

E 2-14 Basis-Entwässerung von Deponien

April 2011

1 Allgemeines

Das Entwässerungssystem ist Bestandteil des in E 2-3 beschriebenen Basisabdichtungssystems. Zum Entwässerungssystem, das unter dem Abfallkörper angeordnet ist, gehören (siehe Bild E 2-14.1):

- Schutzschicht
- Entwässerungsschicht
- Sickerleitungen
- Sammel- und Kontrollschächte.

Zur Vermeidung eines Sickerwasseraufstaus in dem Abfallkörper muss das anfallende Sickerwasser innerhalb der Entwässerungsschicht gesammelt und in freiem Gefälle abgeleitet werden. Dazu sind langfristig funktionierende Entwässerungselemente erforderlich.

Untersuchungen an Siedlungsabfalldeponien alten Standards, auf denen bis 2005 unbehandelte Siedlungsabfälle abgelagert wurden, haben ergeben, dass sich in deren Entwässerungsschichten und -leitungen unter Betriebsbedingungen schlammige und z. T. auch verfestigte Ablagerungen (Inkrustationen) bilden können (RAMKE/BRUNE 1990; s.a. RAMKE 1998). Maßgeblich für die Bildung der Inkrustationen sind unter den gegebenen chemisch-physikalischen Bedingungen anaerobe Stoffwechselprozesse von Mikroorganismen. Wesentliche Bestandteile der Ablagerungen sind neben organischen Komponenten die Kationen Kalzium und Eisen, die als Carbonat sowie durch Schwefel (vorwiegend sulfidisch) festgelegt werden. Durch Inkrustationen kann die Funktion des Entwässerungssystems stark beeinträchtigt werden.

Um u. a. diese Inkrustations-Tendenz erheblich zu vermindern, sind in der DEPONIEVERORDNUNG (DEPV), 2009 Anforderungen enthalten, die bereits die Abfälle erfüllen sollen, die zum Ablagern vorgesehen sind (Zuordnungskriterien). Danach sollen die Zusammensetzung, die Eigenschaften und das Verhalten der Abfälle in der Deponie u. a. eine zuverlässige und dauerhafte Entwässerung der Deponie ermöglichen. Bei Siedlungsabfällen kommt dabei der Abfallvorbehandlung mit dem Ziel einer Verringerung der Intensität und Dauer der sogenannten sauren Phase eine entscheidende Bedeutung für die langfristige Funktionsfähigkeit der Entwässerungssysteme zu.

Feld- und Laboruntersuchungen zeigten, dass bei der Deponierung mechanisch-biologisch vorbehandelter Abfälle die Inkrustationsprozesse nicht völlig unterbunden werden, ihre Intensität aber stark verringert wird (RAMKE/BRUNE 1990, TURK ET AL. 1993, s.a. RAMKE 1998).

Bei der Deponierung von Aschen aus Müllverbrennungsanlagen treten zwar keine biologisch induzierten Inkrustationen auf, durch physikalisch-chemische Prozesse (Oxidation, Wärmestau, Temperaturgradienten, Verdampfung) können sich aber im Entwässerungssystem durch Auskristallisation Salzverkrustungen in z. T. erheblichem Ausmaß bilden (TURK ET AL. 1993, s.a. RAMKE 1998).

Grundsätzlich ist schon in der Planungsphase die Neigung der zur Ablagerung vorgesehenen Abfallarten zur Auslösung von Inkrustationsprozessen abzuschätzen und in die Überlegungen zur Gestaltung des Entwässerungssystems einzubeziehen.

Für die Planung und für die Bauausführung von Entwässerungssystemen sind z. Z. folgende Regelwerke zu berücksichtigen:

- DEPONIEVERORDNUNG (DEPV), 2009
- DIN 19 667: Dränung von Deponien

Außerdem sind detaillierte Angaben zur Gestaltung und zur hydraulischen Berechnung von Entwässerungssystemen bei RAMKE, 1991 und 1998 enthalten.

Das Basis-Entwässerungssystem ist als Teil des Deponiebauwerkes in den Planunterlagen darzustellen. Die vorgesehenen Funktionen und die sich daraus ergebenden Anforderungen sind anzugeben. Für bestimmte Beanspruchungen müssen rechnerische Nachweise geführt werden (z. B. Stand- und Gleitsicherheitsnachweise, Rohrstatik, Wirksamkeit der Schutzschicht, ggf. auch hydraulische Nachweise).

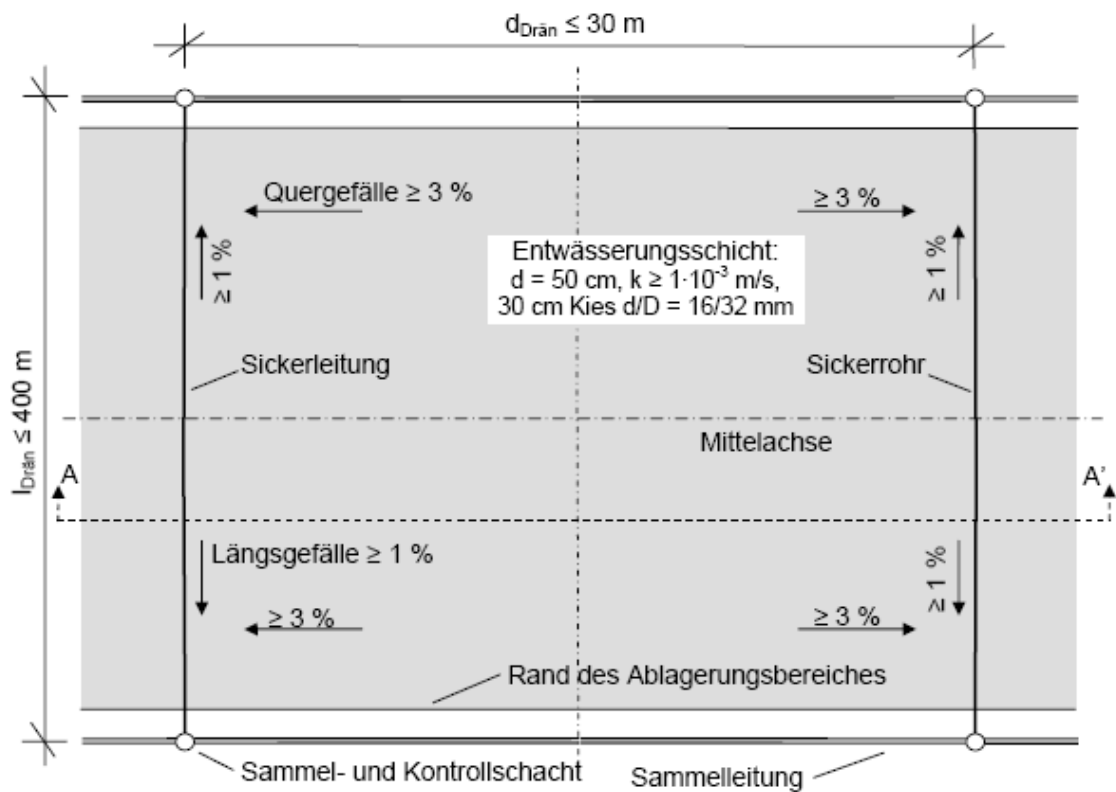
Diese Berechnungen bilden wesentliche Planungsgrundlagen und sind in prüffähiger Form aufzustellen und vom Prüfgutachter zu prüfen.

Als weitere spezifische Entwurfsgrundsätze sind die E 2-22 und E 2-25 zu berücksichtigen, die vertikale Schächte in Deponien behandeln, sowie die E 2-27, die Hinweise für die Gestaltung der Durchdringungen von Entwässerungsleitungen durch Basisabdichtungssysteme gibt.

Die Herstellung mineralischer Entwässerungs- und Schutzschichten wird durch die E 4-2 beschrieben.

Basis-Entwässerungssysteme sind im Qualitätssicherungsplan des Deponiebauwerkes zu berücksichtigen. Die Einhaltung der festgelegten Anforderungen ist durch Eignungs- und Qualitätsprüfungen nachzuweisen. Zu den Eignungsprüfungen für mineralische Entwässerungsschichten siehe E 3-12, zur Qualitätsüberwachung die E 5-6.

Teil 1: Grundriss



Teil 2: Querschnitt A - A'

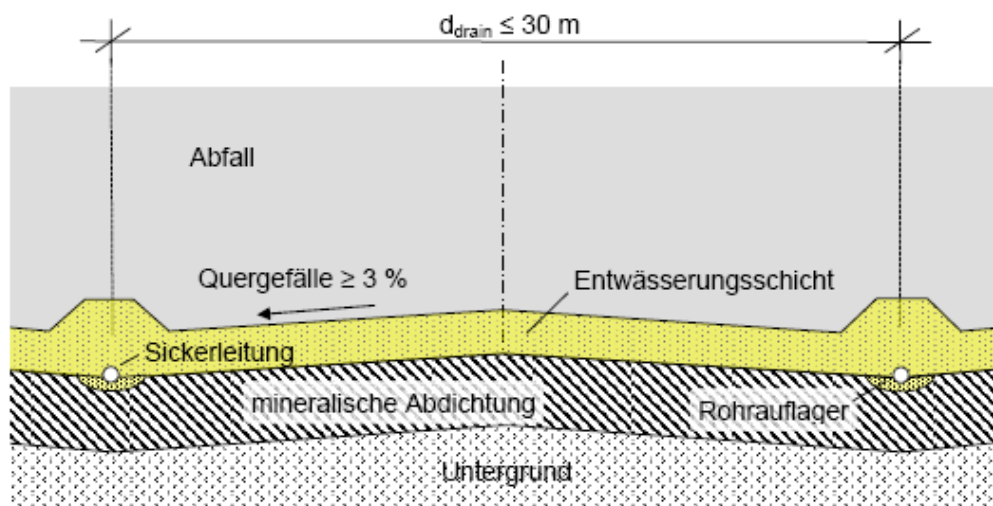


Bild 2-14.1: Basientwässerungssystem – Grundriss und Querschnitt des Regelsystems

2 Anforderungen

Das auf der Basisabdichtung anfallende Sickerwasser soll im Entwässerungssystem gesammelt und im freien Gefälle abgeleitet werden. Dabei soll die Sickerwassereinstauhöhe über der Basisabdichtung minimiert werden. Die max. Einstauhöhe soll kleiner als die Dicke der Entwässerungsschicht sein.

Damit sollen vermieden werden:

- Erhöhtes Auslaugen der Abfälle durch Sickerwassereinstau
- Erhöhte Sickerwasseremissionen durch die Basisabdichtung infolge größerer hydrostatischer Drücke
- Verminderungen der Deponie-Standsicherheit.

Das gesamte Entwässerungssystem muss aus den genannten Gründen trotz der an der Deponiebasis planmäßig zu erwartenden Setzungen und Verformungen auch nach Betriebsschluss der Deponie funktionstüchtig bleiben.

Sicherheitshalber muss das Entwässerungssystem so gestaltet werden, dass es auch dann noch ausreichend funktioniert, wenn Teilbereiche des Systems, z. B. infolge von Inkrustationen, nicht mehr voll wirksam sind.

3 Beanspruchung

3.1 Einleitung

Die nachfolgenden Daten zur Sickerwassermenge und -qualität sowie zu den Temperaturen wurden an Siedlungsabfalldeponien alten Standards ermittelt. Falls für den Einzelfall, insbesondere zu den Eigenschaften und zum Verhalten der zu deponierenden Abfälle, andere zuverlässige Daten vorliegen, so sind diese für den Entwurf maßgebend.

3.2 Sickerwasseranfall

Hinsichtlich des Sickerwasseranfalls auf der Deponiebasis können drei Fälle unterschieden werden:

- Betriebsbeginn - geringe Abfallüberdeckung
Bei fehlender oder nur geringer Abfallüberdeckung wird der Niederschlag praktisch unmittelbar an die Entwässerungsschicht abgegeben.

Die Niederschlagsintensität und -häufigkeit kann mit den Ansätzen der Stadtentwässerung ermittelt werden.

- Betriebszustand - offene Abfallfläche
Während des Betriebszustandes bei offener Einbaufläche kann bei deutschen Klimaverhältnissen - sofern keine genaueren Erkenntnisse für den Einzelfall vorliegen - von einer durchschnittlichen Sickerwasserspense von $1 \text{ mm/d} = 10 \text{ m}^3/(\text{ha}\cdot\text{d})$ ausgegangen werden, wenn die Speicherkapazität des Abfallkörpers erschöpft ist (RAMKE 1991).
- Betriebsende - rekultivierte Deponie
Langfristig sind bei rekultivierten Deponien nur noch Sickerwasserspense zu erwarten, die gegenüber dem Betriebszustand erheblich vermindert sind. Eine generelle Prognose der Entwicklung der Sickerwasserspense bzw. -abflüsse rekultivierter Deponien ist noch nicht möglich, für die einzelne Deponie können die gemessenen Abflüsse aber für Prognosezwecke extrapoliert werden (RAMKE 2009).

Für die hydraulische Bemessung des Entwässerungssystems auf der Basisabdichtung (Entwässerungsschicht, Abstand der Entwässerungsleitungen und Quergefälle) sind die während des Betriebszustandes bei offener Einbaufläche anfallenden Sickerwasserspense maßgeblich. Dazu wird empfohlen, einen gegenüber der durchschnittlichen Sickerwasserspense (nicht mehr speichernder Deponien) 10-fach erhöhten Wert von

$$10 \text{ mm/d} = 100 \text{ m}^3/(\text{ha}\cdot\text{d})$$

anzusetzen. Durch den stationären Ansatz dieser Größe sind auch längere abflussreiche Perioden rechnerisch abgedeckt.

Da noch keine Erfahrungen mit dem Sickerwasseranfall von Inertdeponien (Deponieklasse I), Deponien für mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfälle und HMV-Asche-Deponien (Deponieklasse II) und Deponien für besonders überwachungsbedürftige Abfälle (Deponieklasse III) vorliegen, können die vorgenannten Werte gleichfalls eine Orientierung für den maßgebliche Sickerwasseranfall bieten. Die Anwendbarkeit dieser Daten ist für den Einzelfall sorgfältig zu prüfen.

Das in DIN 19667 angesetzte Regenereignis $r_{15,1}$ nach KOSTRA-DWD, 2000, das bei hydraulischen Nachweisen des Entwässerungssystems bei Abweichungen vom Regelsystem der DIN 19667 Anwendung finden soll, entspricht einem Sickerwasseranfall, wie er zu Betriebsbeginn bei sehr geringer Abfallüberdeckung zu erwarten ist.

Diese intensiven, aber kurzen Niederschlagsereignisse bei Betriebsbeginn sind für die Bemessung des Entwässerungssystems auf der Basisabdichtung in der Regel nicht von Bedeutung (siehe RAMKE 1998). Die Phase des Betriebsbeginns mit fehlender oder geringer Abfallüberdeckung ist aber für die hydraulische Bemessung der Sickerleitungen, der Sammelleitungen sowie von Pumpwerken zusätzlich zu berücksichtigen. Hierfür ist deshalb das Regenereignis $r_{15,1}$ nach KOSTRA-DWD, 2000 zu berücksichtigen.

In diesem Zusammenhang wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich bei diesen Sickerwasserspenden um zeitlich und räumlich begrenzte Ereignisse handelt. Sie beschreiben die maximale hydraulische Beanspruchung eines Teilstückes (Einzugsbereich einer Sickerleitung) des Entwässerungssystems.

Für andere Zwecke, z. B. zur Dimensionierung von Sickerwasser-Behandlungsanlagen, können diese Werte nicht gelten.

3.3 Sickerwasserzusammensetzung

Die Zusammensetzung des Sickerwassers kann in weiten Grenzen schwanken. Bei Deponien, in denen mikrobiologische Umsetzungsprozesse stattfinden, ist bezüglich der Sickerwasserinhaltsstoffe zu unterscheiden in Parameter, die wesentlich vom Abbauzustand des Deponiekörpers abhängen und in Parameter, die weitgehend unabhängig vom biochemischen Zustand sind.

KRÜMPELBECK/EHRIG, 2001 haben die Sickerwasserbelastung zahlreicher unterschiedlich betriebener Siedlungsabfalldeponien alten Standards untersucht und zusammengestellt. MÜNNICH/FRICKE, 2005 geben eine Übersicht über die Sickerwasserbelastung von Deponien für mechanisch-biologisch vorbehandelte Abfälle. Die Spanne der Sickerwasserbelastung von HMV-Asche-Deponien wird vom DWA-FACHAUSSCHUSS 3.6, 1997 aufgezeigt.

3.4 Temperaturen

Die DIN 19667 fordert, dass die Sickerrohre für eine Betriebstemperatur von ≥ 40 °C über eine Zeitspanne von 50 Jahren auszulegen sind. Sofern die Betriebsbedingungen andere Temperaturen erwarten lassen, sind diese zugrunde zu legen.

Gemäß der DEPV, Anhang 1, Abschnitt 2.1.1 muss die Funktionserfüllung der einzelnen Komponenten und des Gesamtsystems des Abdichtungssystems einschließlich des Entwässerungssystems aber unter allen äußeren und gegenseitigen Einwirkungen über einen Zeitraum von mindestens 100 Jahren nachgewiesen werden.

An der Deponiebasis und somit auch im Entwässerungssystem ist nach derzeitigem Kenntnisstand bei Siedlungsabfalldeponien alten Standards (Ablagerung unbehandelter Siedlungsabfälle) mit Temperaturen zwischen 15 und 40 °C zu rechnen. Dabei liegen die Sickerwassertemperaturen beim Austritt aus den Entwässerungsleitungen zwischen 15 und 25 °C.

Bei MBA-Deponien sind keine nennenswerten Temperaturerhöhungen an der Deponiebasis zu erwarten, weil die mikrobiologische Umsetzung der abgelagerten Abfälle infolge der mechanisch-biologischen Abfallvorbehandlung bereits weitgehend abgeschlossen ist.

Messungen des Temperaturprofils einer MVA-Asche-Deponie ergaben im Deponeinneren Temperaturen bis zu 90 °C und auf der Deponiebasis von 60 °C. Aufgrund der langsam ablaufenden exothermen chemischen Reaktionen in Asche- und Schlackedeponien kann nicht ausgeschlossen werden, dass mit einem hohen Temperaturniveau über einen längeren Zeitraum hinweg gerechnet werden muss (TURK 1996).

Bei diesem Temperaturniveau ist für Kunststoffrohre und -bauteile keine ausreichende Dauer der Funktionstüchtigkeit gegeben. Schlacken und Aschen müssen daher so vorbehandelt werden, dass diese hohen Temperaturen nicht entstehen können. Erforderlich ist eine gezielte Alterung der Schlacken und Aschen.

4 Konstruktive Gestaltung

4.1 Grundriss und Profilierung

Nachfolgend wird ein Regel-Entwässerungssystem (Bild 2-14.1) dargestellt, das die Anforderungen nach DIN 19667 erfüllt, die durch den Verweis in der DEPV maßgeblich geworden sind. Darauf aufbauend werden weitergehende Empfehlungen gegeben. Bei Abweichungen vom Regel-Entwässerungssystem ist für jeden Einzelfall nachzuweisen, dass ein gleichwertiges bzw. besseres System geschaffen wird.

Die Oberfläche der Basisabdichtung ist mit Längs- und Quergefälle so zu profilieren, dass das Sickerwasser im freien Gefälle abfließen kann. Dazu sind in den Tiefpunkten der dachprofilartig ausgebildeten Basisabdichtung Sickerleitungen vorzusehen.

Die Leitungen sind so anzuordnen, dass sie

- im Grundriss geradlinig verlaufen
- am Ende in Kontrollschächte einmünden
- durchgehend gereinigt und von beiden Seiten kontrolliert werden können

Leitungsverknüpfungen auf der Deponiebasis, die nicht gereinigt oder nicht kontrolliert werden können, sind nicht zulässig.

Bei dem Regel-Entwässerungssystem sind folgende Abmessungen einzuhalten:

a) seitlicher Abstand der parallel verlaufenden Entwässerungsleitungen:

- max. 30 m bei dachförmig profilierter Sohle
- max. 15 m auf einseitig geneigten Deponiebasisflächen, sofern kein hydraulischer Nachweis unter Berücksichtigung des Ausfalls einer Entwässerungsleitung erbracht wird. Der maximale Abstand der Entwässerungsrohre sollte 30 m nicht übersteigen.
- Böschungen mit einer Neigung von über 25 % sind gesondert zu betrachten (siehe Abschnitt 5.2).

b) Länge der Entwässerungsleitungen

Die Länge der Entwässerungsleitungen von Schacht zu Schacht beträgt im Regelentwässerungssystem max. 400 m.

Bei größeren Leitungslängen und abweichenden Längsgefällen ist während der Entwurfsbearbeitung zu klären, ob praxiserprobte Kontroll- und Reinigungsgeräte für die notwendigen Kontroll- und Wartungsarbeiten zur Verfügung stehen.

Die Informationsschrift der GSTT, 2007 gibt eine ausführliche Übersicht über die aktuellen Möglichkeiten zur Instandhaltung der Entwässerungsleitungen von Deponien.

c) Längs- und Quergefälle

Die Oberfläche der Basisabdichtung muss nach Abklingen der Setzungen und Verformungen des Basisabdichtungssystems und des Deponieuntergrundes ein Längsgefälle $> 1 \%$ (entspr. Gefälle der Sickerleitungen) und ein Quergefälle $> 3 \%$ aufweisen. Ggf. sind hierfür gemäß den Ergebnissen der Setzungs- und Verformungsrechnungen Überhöhungen einzubauen.

4.2 Schutzschicht

Die Wasserdurchlässigkeit der Schutzschicht der Abdichtungskomponente darf für die Entwässerungsfunktion nicht planmäßig angesetzt werden. Bei der Verwendung von mineralischen Schutzschichten ist die Filterstabilität gegenüber der Entwässerungsschicht einzuhalten. Ggf. ist dazu ein Filtervlies anzuordnen.

Bei mineralischen Schutzschichten ist zu berücksichtigen, dass es zu einem erhöhten Sickerwassereinstau oberhalb der Basisabdichtung kommen kann.

4.3 Entwässerungsschicht

4.3.1 Anforderungen

Die Entwässerungsschicht ist auf der Schutzschicht über der Basisabdichtung anzuordnen. Bei Deponien der Klasse 0 soll die Dicke der Entwässerungsschicht nach DEPv mindestens 30 cm betragen, bei Deponien der Klassen I, II und III mindestens 50 cm. Weitere Anforderungen werden in der Depv indirekt durch den Verweis auf die DIN 19667 festgelegt.

Bei Deponien der Klasse 0 werden seitens der DEPv keine besonderen Anforderungen an das Material der Entwässerungsschicht gestellt. Langfristig darf nach DIN 19667 das Material der Entwässerungsschicht einen Durchlässigkeitsbeiwert von $k = 10^{-3}$ m/s nicht unterschreiten, im Einbauzustand soll der Durchlässigkeitsbeiwert deshalb $k \geq 10^{-2}$ m/s betragen.

Für Deponien der Klassen I, II und III fordert die DIN 19667 mindestens in den unteren 30 cm Kies (Rundkorn) oder doppelt gebrochenen Splitt der Korngruppe $d/D = 16/32$ nach DIN EN 12620 zu verwenden.

Wenn die Entwässerungsschicht nur in den unteren 30 cm aus Kies bzw. Splitt der Körnung 16/32 mm hergestellt wird, ist nach DIN 19667 zur Einhaltung der in der DEPV geforderten Mindestdicke von 50 cm eine weitere mineralische Schicht einzubauen. Der Durchlässigkeitsbeiwert dieser Schicht darf langfristig $k = 10^{-3}$ m/s nicht unterschreiten, im Einbauzustand sollte der Durchlässigkeitsbeiwert deshalb $k \geq 10^{-2}$ m/s betragen.

Diese obere mineralische Schicht kann nach DIN 19667 bei Bedarf als Filterschicht zwischen der Entwässerungsschicht und den abgelagerten Abfällen ausgelegt werden. Alternativ kann nach DIN 19667 auch ein zusätzlicher geotextiler Filter (zugelassen durch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung) angeordnet werden. Der Einsatz eines geotextilen Filters an dieser Stelle muss jedoch wegen des Inkrustationsrisikos und der damit verbundenen Verringerung der Wasserdurchlässigkeit kritisch gesehen werden. In Abschnitt 4.3.3 werden detaillierte Hinweise zum Aufbau der Entwässerungsschicht gegeben.

4.3.2 Abweichungen von den Anforderungen

Die DEPV lässt geringere Schichtdicken und andere Körnungen zu, wenn nachgewiesen werden kann, dass es langfristig zu keinem Wassereinstau im Deponiekörper kommt. Dieser Langzeitnachweis ist nach derzeitigem Kenntnisstand kaum zu führen. Lediglich RAMKE/BRUNE, 1990 und TURK/WITTMAYER, 1994 konnten im Rahmen von aufwändigen Systemversuchen zum Inkrustationsverhalten zeigen, dass grobe Dränmaterialien bei der Beaufschlagung mit schwach belastetem Sickerwasser, wie z.B. aus MBA-Deponien, kaum in ihrer Wasserdurchlässigkeit beeinträchtigt werden. Eine quantitative Prognose des Langzeitverhaltens war aber auch damit nicht möglich.

Vor diesem Hintergrund muss dringend geraten werden, von der generellen Forderung nach einer Entwässerungsschicht mit einer Mindestdicke von 30 cm, die aus grobem Dränmaterial der Körnung $d/D = 16/32$ besteht, nicht abzuweichen, wenn das Risiko der Bildung von Ablagerungen (Inkrustationen) im Entwässerungssystem besteht. Grobes Dränmaterial der Körnung $d/D = 16/32$ hat im Einbauzustand einen Durchlässigkeitsbeiwert in der Größenordnung von $k = 10^{-1}$ bis 10^0 m/s. Der langfristige Durchlässigkeitsbeiwert wird durch das Eindringen von Feinanteilen und die Bildung von Inkrustationen bestimmt. Auch bei einer unvermeidbaren Verringerung der Wasserdurchlässigkeit durch diese Effekte bietet nur dieses Dränmaterial die Gewähr, dass die Durchlässigkeit langfristig mindestens $k = 10^{-3}$ m/s beträgt. Auf diesen Durchlässigkeitsbeiwert der Entwässerungsschicht ist das Regelentwässerungssystem ausgelegt. Das Gesamtsystem erhält erst durch das grobe Dränmaterial die für die langfristige Funktionsfähigkeit unabdingbare inhärente Sicherheit.

4.3.3 Aufbau der Entwässerungsschicht

Alle Materialien, die in Entwässerungsschichten eingesetzt werden, sollen unter Betriebsbedingungen langfristig einen Durchlässigkeitsbeiwert $k \geq 10^{-3}$ m/s einhalten. Im Einbauzustand muss mindestens $k \geq 10^{-2}$ m/s eingehalten werden.

Deshalb ist möglichst grobkörniges, enggestuftes Material zu wählen. Es sollen Körnungen ausgewählt werden, die in der Schüttung möglichst großen Hohlraumanteil bei zugleich möglichst großen Abmessungen der einzelnen Hohlräume gewährleisten.

Der Aufbau der Entwässerungsschicht – homogen oder mit einer Filterschicht in den oberen 20 cm – hängt von der Art der abgelagerten Abfälle ab.

Bisherige Erfahrungen zeigen, dass aus Siedlungsabfalldeponien alten Standards, die im wesentlichen Hausmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Baustellenabfälle und entwässerten Klärschlamm enthalten, mit dem Sickerwasser kaum Feststoffe transportiert werden. Aufgrabungen ergaben meistens eine „saubere“ Trennung zwischen der Oberkante der Entwässerungsschicht und dem Abfall. In der Regel konnte bei diesen Deponien kein Einschlämmen von Feinmaterial aus dem Abfall in die Entwässerungsschicht festgestellt werden. Lediglich lokal war eng begrenzt ein Einwandern von Abfall in die Entwässerungsschicht zu beobachten. Für die Körnungsauswahl der Entwässerungsschicht von Siedlungsabfalldeponien alten Standards war deshalb die Inkrustationsgefahr infolge biologischer Prozesse maßgebend. Damit kam nur grobes Dränmaterial der Körnung $d/D = 16/32$ in Betracht. Eine Filterschicht zwischen dem groben Dränmaterial und den abgelagerten Abfällen wurde nicht angeordnet, da diese aus feinkörnigerem Material bestehende Schicht besonderes anfällig gegenüber Inkrustationen gewesen wäre. Eine Schichtdicke von 30 cm erschien ausreichend.

Bei der Ablagerung mechanisch-biologisch vorbehandelter Abfälle (mit nur noch geringen mikrobiologisch bedingten Inkrustationen) und von MVA-Asche (mit möglicherweise erheblichen chemisch-physikalisch bedingten Inkrustationen) ist zu prüfen, ob diese im Vergleich zu herkömmlichen Siedlungsabfällen häufig feineren bzw. weniger aneinanderhaftenden Abfälle zum Einspülen von Feinanteilen in grobes Dränmaterial führen können. In Hinblick auf die Inkrustationsgefahr sind die unteren 30 cm der Entwässerungsschicht auch bei diesen Deponien aus grobem Dränmaterial, nach DIN 19667 der Körnung $d/D = 16/32$, zu bauen. Es ist im Einzelfall zu prüfen, ob bei diesen Deponien die oberen 20 cm der Entwässerungsschicht als Filterschicht ausgebildet werden müssen. Hierzu kommen sowohl abgesiebte Abfälle (mit einem größeren Körnungsbereich als der Abfall) als auch feinkörnigeres Dränmaterial in Betracht.

Nur bei Abfällen, bei denen die Bildung von Inkrustationen nicht zu befürchten ist, können die Entwässerungsschichten selbst filterstabil gegenüber den abgelagerten Abfällen ausgelegt werden. Bei RAMKE, 1998 werden weitere Hinweise zur Gestaltung der Entwässerungsschicht gegeben.

Der Einsatz eines geotextilen Filters zwischen der Entwässerungsschicht und den abgelagerten Abfällen sollte nur erwogen werden, wenn dessen Langzeitfunktionsfähigkeit nachgewiesen werden kann.

4.3.4 Sonstige Materialanforderungen

Das Material der Entwässerungsschicht muss einwandfrei sauber (gewaschen) sein und möglichst runde Oberflächen aufweisen.

Die für die Entwässerungsschichten verwendeten mineralischen Baustoffe können natürlichen Vorkommen entstammen (Kies, Splitt, gebrochenes Festgestein), sie können in industriellen Prozessen (z.B. Schlacken) entstanden sein oder als Recyclingmaterial durch Aufbereitung von zuvor als Baustoff eingesetzten anorganischen Materialien gewonnen werden.

Zulässig sind max. 0,5 Gew. % abschlämmbare Bestandteile und max. 20 Gew. % Körner, deren Verhältnis Länge: Dicke $> 3 : 1$ ist. Bei Grobkies ist der Anteil gebrochener Körner auf max. 10 Gew. % zu begrenzen.

Die Materialien sind so auszuwählen, dass sie den mechanischen Belastungen in allen Lastfällen sowie den chemisch-physikalischen und biochemischen Einwirkungen ohne nachteilige Veränderungen standhalten. Es ist Kalziumcarbonat armes Material zu verwenden, der Kalziumcarbonatanteil darf 20 Gew. % nicht überschreiten.

4.4 Sickerleitungen

Das in der Entwässerungsschicht anfallende Sickerwasser wird in Sickerleitungen gefasst und abgeleitet. Die Sickerleitungen bestehen aus Rohren mit durchlässiger Wandung (Sickerrohre). Die Sickerleitungen sind in den jeweiligen Tiefpunkten der dachprofilartig ausgebildeten Basisabdichtung höhen- und fluchtgerecht zu verlegen. Alle Sickerleitungen müssen durchgehend gereinigt und kontrolliert werden können. Deshalb muss der Innendurchmesser der Rohre mindestens 250 mm betragen, und die Leitungslänge ist gemäß Abschnitt 4.1 zu begrenzen.

Zum Sickerwassereintritt sind auf die Korngröße des Entwässerungsmaterials abgestimmte Öffnungen entsprechend DIN 4266-1 vorzusehen. Die Größe dieser Wassereintrittsöffnungen soll etwa proportional mit der Wanddicke steigen. Bei Deponien mit erhöhter Inkrustationsgefahr sind geschlitzte Rohre gelochten Rohren vorzuziehen. Die Schlitzbreite soll 12 mm nicht unterschreiten.

Als Material der Rohre kommen Kunststoffe mit einer breiten Beständigkeitsskala gegenüber organischen und anorganischen Inhaltsstoffen in Frage, insbesondere Rohre aus PE (PE 100- oder PE 80-Materialien) oder PP. Bei der Auswahl sind insbesondere die zu erwartenden physikalischen (Spitzendrücke, Temperatureinwir-

kungen), chemischen und biochemischen Beanspruchungen zu beachten. Die Eignung der Sickerrohre, insbesondere ausreichende Festigkeitseigenschaften, sowie das Temperatur- und Verformungsverhalten sind nachzuweisen.

Bei der Rohr- und Materialauswahl sind im Hinblick auf die Langzeitbeständigkeit, Schadensfreiheit und Betriebssicherheit der Sickerrohre die Hinweise der SKZ/TÜV-LGA GÜTERICHTLINIE, 2010 zu beachten. Ferner sind die dort festgelegten zusätzlichen Materialanforderungen zu berücksichtigen.

Zur Ausführung der Leitungszone, insbesondere zum Rohraufleger und zur Rohrummantelung aus Grobkies (Material gemäß Ziff. 4.3) gelten die in der DIN 19 667 enthaltenen Angaben. Eine optimierte Ausführung des Rohrauflegers mit verringerter Wasserdurchlässigkeit ist bei RAMKE, 1998 dargestellt.

Die Sickerrohre einschließlich Rohrummantelung aus Grobkies dürfen unter Deponiauflast die Basisabdichtung (insbesondere die Kunststoffdichtungsbahnen) nicht beschädigen.

Für die Bauausführung, das Qualitätsmanagement und den Betrieb sind die Vorgaben der DIN 19667 zu beachten.

4.5 Rohrdurchführungen

Vertikale Durchdringungen der Basisabdichtung (z. B. mit Rohren oder Schächten) sind nicht zulässig. Horizontale Durchdringungen (z. B. durch Rand- oder Böschungsabdichtungen) der Entwässerungsleitungen sind elastisch, wasserdicht und kontrollierbar auszuführen.

Dabei ist zu beachten, dass von den Entwässerungsleitungen nur zulässige Lasten in die Kunststoffdichtungsbahnen übertragen werden. Axialverschiebungen der Entwässerungsleitungen müssen ohne Öffnung der Rohrmuffen möglich sein.

Weitere Anforderungen sind in DIN 19667 festgelegt, weitere Details werden in der E 2-27 und der SKZ/TÜV-LGA GÜTERICHTLINIE, 2010 spezifiziert.

4.6 Kontroll- und Reinigungsschächte

Schächte sind grundsätzlich außerhalb des Deponiekörpers anzuordnen. Sie sind sickerwasserbeständig und vollständig wasserdicht auszuführen und einschließlich der Schachtabdeckungen ausreichend groß zu dimensionieren, damit in den Schächten mit Atemschutzausrüstung gearbeitet werden kann. Außerdem sollen von den Schächten ausgehend die vorgeschriebenen Messungen und Untersuchungen des Zustandes der Entwässerungsleitungen möglich sein.

Dazu müssen die Innendurchmesser der Schächte mindestens 1,5 m betragen und die Einstiegsöffnungen einen \emptyset von mindestens 1,0 m aufweisen. In die Schächte dürfen Einstieghilfen wie z. B. Bügel nur eingebaut werden, wenn durch Konstruktion und Materialwahl Korrosionsgefahr ausgeschlossen werden kann.

Um Gas- und Geruchsemissionen zu vermeiden, soll das gesamte Leitungssystem geschlossen (Schächte ohne Lüftungsöffnungen) ausgeführt werden.

Die Einmündungen der Entwässerungsleitungen sind gesondert gegen Luftzutritt zu sichern (z. B. mit T-Stücken und Wasservorlagen).

Die Schächte können z. B. aus Stahlbeton, aus Kunststoff oder aus einer Kombination beider Baustoffe hergestellt werden (z. B. Stahlbeton mit Kunststoffauskleidung). Hinsichtlich der Materialqualitäten gelten sinngemäß die unter Ziffern 4.2 und 4.4 angeführten Anforderungen. Die Arbeitssicherheitsbedingungen, unter denen in den Schächten gearbeitet werden darf, sind unter Beachtung der Unfallverhütungs- und Arbeitsschutzvorschriften in allen Einzelheiten festzulegen.

DIN 19667, die SKZ/TÜV-LGA GÜTERICHTLINIE, 2010 und RAMKE, 1998 geben weitere Hinweise auf die Gestaltung der Schächte.

Sollte es ausnahmsweise aufgrund deponiespezifischer Randbedingungen oder bei Altdeponien erforderlich sein, Schächte innerhalb des Deponiekörpers neu zu errichten oder zu sanieren, so sind die E 2-22 und E 2-25 zu beachten.

5 Besonderheiten

5.1 Anordnung von Rigolen

Um die Wirksamkeit des Regel-Entwässerungssystems zu steigern, können zusätzlich zur Entwässerungsschicht fischgrätenartig zu den Entwässerungsleitungen verlaufende Rigolen vorgesehen werden. Hierfür werden folgende Abmessungen und Parameter empfohlen:

- Fußbreite der Rigolen $> 2,5$ m
- Höhe der Rigolen $> 1,0$ m
- Rigolenabstand 15 - 20 m
- Körnung der Rigolen möglichst grob, z. B. 32 - 150 mm.

Die Rigolen werden dem Verlauf der Falllinie folgend angeordnet.

Das Material der Rigolen soll langfristig unter Betriebsbedingungen einen höheren Durchlässigkeitsbeiwert (z. B. $k > 10^{-2}$ m/s) als die Entwässerungsschicht aufweisen, d. h., im Einbauzustand sollte $k > 10^{-1}$ m/s gelten. Ansonsten gelten die unter Abschnitt 4.3 für die Entwässerungsschicht angeführten Anforderungen auch für die Rigolen.

5.2 Entwässerungssystem an Böschungen

Für Entwässerungssysteme an Böschungen gelten die Empfehlungen zum Regel-Entwässerungssystem gemäß Abschnitt 4 sinngemäß. Je nach den Ergebnissen der Gleitsicherheitsberechnungen sind ggf. zusätzliche Maßnahmen gegen Gleiten auszuführen (z. B. Einbau von Geogittern).

Die Ausbildung des Rohrauflegers und der Leitungszone für die Entwässerungsleitungen ist für jeden Einzelfall besonders zu konstruieren und nachzuweisen. Zur Linienführung der Entwässerungsleitungen können in besonderen Fällen außer Geraden auch Kurven mit großen Radien vorgesehen werden, soweit die Leitungen noch einwandfrei gereinigt und kontrolliert werden können.

Die Dicke der Entwässerungsschicht und der Abstand der Entwässerungsleitungen sowie ggf. der Einbau von Rigolen ergibt sich aus dem hydraulischen Nachweis gemäß Ziffer 6. 1. Jedoch sind eine Mindestdicke von 0,3 m und ein Höchstabstand der Leitungen von 15 m einzuhalten, sofern kein hydraulischer Nachweis unter Berücksichtigung des Ausfalles einer Entwässerungsleitung erbracht wird. Der maximale Abstand der Entwässerungsleitungen sollte 30 m nicht übersteigen.

Bei Böschungen mit einer Neigung von über 25 % kann auf den Einbau der Entwässerungsleitungen verzichtet werden, wenn ein hydraulischer Nachweis erbracht wird. Am Fuß der Böschungen sind Entwässerungsleitungen zur Ableitung des im Böschungsbereich anfallenden Sickerwassers anzuordnen

5.3 Entwässerungssystem mit Stollen

Stollen in Basisentwässerungssystemen können in Sonderfällen erforderlich werden, z. B. wenn bei sehr großen Abmessungen des Deponiekörpers die zulässigen Leitungslängen überschritten werden.

Vom Innenraum der Stollen ausgehend müssen alle einmündenden Entwässerungsleitungen einwandfrei und sicher gespült und kontrolliert werden können.

Es ist sicherzustellen, dass das Sickerwasser in freiem Gefälle aus dem Stollen abfließen kann.

Es ist insbesondere zu klären, welche Vorrichtungen und Anlagen benötigt werden, um von dem Stollen aus alle Entwässerungs- und Sickerwasser-Sammelleitungen unter Beachtung aller Unfallverhütungs- und Arbeitsschutzvorschriften reinigen und kontrollieren zu können.

Für jeden Einzelfall sind die Bauart, die Baustoffe und die Abmessungen der Stollen besonders zu konstruieren und nachzuweisen.

Infolge der härteren Baugrund-Federung unter Stollen ergibt sich gegenüber dem umgebenden Basis-Abdichtungs- und -Entwässerungssystem ein anderes Setzungs- und Verformungsverhalten. Die Anschlüsse der Basisabdichtung an den Stollen sowie die Rohrdurchführungen der Entwässerungsleitungen in den Stollen müssen trotz eventueller Setzungen und Verformungen auf Dauer gas- und druckwasserdicht sein. Sie dürfen bei unterschiedlichen Verformungen nicht überbeansprucht werden.

Die Lastkonzentration der Auflasten auf die Stollenbauwerke ist im Einzelfall zu ermitteln.

Durch sogenannte Stützkeile, die im seitlichen Stollenarbeitsraum in Form von wenig verformbarem gebrochenem Gesteinsmaterial eingebaut werden, kann ein kontinuierlicher Übergang von der harten Baugrund-Federung unter dem Stollen zu der weichen Baugrund-Federung unter der normalen Basisabdichtung erreicht werden (PIERAU/WITTKÉ 1996).

6 Rechnerische Nachweise

6.1 Hydraulische Nachweise

- a) Hydraulische Bemessung des Entwässerungssystems auf der Basisabdichtung (Entwässerungsschicht, Abstand der Sickerrohre und Quergefälle)

Für das Regelentwässerungssystem sind unter den aufgeführten Anforderungen und Beanspruchungen die hydraulischen Nachweise gemäß RAMKE, 1991 erbracht.

Falls vom „Regel-Entwässerungssystem“ abgewichen wird, müssen gesonderte Nachweise aufgestellt werden. Dazu können die Berechnungsvorschläge gemäß RAMKE, 1991 (s.a. RAMKE 1998) genutzt werden.

- b) Hydraulische Bemessung der Sickerrohre, der Sammelleitungen sowie von Pumpwerken

Die Rohrleitungen sowie Pumpwerke sind hydraulisch so zu dimensionieren, dass ein Rückstau von Sickerwasser in den Abfallkörper für den Bemessungsregen bzw. die Bemessungssickerwasserspense auszuschließen ist. Für darüber hinausgehende Ereignisse ist nachzuweisen, dass das Sickerwasser aus dem Fassungs- und Ableitungssystem nicht in den Untergrund oder die Oberflächenentwässerung gelangt.

6.2 Nachweis der Setzungen und Verformungen

Die Setzungen, Verformungen und Spreizungen der gesamten Deponiebasis einschließlich der Basisabdichtung und der Basisentwässerung sind für alle Lastfälle nachzuweisen.

6.3 Gleitsicherheitsnachweise

Die Gleitsicherheitsnachweise in den einzelnen Fugen des Basisabdichtungs- und des Entwässerungssystems sind gemäß E 2-7 auszuführen.

6.4 Standsicherheitsnachweise für die Entwässerungsrohre

Die Tragfähigkeit (Materialfestigkeiten, Stabilität) und Gebrauchstauglichkeit (Verformungen) der Entwässerungsrohre sind projektspezifisch nachzuweisen. Hierfür können die Bemessungsgrundsätze des DWA-MERKBLATTES ATV-M 127-1, 1996 herangezogen werden.

Literatur

- DWA-FACHAUSSCHUSS 3.6, 1997: Ablagerung von Schlacken aus Hausmüllverbrennungsanlagen vor dem Hintergrund der Anforderungen der TA Siedlungsabfall
Arbeitsbericht des ATV-Fachausschusses 3.6 „Deponien“
Korrespondenz Abwasser, Heft 1
- DWA-MERKBLATT ATV-M 127-1, 1996: Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungsleitungen für Sickerwasser aus Deponien
Ergänzung zum Arbeitsblatt ATV-A 127
Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef
- GERMAN SOCIETY FOR TRENCHLESS TECHNOLOGY (GSTT), 2007: Instandhaltung von Entwässerungsleitungen in Deponien, Information Nr. 9
Arbeitskreis Nr. 3: Grabenloses Bauen, Leitungsinstandhaltung
GSTT, Berlin
- KOSTRA-DWD, 2000: Koordinierte Starkniederschlags-Regionalisierungs-Auswertungen
offizielle digitale KOSTRA-Software des DWD - Deutscher Wetterdienst
Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH, Hannover
- KRÜMPELBECK, I.; EHRIG, H.-J., 2001: Sickerwasser – menge, Zusammensetzung und Behandlung, Müll-Handbuch, Kennziffer 4587, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- MÜNNICH, K.; FRICKE, K., 2005: Qualität von Sicker- und Oberflächenwasser von MBA-Deponien, Münsteraner Schriften zur Abfallwirtschaft 8, Münster
- RAMKE, H.-G.; BRUNE, M., 1990: Untersuchung zur Funktionsfähigkeit von Entwässerungsschichten in Deponiebasisabdichtungssystemen, Abschlußbericht
Bundesminister für Forschung und Technologie, FKZ 14504573
- RAMKE, H.-G., 1991: Hydraulische Beurteilung und Dimensionierung der Basisentwässerung von Deponien fester Siedlungsabfälle - Wasserhaushalt, hydraulische Kennwerte, Berechnungsverfahren - Dissertation
Mitteilungen aus dem Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Heft 114
Technische Universität Braunschweig

- RAMKE, H.-G., 1998: Sickerwassersammlung und -ableitung
in: Handbuch der Müll- und Abfallbeseitigung, Kennziffer 4545
Erich Schmidt Verlag, Berlin
- RAMKE, H.-G., 2009: Entwicklung des Sickerwasserabflusses von Siedlungsabfalldeponien nach dem Aufbringen der Oberflächenabdichtung
in: KLAPPERICH, H.; KATZENBACH, R.; WITT, K. J.; GRIEßL, D. (HRSG.), 2009: 4. Symposium Umweltgeotechnik & 5. Freiburger Geotechnik-Kolloquium
CiF e.V. publication 7, Freiberg
- PIERAU, B., WITTKÉ, W., 1996: Entwurf eines Kontrollgangs für die Erweiterung der Schuttdeponie „Friesenheimer Insel“ in Mannheim
in: Vorträge der Baugrundtagung 1996 in Berlin, DGGT, S. 445-456
- SKZ/TÜV-LGA GÜTERICHTLINIE, 2010: Rohre, Rohrleitungsteile, Schächte und Bauteile in Deponien
Erstellt und herausgegeben von der Arbeitsgruppe Güterrichtlinie
Bezugsquelle: TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH, Nürnberg
- TURK, M., 1996: Inkrustationen in Entwässerungssystemen von MVA-Asche- und Klärschlammdeponien, Müll und Abfall, Heft 9
- TURK, M.; WITTMAYER, M.; COLLINS, H.-J.; HARBORTH, P.; Hanert, H.H., 1993: Inkrustationen (feste biogene Ablagerungen) im Entwässerungssystem von Deponien - Erhaltung der Funktionsfähigkeit und Untersuchungen an Klärschlamm- und MVA-Schlacke/Aschedeponien
In: Fortschritte der Deponietechnik 93, Fachtagung, September 1993
Haus der Technik, Essen
- TURK, M.; WITTMAYER, M., 1994: Erhaltung der Funktionsfähigkeit von Deponieentwässerungssystemen - abfallwirtschaftliche und betriebstechnische Maßnahmen, Abschlußbericht
Bundesminister für Forschung und Technologie, Verbundvorhaben
Deponieabdichtungssysteme, FKZ 14400569 A5-16

Regelwerke

- DEPONIEVERORDNUNG (DEPV), 2009: Verordnung über Deponien und Langzeitlager, Artikel 1 der Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts, 27. April 2009, BGBl I, S. 900
- DIN 4266-1:2010-04: Sickerrohre für Deponien – Teil 1: Sickerrohre aus PE und PP (Norm-Entwurf)
- DIN 19 667:2009-10: Dränung von Deponien – Planung, Bauausführung und Betrieb
- DIN EN 12620:2011-3: Gesteinskörnungen für Beton (Norm-Entwurf)

**Ansprechpartner
und Bearbeiter:** Prof. Dr.-Ing. Hans-Günter Ramke
Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Standort Höxter
37671 Höxter, hans-guenter.ramke@hs-owl.de