponente gegenüber relativen Wassergehaltsänderungen von bis zu 10 Gew.-% (bezogen auf den empfohlenen Einbauwassergehalt) schrumpfrissunempfindlich ist.

Wassergehaltsänderungen können gleichzeitig zu einer Änderung der mechanischen Eigenschaften (Steifigkeit, Bruchdehnung) der Abdichtungsmaterialien führen. Diese Vorgänge haben unmittelbare Auswirkung auf die Dichtigkeitseigenschaften (Nr. 2.1) und die mechanische Widerstandsfähigkeit (2.2) und sind bei entsprechenden Nachweisen zu berücksichtigen.

2.3.2.8 Beständigkeit gegenüber Gasen

Die Abdichtungskomponente kann dem Deponiegas ausgesetzt sein. Sie muss daher gegenüber den wesentlichen Deponiegasinhaltstoffen (z. B. CH₄, CO₂, O₂, N₂, H₂S) in den durchschnittlich auftretenden Konzentrationen beständig sein.

2.3.3 Nachweis der Beständigkeit

Beim Nachweis der Beständigkeit der Abdichtungskomponenten sind grundsätzlich folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Die Nachweise können durch Versuche, theoretische Verfahren oder belegte Praxiserfahrung erbracht werden.
- Die Beständigkeitsnachweise müssen auf die besonderen Empfindlichkeiten des zu untersuchenden Materials abgestimmt sein.
- Bei der materialspezifischen Untersuchung sind innere und äußere Alterungsvorgänge zu betrachten.
- Die Beständigkeitsnachweise sind unter Berücksichtigung von Art, Dauer, Richtung und Angriffspunkt der Einwirkungen auf die Abdichtungskomponente im eingebauten Zustand zu erbringen. Dabei sind gleichzeitig Temperatureinwirkungen zu berücksichtigen.
- Durch Temperatur- und/oder Konzentrationserhöhungen einwirkender Medien oder Erhöhung mechanischer Beanspruchungen können Zeitraffungen vorgenommen werden, die eine Abschätzung der Funktionsdauer für die geforderten Zeiträume ermöglichen. Die Zulässigkeit derartiger verschärfender Prüfungen ist materialspezifisch nachzuweisen. Die für den Nachweis der Dichtigkeit erforderlichen Prüfmedien müssen daher nicht in jedem Fall identisch sein mit denen, die für die Nachweise der Beständigkeit verwendet werden.
- Beim Beständigkeitsnachweis können günstig wirkende Auflasten von max. 15 kN/m^2 auf der Oberflächenabdichtung berücksichtigt werden.
- Für die zeitlich begrenzte Einwirkung ist ggf. zu untersuchen, ob und in welchem Umfang sich bei Beendigung dieser Einwirkungen veränderte Materialeigenschaften regenerieren.
- Die Beständigkeit ist gegeben, wenn die geforderten dichtenden und mechanischen Eigenschaften der betrachteten Abdichtungskomponente erhalten bleiben. Ggf. sind Veränderungen durch entsprechende Korrekturfaktoren, additive Sicherheitskomponenten oder andere Maßnahmen zu berücksichtigen.

2.4 Herstellbarkeit

2.4.1 Allgemeines

Die Errichtung einer alternativen Oberflächenabdichtung (OAD) sollte unter Baustellenbedingungen mit Sicherheit erbringbar und muss reproduzierbar sein.

Die Abdichtungskomponenten müssen unter Bedingungen, wie sie auf Deponiebaustellen herrschen, so verarbeitet werden können, dass sie die in der Eignungsprüfung nachgewiesenen Leistungen mit ausreichender Sicherheit im eingebauten Zustand erbringen.

Die Herstellbarkeit hängt dabei von folgenden Faktoren ab:

- Herstellungsvoraussetzungen
- Handhabbarkeit und Fehlerempfindlichkeit des Herstellungsverfahrens
- Empfindlichkeit der Abdichtungsmaterialien gegenüber Einbaubeanspruchungen
- Prüfbarkeit
- Nachbesserungsmöglichkeit und Reparierbarkeit

Die Herstellbarkeit ist im Rahmen der Eignungsprüfungen grundsätzlich nachzuweisen. Die örtlichen Herstellungsgegebenheiten sind projektbezogen durch die Anlage eines Probefeldes (s. a. Nr. 3) zu untersuchen. Die hierfür notwendigen Anforderungen müssen in der Eignungsbeurteilung für die Abdichtungskomponente angegeben werden.

2.4.2 Herstellungsvoraussetzungen

Zu den Herstellungsvoraussetzungen gehören:

- Witterungsvoraussetzungen, Objekt- und Lufttemperaturen, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag und deren tageszeitliche Änderungen,
- Anforderungen an die jeweilige Unterlage auf der die Abdichtungskomponenten aufgebracht werden wie: Standfestigkeit, Ebenheit, Neigung, Rauigkeit, Sauberkeit, Feuchtigkeit, Temperatur,
- Anforderungen an die nachfolgend aufzubringenden Komponenten des Abdichtungssystems, damit diese die darunterliegende Abdichtung nicht schädigen.

2.4.3 Herstellungsverfahren

Das Herstellungsverfahren muss in seinen Einzelheiten und Abläufen festgelegt sein. Es muss gewährleisten, dass im Böschung- und Plateaubereich die gleichen Dichtigkeitseigenschaften erreicht werden.

Im Einzelnen sind Festlegungen zu folgenden Punkten zu treffen:

- Verpackung, Transport und Lagerung von Baustoffen und Produkten
- Einbauverfahren in der Böschung und in der Ebene
- Einbaudicke, Lagenzahl
- Verdichtung
- Geräteeinsatz
- Stoß- und Nahtausführung
- Verbundherstellung zwischen Lagen und Schichten
- Herstellung von Anschlüssen und Durchdringungen
- Einbautoleranzen
- Anschlüsse nach Arbeitsunterbrechungen
- Schutzmaßnahmen
- Maßnahmen bei ungünstigen Abweichungen von den Witterungsvoraussetzungen während des Einbaus
- Nachbesserungsverfahren, Reparaturverfahren

In einer Einbauanleitung sollen entsprechende Festlegungen vom Hersteller des Produktes zusammenfassend vorgelegt werden.

Der Einbau der Abdichtungskomponenten muss von qualifizierten Fachbetrieben vorgenommen werden.

2.4.4 Empfindlichkeit gegenüber Einbaubeanspruchungen

Die Abdichtungskomponenten müssen mechanisch so stabil sein, dass sie durch Beanspruchungen bei der Herstellung der Abdichtung nicht geschädigt werden. Gegebenenfalls müssen dafür die Schichtdicken einzelner Abdichtungskomponenten erhöht werden.

Für den Einbau nachfolgender Komponenten des Abdichtungssystems oder wenn Bereiche der Abdichtung planmäßig begangen oder befahren werden sollen, ist nachzuweisen, dass die Abdichtungskomponenten dabei nicht geschädigt werden. Hierfür sind ggf. Schutzmaßnahmen vorzusehen.

2.4.5 Prüfung der Qualitätsmerkmale

Die Einhaltung der Qualitätsanforderungen des Abdichtungsmaterials im nicht eingebauten Zustand muss ohne weitere Hilfsmittel erkennbar bzw. auf einfach Art und Weise prüfbar sein, um ungeeignetes Material rechtzeitig aussondern zu können (z. B. Identitätskontrolle).

Einbauabhängige Eigenschaften sollen möglichst während oder unmittelbar nach dem Einbau prüfbar sein, um Einbaufehler zu beheben oder die Einbaubedingungen ggf. rechtzeitig korrigieren zu können. Die Prüfungen sollen nach Möglichkeit zerstörungsfrei erfolgen.

Voraussetzungen für einen wirksamen Einsatz der Prüfverfahren bei der Herstellung der Abdichtung ist die entsprechende Qualifikation der mit der Eigen- und Fremdprüfung beauftragten Personen und Prüfstellen (s. a. Nr. 3).

2.4.6 Nachbesserungsmöglichkeit, Reparierbarkeit

Abdichtungskomponenten müssen mit geeigneten Methoden auf der Baustelle nachgebessert oder repariert werden können, um Qualitätsminderungen oder Beschädigungen, die beim Einbau oder nach Probenentnahmen entstanden sind, beheben zu können. Die so behandelten Stellen müssen die gleichen Eigenschaften aufweisen wie die übrigen Abdichtungsbereiche.

2.5 Sonstige Anforderungen

2.5.1 Stand der Technik

Produkte für die Abdichtungen von Deponien müssen dem Stand der Technik gemäß der Definition in § 3 Nr. 12 KrW-/AbfG entsprechen.

2.5.2 Materialstreuungen, Fehlerausgleich

Streuungen von Einwirkungen und Materialeigenschaften sind zu berücksichtigen. Nachteilige Auswirkungen zu großer Streuungen von Materialeigenschaften oder einer besonderen Empfindlichkeit von Produkten gegenüber Einbaubeanspruchungen können z. B. auch durch die Vergrößerung der Lagendicke oder durch zusätzliche Lagen der Abdichtungsschicht ausgeglichen werden.

2.5.3 Empfindlichkeit

Die Empfindlichkeiten gegenüber einbaubedingten Veränderungen der Eigenschaften von Abdichtungskomponenten sind zu untersuchen und zu bewerten. Folgende Gesichtspunkte sind dabei zu beachten:

- Verschlechterung von Eigenschaften im eingebauten Zustand gegenüber Laboreigenschaften, die trotz Qualitätskontrollen nicht zu vermeiden sind
- Vergrößerung der Streuungen maßgebender Produkteigenschaften
- Bewertung der geänderten Eigenschaften im Hinblick auf ihre Tolerierbarkeit

2.5.4 Verbund von Lagen und Schichten

Besteht eine Abdichtungsschicht aus mehreren Lagen, so müssen diese vollflächig und dauerhaft miteinander verbunden sein.

Besteht die Abdichtung aus mehreren Schichten, sind die Schichten so herzustellen, dass eine Unterläufigkeit zwischen den Schichten und somit eine großflächige Verteilung von durch Fehlstellen eingedrungenem Wasser nicht möglich ist.

Bei zusätzlichen Abdichtungen (Doppeldichtungen, Kontrollschichten...) kann von dieser Forderung abgewichen werden.

2.5.5 Imperfektionen

Die Abdichtung soll in der Lage sein, die Auswirkungen von ggf. entstandenen Imperfektionen (Risse, Löcher, ...) zu begrenzen. Selbstheilungsmöglichkeiten sind ggf. nachzuweisen. Die Auswirkung von nicht vollständig auszuschließenden lokalen Imperfektionen, insbesondere auf das Abdichtungsverhalten, sind in geeigneter Weise abzuschätzen und ggf. durch geeignete Maßnahmen zu begrenzen.

2.5.6 Verträglichkeit der Materialien

Materialien, die in angrenzenden Schichten zum Einbau kommen, dürfen sich nicht gegenseitig nachteilig beeinflussen.

2.5.7 Kontrollierbarkeit

Bei Oberflächenabdichtungen von Deponien nach TA Abfall wird eine Kontrollierbarkeit gefordert. Deshalb ist bei Abdichtungen von Deponien nach TA Abfall zumindest eine Abdichtungskomponente vorzusehen, deren Dichtigkeit im eingebauten Zustand kontrollierbar ist. Im Eignungsnachweis ist darzustellen, ob und wie die Abdichtungskomponente kontrollierbar ist.

Die Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) in Berlin erstellt Eignungsgutachten für Dichtungskontrollsysteme auf der Basis einer Empfehlung des Arbeitskreises Dichtungskontrollsysteme [2.7].

2.5.8 Frostsicherheit

Bereits hergestellte, frostempfindliche Schichten, die vorübergehend dem Frost ausgesetzt sein können (Winterpause), sind ausreichend gegen Frosteinwirkung durch entsprechende Abdeckung mit mineralischen Stoffen oder sonstigen Isolierstoffen zu sichern.

2.5.9 Robustheit

Abdichtungskomponenten müssen so beschaffen sein, dass sie den Beanspruchungen aus der zunehmenden Belastung durch weitere Überschüttung sicher widerstehen. Die Dicken der Abdichtungskomponente sind ggf. darauf abzustimmen. Zur Verminderung von Einbaubelastungen aus nachfolgenden Schichten sind erforderlichenfalls Spannung mindernde Fahrwege anzulegen oder zusätzliche Schutzschichten anzuordnen.

2.5.10 Umweltverträglichkeit

Produkte für Deponieabdichtungen müssen umweltverträglich sein. Sie dürfen bei der Verarbeitung und im eingebauten Zustand keine Schadstoffe freisetzen, die den Menschen, den Boden, die Luft und das Wasser unzulässig belasten.

Diesbezügliche Anforderungen ergeben sich z. B. aus stofflichen Verboten oder Beschränkungen sowie allgemeinen Vorschriften oder Grundsätzen unterschiedlicher Rechtsbereiche (z. B. Chemikaliengesetz, Gefahrstoffverordnung, Wasserhaushaltsgesetz).

Sofern Abfälle bei der Herstellung von Abdichtungskomponenten eingesetzt werden sollen, ergeben sich die Anforderungen aus den diesbezüglichen abfallrechtlichen Regelungen.

3. Qualitätsmanagement

3.1 Allgemeines

Das Qualitätsmanagement hat das Ziel, im Rahmen der für die Deponie nach dem Stand der Technik festgelegten Qualitätskriterien die einwandfreie Herstellung der Abdichtung zu gewährleisten. Hiermit soll die Wahrscheinlichkeit von Material- und Herstellungsfehlern minimiert werden. Das Qualitätsmanagement bezieht sich dabei sowohl auf die werksmäßige Herstellung von Produkten für die Abdichtung als auch auf die Herstellung der Abdichtung durch entsprechenden Einbau der Produkte auf die Deponie.

Das Qualitätsmanagement umfasst Tätigkeiten, der Qualitätsplanung, der Qualitätslenkung, der Qualitätssicherung und der Qualitätsverbesserung [2.5 und 2.6].

In dem für das jeweilige Projekt nach [1.4, 1.5] zu erstellenden Qualitätsmanagementplan (dort: „Qualitätssicherungsplan“) werden die speziellen Elemente der Qualitätssicherung, die Zuständigkeiten, Verantwortlichkeiten, sachlichen Mittel und Tätigkeiten festgelegt. Weiterhin sind Prüfspezifikationen (Prüfmerkmale), Merkmalswerte, Prüfanweisungen und Prüfverfahren zu bestimmen.

Die Eignungsbeurteilungen für Abdichtungskomponenten werden so abgefaßt, dass aus ihnen alle wesentlichen Angaben für das Qualitätsmanagement der Herstellung und des Einbaus der Produkte entnommen und bei der Erstellung eines projektbezogenen abfallrechtlichen Qualitätsmanagementplanes verwendet werden können.

Angaben werden zu folgenden Punkten gemacht:

- Gegenstand und Anwendungsbereich
- Zusammensetzung und Eigenschaften
- Herstellungsverfahren
- Übereinstimmungsnachweis-Verfahren
- Kennzeichnung
- Verpackung, Transport, Lagerung
- Bestimmungen für Entwurf und Bemessung
- Bestimmungen für die Verarbeitung des Produkts
- Bestimmungen für Nutzung, Unterhaltung und Wartung

3.2 Qualitätsmanagement bei der Herstellung von Abdichtungsprodukten

Für Produkte, die werkmäßig hergestellt werden, ist ein Qualitätsmanagementsystem erforderlich. Die Einzelheiten hierzu sind in die Eignungsbeurteilung aufzunehmen. Folgende Elemente sind zu berücksichtigen:

- Ausgangsstoffe, Rohstoffe und Zwischenprodukte
- Herstellungsprozess

Die sachgerechte Ausführung der erforderlichen Tätigkeiten muss durch den Hersteller eines Produktes sichergestellt werden. Dazu ist es erforderlich, dass der Hersteller über entsprechende Voraussetzungen für eine werkseigene Produktionskontrolle in Anlehnung an [2.5] verfügt. Sie beziehen sich auf folgende Punkte:

- Organisation im Hinblick auf Verantwortlichkeiten und Vollmachten der Personen, die mit der Qualitätskontrolle befasst sind
- Qualifikation von Personal und Einrichtungen

- Dokumentation von Herstellungsverfahren, Produktionskontrolle, Art und Häufigkeit von Qualitätsprüfungen, Anforderungen an die Prüfergebnisse, Maßnahmen bei Abweichungen von den Anforderungen
- Dokumentation der Ergebnisse von Prüfungen
- Kennzeichnung, Lagerung, Verpackung, Transport
- Aus- und Fortbildung des Personals.

Die Produktion ist durch eine in der Eignungsbeurteilung zu benennende, fremdüberwachende Stelle zu überwachen. Die Fremdüberwachung besteht aus einer Erstprüfung des Produkts, der Überwachung der werkseigenen Produktionskontrolle des Herstellers sowie einer stichprobenartigen Produktprüfung. Die werkseigene Produktionskontrolle und die stichprobenartige Produktprüfung sind bei laufender Produktion regelmäßig, mindestens jedoch zweimal pro Jahr vorzunehmen. Die Häufigkeit der Überwachung bei zeitweiliger Produktion ist an die Erfordernisse anzupassen.

Die Übereinstimmung mit den besonderen Bestimmungen der Eignungsbeurteilung ist auf dem Produkt oder dem Lieferschein kenntlich zu machen. Die Art der Kennzeichnung wird in der Eignungsbeurteilung festgelegt.

3.3 Qualitätsmanagement bei der Herstellung der Abdichtung

Für das Qualitätsmanagement der Herstellung der Abdichtung durch den Einbau der Abdichtungskomponenten auf der Deponie sind die Anforderungen an die zu verwendenden Produkte, die Prüfmerkmale, die Prüfanweisungen und Prüfverfahren sowie Angaben zur Bauausführung festzulegen. Dabei sollen die Bestimmungen in der Eignungsbeurteilung für eine ordnungsgemäße Verarbeitung der Produkte berücksichtigt werden. Das Qualitätsmanagement muss sich sowohl auf die angelieferten Produkte als auch auf deren Einbau beziehen.

Voraussetzung für den Einbau ist bei werkmäßig hergestellten Produkten der Nachweis der Übereinstimmung mit den Bestimmungen der Eignungsbeurteilung. Die angelieferten Produkte müssen mit den für die Identifizierung und Verwendung notwendigen Angaben versehen sein. Eine stichprobenartige Überprüfung der Produkte zur Identifikation anhand der in der Zulassung angegebenen Materialkennwerte soll mit wirksamen und möglichst schnell durchzuführenden Prüfverfahren möglich sein.

Eine weitere Voraussetzung ist, dass die mit der Verarbeitung beauftragten Firmen über eine ausreichende Qualifikation und Erfahrung bei der Herstellung von Abdichtungen mit den jeweiligen Produkten verfügen müssen.

Durch Nachweise und Prüfungen während der Bauausführung muss die Einhaltung der bestimmungsgemäßen Eigenschaften der Abdichtung sichergestellt werden.

3.4 Qualitätsmanagementplan

3.4.1 Anforderungen an den Qualitätsmanagementplan

Der Qualitätsmanagementplan bezieht sich vornehmlich auf die Herstellung der Abdichtung durch den Einbau der Abdichtungskomponenten auf der Deponie. Im Qualitätsmanagementplan werden die Anforderungen an die zu verwendenden Materialien, den Einbau und die durchzuführenden Kontrollen (Überwachungswerte, -maßnahmen, -intervalle, Prüfmethoden) unter Berücksichtigung der diesbezüglichen Bestimmungen in der Eignungsbeurteilung festgelegt. Der Qualitätsmanagementplan ist vor Beginn der Baumaßnahmen zu erstellen und von der abfallrechtlich zuständigen Behörde zu genehmigen.

Vor Baubeginn sind auch die Verarbeitungsvoraussetzungen sowie die Eignung der Einbaugeräte und Bauverfahren unter Feldbedingungen in einem Versuchsfeld, das Plateau- und Böschungsbereiche repräsentativ erfassen muss, zu untersuchen [1.4, 1.5, 2.4]. Die Ergebnisse der Untersuchungen im Prüffeld werden als Bezugsgrößen in den Qualitätsmanagementplan aufgenommen.

Im Qualitätsmanagementplan sind festzulegen:

- Verantwortlichkeiten für die Aufstellung, Durchführung und Kontrolle der Qualitätssicherung
- Herstellungsbeschreibung und Einbauverfahren der Abdichtung mit Angabe der zu überprüfenden Vorgänge
- Art und Anzahl der Qualitätsprüfungen an den angelieferten Produkten (Eingangsprüfung), bei der Verarbeitung (Verarbeitungsprüfung) und an der fertigen Abdichtung (Abnahmeprüfung).

3.4.2 Verantwortlichkeiten und Umfang der Qualitätsprüfungen

Verantwortlich für die Qualitätssicherung beim Einbau sind:

- der Hersteller (Baufirma) für die Eigenprüfung
- der Fremdprüfer für die Fremdprüfung
- die zuständige Behörde für die Überwachung

Personen und Stellen, die mit der Eigen- und Fremdprüfung auf der Deponiebaustelle beauftragt sind, müssen über eine ausreichende Erfahrung oder Fachkenntnisse mit der Verarbeitung, Prüfung und Bewertung der jeweiligen Produkte verfügen. Die Aufgaben und die Qualifikation der Fremdprüfung für mineralische Komponenten in Abdichtungssystemen ergeben sich für mineralische Komponenten aus [2.5], für Kunststoffkomponenten aus [2.6].

Die Eigenprüfung legt den Umfang ihrer Untersuchungen eigenverantwortlich fest. Er sollte aber mindestens dem der Fremdprüfung entsprechen.

Der Mindestumfang der Qualitätsprüfung durch die fremdprüfende Stelle wird unter Berücksichtigung der Eigenschaften der Abdichtungskomponente in der Eignungsbeurteilung festgelegt.

Es ist sicherzustellen, dass die bereits fertiggestellten Teilflächen weder durch nachfolgende Baumaßnahmen noch durch andere Einflüsse in ihren Eigenschaften nachteilig beeinflusst werden.

Die Überwachung und die abfallrechtliche Abnahme erfolgen durch die zuständige Behörden.

4. Literatur

- [1.1] Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes vom 27. September 1994 (BGBl. I S. 2705), zuletzt geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 25. Januar 2004 (BGBl. I S. 82)
- [1.2] Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (Abfallablagerungsverordnung - AbfAbIV) BGBl. Nr. 10 vom 27.02.2001 S. 305
- [1.3] Verordnung über Deponien und Langzeitlager und zur Änderung der Abfallablagerungsverordnung (DepV) vom 24. Juli 2002 (BGBl. I Nr. 52 Seite 2807)
- [1.4] Zweite Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall); Teil 1: technische Anleitung zur Lagerung, chemisch / physikalischen und biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen; Bek. d. BMU vom 12.3.1991 - WA II 5 - 30121 -1/8 -
- [1.5] Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall); technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen vom 14.Mai 1993; Bundesanzeiger Jahrgang 45 Nr. 99a
- [2.1] Grundsätze für den Eignungsnachweis von Dichtungselementen in Deponieabdichtungssystemen; DIBt November 1995
- [2.2] Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ - GDA, der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik
Empfehlung E2-13 „Verformungsnachweis für mineralische Abdichtungsschichten“; 3. Auflage 1997; Verlag Ernst & Sohn

- [2.3] DIN 50035 Blatt; 1972: Begriffe auf dem Gebiet der Alterung von Materialien, Grundbegriffe

- [2.4] Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ - GDA, der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik
Empfehlung E3-5 „Versuchsfelder für mineralische Basis- und Oberflächenabdichtungen“; 3. Auflage 1997; Verlag Ernst & Sohn

- [2.5] Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ - GDA, der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik
Empfehlung E 5-10 „Aufgaben und Qualifikation einer fremdprüfenden Stelle für mineralische Komponenten in Abdichtungssystemen“; Bautechnik Heft 9/2004; Verlag Ernst & Sohn

- [2.6] „Fremdprüfung beim Einbau von Kunststoffkomponenten und –bauteilen in Deponieabdichtungssystemen – Richtlinie der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) in Berlin für Anforderungen an die Qualifikation und die Aufgaben einer fremdprüfenden Stelle“; Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) in Berlin, August 1988

- [2.7] „Anforderungen an Dichtungskontrollsysteme in Oberflächenabdichtungen von Deponien - Empfehlungen des Arbeitskreises Dichtungskontrollsysteme (AKDKS)“; Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) in Berlin, November 2000

- [2.8] LAGA EW 98 – Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen von Abfällen, verunreinigten Böden und Materialien aus dem Altlastenbereich; Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall Nr. 33; Erich-Schmidt-Verlag

- [3.1] Horn, Schick, Wunsch; 1995: Verformbarkeit, Reißsicherheit und Dichtigkeit von mineralischen Deponiedichtungen; Mitteilungen des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau der Universität der Bundeswehr München, Heft 10

- [3.2] Grzimeks Tierleben, 1977: Säugetiere, Kindler Verlag

- [3.3] Brehms neue Tierencyklopädie 1974: Säugetiere, Herder Verlag