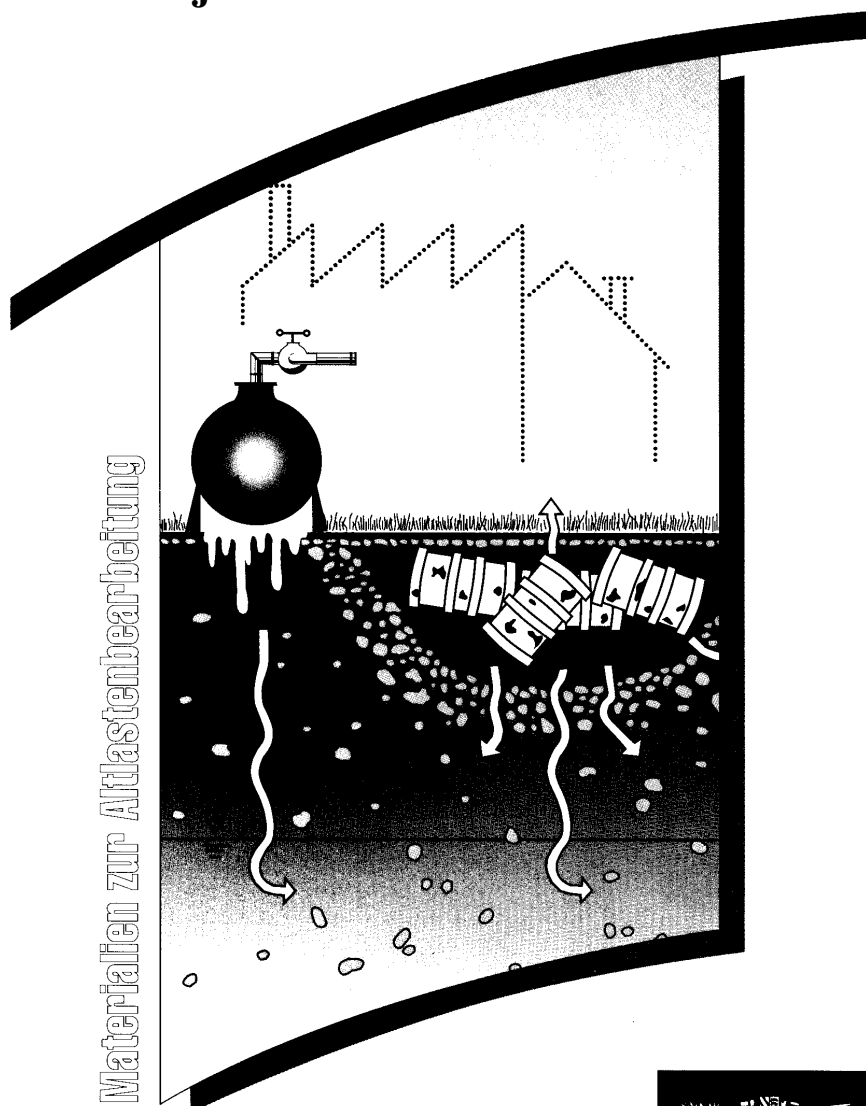


**Handbuch Altlasten
und Grundwasserschadensfälle**

Sicherung von bestehenden Bauten gegen Gefahren durch Deponiegas

- Objektschutz -



Materialien zur Altlastenbearbeitung



**BODEN
ABFALL
ALTLASTEN**



**Handbuch Altlasten
und Grundwasserschadensfälle**

**Sicherung von bestehenden
Bauten gegen Gefahren
durch Deponiegas
- Objektschutz -**



Herausgegeben von der
Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg
1. Auflage

Karlsruhe 1995



Altlastenfachinformation im WWW

Impressum

Herausgeber: Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg

Projektbearbeitung: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Abteilung 5 – Boden, Abfall, Altlasten
Referat 54 – Altlastensanierung
Frieder Kern

Verfasser: Ingenieurbüro Roth & Partner GmbH
Hans-Sachs-Straße 9
76133 Karlsruhe

Karlsruhe, November 1995

Bei diesem Ausdruck handelt es sich um eine Adobe Acrobat Druckvorlage. Abweichungen im Layout vom Original sind rein technisch bedingt. Der Ausdruck sowie Veröffentlichungen sind -auch auszugsweise- nur für eigene Zwecke und unter Quellenangabe des Herausgebers gestattet.

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	1
ZUSAMMENFASSUNG	2
1. EINLEITUNG / ZIELSETZUNG	3
1.1 PROBLEMSTELLUNG.....	4
2. ERKUNDUNG UND BEWERTUNG DER SITUATION	5
2.1 DEPONIEGASPOTENTIAL.....	5
2.2 TRANSPORTWEGE.....	5
2.3 POTENTIELL GEFÄHRDETE OBJEKTE UND NUTZUNGEN.....	6
2.4 GEFAHRENBEURTEILUNG.....	7
3. SANIERUNGSVORSCHLAG	10
3.1 SANIERUNGSGRUNDSÄTZE.....	10
3.2 SANIERUNGSGRUNDKONZEPTE.....	11
3.2.1 Gastechnische Sanierung der Altablagerung.....	11
3.2.2 Gassperren an bzw. um die Altablagerung.....	13
3.2.3 Schutzmaßnahmen am Objekt.....	16
3.2.4 Kontrollmaßnahmen an der Altablagerung sowie am Objekt.....	20
4. TECHNISCHE DETAILS FÜR SANIERUNGSMABNAHMEN	22
4.1 ENTGASUNG DER ALTABLAGERUNG.....	22
4.1.1 Passive Entgasung über die Oberflächendiffusion, Gasfenster.....	22
4.1.2 Zwangsentgasung über vertikale Gaskollektoren.....	24
4.1.3 Zwangsentgasung über Drainagegraben.....	31
4.2 SICHERUNGSMABNAHMEN AN BZW. UM DIE ALTABLAGERUNG.....	36
4.2.1 Gassperren an der Oberfläche der Altablagerung.....	36
4.2.2 Senkrechte Gassperren an den Ablagerungsflanken.....	40
4.3 SICHERUNGSMABNAHMEN AM OBJEKT.....	45
4.3.1 Wandaußenschutz bei Gebäuden neben der Ablagerung.....	46
4.3.2 Wand- und Bodenschutz bei Gebäuden auf der Ablagerung.....	48
4.3.3 Sicherung von Ver- und Entsorgungseinrichtungen.....	50
4.3.4 Sicherung von Straßenkörpern.....	52
4.3.5 Sicherung von Leitungsdurchführungen bei Bauwerken.....	54
4.4 KONTROLLMAßNAHMEN AN DER ALTABLAGERUNG SOWIE AM OBJEKT.....	55
4.4.1 Kontrollsonden.....	55
4.4.2 Gaswarngeräte.....	56
4.4.3 Gaskonzentrationsmeßgeräte.....	57
4.4.4 Regelmäßige technische Kontrolle.....	57
4.5 SCHUTZMAßNAHMEN IM OBJEKT.....	58
4.6 GASENTSORGUNG, GASBEHANDLUNG.....	60
5. SICHERHEITSVORKEHRUNGEN	62
5.1 SICHERHEITSMAßNAHMEN BEIM BAU DER MAßNAHME.....	62
5.2 SICHERHEITSMAßNAHMEN BEIM BETRIEB DER ANLAGE.....	62
6. LITERATURVERZEICHNIS	64

ANHANG 1: AUSFÜHRUNGSDETAILS.....	67
ANHANG 1.1 GASKOLLEKTORAUSFÜHRUNGEN.....	67
ANHANG 1.2 DRÄNAGEGRABENAUSFÜHRUNG.....	72
ANHANG 1.3 GASSPERREN AN DER OBERFLÄCHE VON ALTABLAGERUNGEN.....	73
ANHANG 1.4 SENKRECHTE GASSPERRE AN DER ABLAGERUNGSFLANKEN.....	74
ANHANG 1.5 WAND- UND BODENSCHUTZ BEI GEBÄUDEN.....	76
ANHANG 1.6 SICHERUNG VON VER- UND ENTSORGUNGSEINRICHTUNGEN.....	80
ANHANG 1.7 SICHERUNG VON LEITUNGSDURCHFÜHRUNGEN BEI BAUWERKEN.....	83
ANHANG 2: SANIERUNGSBEISPIELE.....	86
ANHANG 2.1 SANIERUNGSBEISPIEL 1 - GASPHASE IV, KLEINGARTENANLAGE AUF ALTABLAGERUNG.....	87
ANHANG 2.2 SANIERUNGSBEISPIEL 2 - GASPHASE IV, HALLE OHNE KELLER AUF ALTABLAGERUNG.....	88
ANHANG 2.3 SANIERUNGSBEISPIEL 3 - GASPHASE III, GEBÄUDE MIT UNTERKELLERUNG NEBEN ALTABLAGERUNG -.....	90
ANHANG 2.4 SANIERUNGSBEISPIEL 4 - GASPHASE II, EINZELNES GEBÄUDE NEBEN ALTABLAGERUNG -.....	92
ANHANG 2.5 SANIERUNGSBEISPIEL 5 - GASPHASE IV, STRABENKÖRPER MIT DRÄNAGEN NEBEN ALTABLAGERUNG -.....	94
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	96
TABELLENVERZEICHNIS.....	96
INDEXVERZEICHNIS.....	97

Vorwort

Deponiegas entsteht in Altablagerungen noch lange Zeit. Es kann sich auf vielfältige Art und Weise nachteilig auf Nutzungen in der Umgebung auswirken. So kann es zu Explosionen und Bränden, zu Geruchsbelästigungen bzw. Vergiftungen von Menschen führen. Beim Eindringen in geschlossene, begangene Räume kann es zum Erstickungstod kommen. Ferner kann Flora und Fauna geschädigt werden. Erhebliche Personen- und Sachschäden sind auf diese Weise bereits entstanden. Schutz- und Abwehrmaßnahmen sind verstärkt anzuwenden. Sie müssen dauerhaft und sicher wirken. Die Schadensereignisse treten für die Betroffenen meist unvorhergesehen ein.

Die LfU hat das Ingenieurbüro Roth damit beauftragt, die Erfahrungen mit verschiedensten Schutz- und Abwehrmaßnahmen an praktischen Fällen auszuwerten. Planungsgrundsätze für Sicherungskonzepte und Hinweise für praktikable bautechnische Maßnahmen sind im vorliegenden Handbuch dargestellt.

Das Handbuch wendet sich vor allem an die Sachverständigen, welche im Einzelfall Sicherungskonzepte zu entwickeln, und an die Verwaltungsbehörden, welche diese Konzepte zu prüfen und über Art und Umfang von technischen Maßnahmen zu entscheiden haben.

Die Umstände, die zu einer Gefahrensituation führen können sind oftmals schwer voraussehbar. Die im Handbuch gemachten Empfehlungen können schon deshalb nicht die einzelfall-spezifische Prüfung und Beurteilung der örtlichen Situation durch Sachverständige ersetzen.

Im Handbuch werden nachträgliche Schutzmaßnahmen an bestehenden Objekten behandelt. Wenn man auf oder in der Nähe von Altablagerungen Objekte neu plant bzw. errichtet, gelten andere Grundsätze. Ebenfalls ist der Katalog bautechnischer Maßnahmen ein anderer. Ein gesondertes Handbuch soll sich mit diesem Thema beschäftigen.

Erfahrungen aus der Anwendung dieses Handbuchs sollen in eine Fortschreibung Eingang finden. Um Rückmeldungen wird deswegen ausdrücklich gebeten.

Den Mitgliedern des Arbeitskreises "Deponiegas Baden-Württemberg", welcher sich in mehreren Sitzungen mit dieser Thematik befaßte, sei an dieser Stelle für seine Mithilfe beim Zustandekommen der Schrift und für die sachdienlichen Hinweise und Anregungen besonders gedankt.

Dr.-Ing. Seng
Abteilungsleiter

Zusammenfassung

Bei Altablagerungen kann Deponiegas entstehen, welches je nach Deponiegaspotential, vorhandenen Gastransportwegen und Situation des zu schützenden Objektes zu einer Gefährdung führen kann. Dieser Tatsache wird bei der Erkundung von Altablagerungen Rechnung getragen. In dieser Schrift wird der Fall betrachtet, daß die nähere Erkundung abgeschlossen ist (BN 3 erreicht), und daß die Bewertung in der Bewertungskommission den Handlungsbedarf "Durchprüfen von Sanierungsmaßnahmen" ergab. Vorliegende Schrift soll dem planenden Ingenieur die Grundlage für die Entwicklung eines Sanierungsvorschlages liefern und die technische Fachbehörde in die Lage versetzen, diesen prüfen und eine Festlegung in der Bewertungskommission beim Beweisniveau 4 treffen zu können.

Bei der Festlegung und Planung des Sanierungskonzeptes ist stufenweise vorzugehen. Ausgehend von der durchgeführten Gefahrenbeurteilung und -bewertung sind die Schritte Konzeption und Festlegung des Sanierungskonzeptes, Entwurfsplanung und Detailplanung durchzuführen.

Die vorliegende Informationsschrift zeigt die möglichen Sanierungskonzepte und Detaillösungen beispielhaft.

Der Aufbau der Informationsschrift entspricht der stufenweisen Vorgehensweise bei der Sanierungsvorplanung.

Detaillkonstruktionen sowie Hersteller- und Lieferantangaben sind in den Anlagen zusammengefaßt.

1. Einleitung / Zielsetzung

Bei Altablagerungen können Deponiegase entstehen, welche eine Gefährdung für Objekte und Nutzungen auf und neben der Altablagerung darstellen können.

Wie solche Gefährdungen durch Maßnahmen an der Altablagerung und/oder am Bauwerk ausgeschlossen werden können, ist Thema der vorliegenden Informationsschrift. Dabei behandelt die Informationsschrift ausschließlich Altablagerungen mit überwiegendem Hausmüllanteil.

Die Schrift ist folgendermaßen gegliedert:

Kapitel 1
Einleitung, Zielsetzung

Aus den spezifischen Eigenschaften des Deponiegases werden Ziele von Sanierungskonzepten entwickelt

Kapitel 2
Erkundung und Bewertung der Situation

Die zielorientierte Erkundung wird in ihren Grundzügen erläutert.

Kapitel 3
Sanierungsgrundsätze

Die dem Sanierungsvorschlag zugrundeliegenden Sanierungsgrundsätze werden dargestellt. Es wird gezeigt, wie eine Sanierungskonzeption durch Kombination unterschiedlicher Maßnahmen entwickelt werden kann.

Kapitel 4
Technische Details für Sanierungsmaßnahmen

Einzelne technische Maßnahmen werden detailliert dargestellt und ein Kostenrahmen abgesteckt.

Kapitel 5
Sicherheitsvorkehrungen

Die bei Gestaltung und Betrieb von Anlagen zu beachtenden Sicherheitsvorkehrungen werden erläutert.

Kapitel 6
Anhang

Der Anhang enthält Literaturhinweise, Anwendungsbeispiele und Ausführungsdetails.

1.1 Problemstellung

Die Bedingungen für die Deponiegasentstehung sowie deren Auswirkungen auf die Umwelt sind im Leitfaden Deponiegas "Der Deponiegashaushalt in Altablagerungen, Vorgehensweise und Technik zu deren Erkundung und Bewertung [RUK, 10/92]" detailliert beschrieben.

Deponiegas kann folgende **Gefahren** und Nachteile verursachen:

- Explosion
- Brand
- Erstickung
- Vergiftung
- Geruchsbelästigung
- Schädigung von Flora und Fauna

Je nach Situation kann:

- die Wirkung plötzlich und ohne erkennbare Vorankündigung eintreten,
- die Entfernung von der Altablagerung bis zum gefährdeten Objekt beträchtlich sein,
- sich das Ausmaß des Gefahrenbereiches zeitlich ändern; bisher nicht gefährdete Objekte können durch Änderung der Bedingungen für die Deponiegasentstehung und -ausbreitung gefährdet sein.

Neben den Hauptkomponenten beinhaltet Deponiegas Stoffe von toxischem bzw. krebserzeugendem Potential.

Der Explosionsbereich von Deponiegas bei Vermischung mit Luft liegt bei 5 Vol.% bis 15 Vol.% Methan.

Diesen Merkmalen müssen Abwehr- und Sicherungsmaßnahmen Rechnung tragen.

2. Erkundung und Bewertung der Situation

Die Vorgehensweise bei der Erkundung und Beurteilung der Situation ist im Leitfaden "Deponiegas", [RUK, 10/92] ausführlich dargestellt. Zusammenfassend ist bei der Beurteilung der Situation und Entwicklung von Maßnahmen zur Gefahrenabwehr von Bedeutung:

- das **Deponiegaspotential** (Menge, Zusammensetzung, Produktion, Druck),
- **mögliche Transportwege** von der Altablagerung zu potentiell gefährdeten Objekten,
- **potentiell gefährdete Objekte oder Nutzungen**, ihre Bedeutungen und die Art ihrer Gefährdung.

Im folgenden wird darauf näher eingegangen.

2.1 Deponiegaspotential

Zur Ermittlung des **Deponiegaspotentials** durch Schätzung aus Kenndaten oder Messung an Ort und Stelle wird auf den Leitfaden "Deponiegas", [RUK, 10/92] verwiesen. Die im folgenden Text genannten Gasphasen beziehen sich ebenfalls auf diese Schrift.

2.2 Transportwege

Für die Deponiegasausbreitung (Migration) sind verschiedene physikalische Wirkungsmechanismen verantwortlich. Für technische Zwecke relevant sind die Ausbreitung durch:

- Druckdifferenz (Konvektion) und Konzentrationsdifferenz (Diffusion) in den gasdurchlässigen Poren des Untergrundes oder der Altablagerung,
- Schwerkraft (Dichteunterschiede), Diffusion und Windverfrachtung in der freien Atmosphäre,
- in Wasser gelöst, z.B. Grund- und Sickerwasser.

Die prinzipiellen Transportwege sind in **Bild 1** skizziert:

A) Austritt in die Atmosphäre

B) Seitliche Wanderung unterhalb undurchlässiger Schicht und Eindringen in Bauwerke oder Wurzelraum

C) Bevorzugte Bewegung in Schichten höherer Durchlässigkeit

D) Lösung von CO₂ im Grundwasser

E) Transport in künstlichen Bauwerken (z.B. Rohrleitungen)

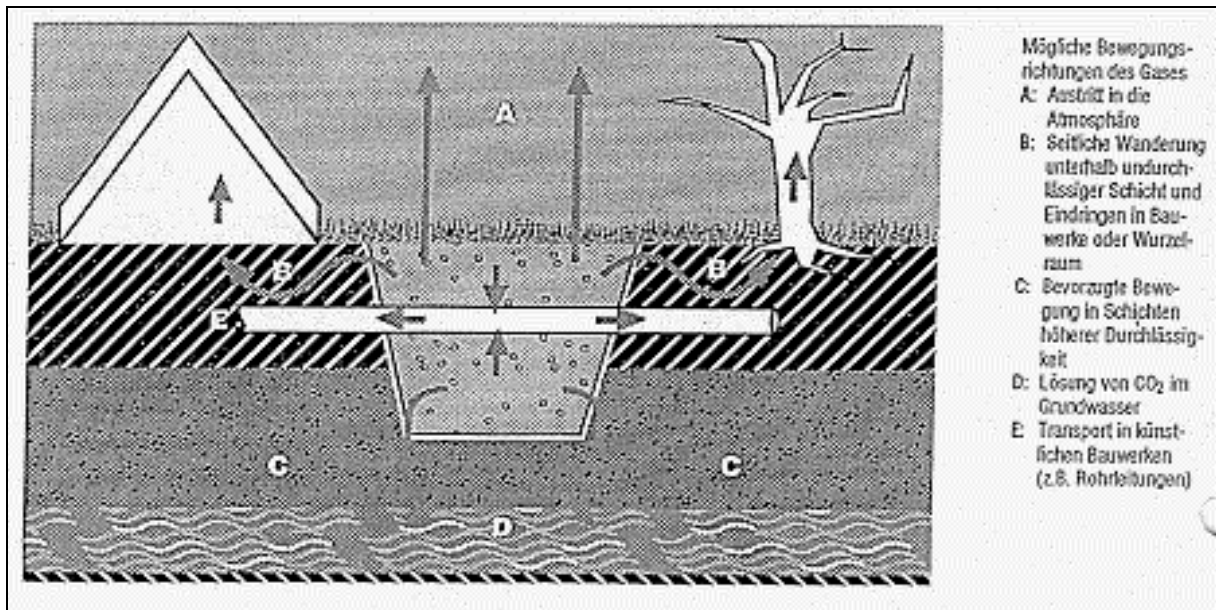


Bild 1: Mögliche Ausbreitungswege von Deponiegas

Entscheidend für die Volumenströme in den einzelnen Transportwegen sind die gemäß Ziff. 2.1 ermittelte Deponiegasproduktion und die Gaswegsamkeiten.

Äußere Einflüsse, z. B. Niederschläge, Schneefälle, Frost und Temperaturveränderung, können die Gasproduktion, die Gaswegsamkeiten im Untergrund und infolgedessen die Volumenströme ändern.

2.3 Potentiell gefährdete Objekte und Nutzungen

Deponiegas kann eine Gefahr für Leben und Gesundheit von Mensch, Tier und Pflanzen sowie eine Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit von Objekten darstellen.

A) Beispiele für gefährdete Objekte auf bzw. in der Altdeponie oder im Migrationsbereich des Deponiegases:

- Gebäude (Explosions-, Brand-, Erstickungs-, Vergiftungsgefahr).
- Unterirdische Bauwerke (Explosions-, Brand-, Erstickungs-, Vergiftungsgefahr). Insbesondere zählen hierzu Kanalanlagen, Unterführungen, Tunnels, Leerrohre. Diese Bauwerke stellen auch einen optimalen Transportweg zu mittelbar gefährdeten Objekten dar.
- Baugruben, Vertiefungen, Becken, Schächte (Explosions-, Brand-, Erstickungs-, Vergiftungsgefahr). Verstärkung der Gefahr durch Abdeckung der Objekte.
- Zeltplätze, Freizeitplätze (Kinderspielplätze, Grillplätze etc.) (Explosions-, Brand-, Erstickungs-, Vergiftungsgefahr) mit teilweise überdachten Flächen.
- Landwirtschaftliche, forstwirtschaftliche oder gartenbauliche Nutzungsflächen (Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums durch Sauerstoffverdrängung).
- Bauwerke aus korrosionsgefährdeten Werkstoffen, insbesondere Metalle (Gefahr der Korrosion).
- Biotop (Beeinträchtigung von Flora und Fauna)

B) Beispiele für gefährdete Tätigkeiten

Durch Deponiegas können folgende Nutzungen auf der Altablagerung bzw. im Migrationsbereich des Deponiegases gefährdet sein:

- Wohnen
- Arbeiten
- Spielen, insbesondere in überdachten Bereichen
- Freizeitgestaltung, insbesondere Grillen sowie Aufenthalt in überdachten Flächen (hierzu zählt auch der Aufenthalt in Zelten)
- Festveranstaltungen in Zelten oder Leichtbauten
- Zeitweiser Aufenthalt in Wochenendbauten sowie Kleingartenanlagen
- Grabarbeiten in Kleingärten sowie Vorgärten
- Bauarbeiten, wie Ausschachtungen, Bohrungen, Rammungen
- Montage- und Reparaturarbeiten
- Elektrische Schaltungen, elektrische Aufladungen
- Betrieb von offenem Feuer und Licht
- Durchführung von Technischen Erkundungen, wie Gasmessung, Sondierung, Bohrung, Schürfung.

2.4 Gefahrenbeurteilung

Zur Beurteilung der möglichen Gefahren durch Deponiegas auf und in der Nähe von Altablagerungen ist eine sorgfältige Vorerkundung und ein hohes Maß an Fachwissen erforderlich. Die vorgekommenen Unfälle der Vergangenheit zeigen, daß die Schadensereignisse für die Betroffenen ohne Vorankündigung eintraten oder Vorankündigungen - möglicherweise aus Unkenntnis - nicht ernst genommen wurden. Zum Schadensereignis kam es oft durch Verkettung ungünstiger Umstände.

Deshalb ist in Fällen, bei denen Gefahren durch Deponiegas nicht von vornherein ausgeschlossen werden können, ein **Sicherheitstechnisches Gutachten** durch einen Sachverständigen anfertigen zu lassen.

Seitens des Auftraggebers sollte ein Nachweis des Sachverstands gefordert werden, beispielsweise erfolgreiche Teilnahme an Prüfungen, Teilnahme an Fortbildungsveranstaltungen oder Nennung von Referenzprojekten.

Nachfolgend sind Gesichtspunkte aufgeführt, die bei der Erstellung des Sicherheitstechnischen Gutachtens zu berücksichtigen sind:

1. *umfassend erkunden*,
beispielsweise:
 - alle vorhandenen Informationen auswerten,
 - prüfen, ob vollständig erkundet wurde, erforderlichenfalls:
 - Keller räumen,
 - Wandverkleidungen und Bodenbeläge entfernen,
 - Gesamtsystem betrachten,
 - gesamtes Umfeld prüfen,
2. *die ungünstigsten Fälle und Verkettung ungünstigster Umstände betrachten*,
beispielsweise:
 - Luftdruckänderungen,
 - mögliche Beeinträchtigung des Gasaustauschs mit der Atmosphäre, wie Sättigung der Bodenporen durch Niederschlagswasser, Schnee,
 - mögliche Reduktion von Emissionsflächen durch technische Eingriffe, wie Abdichtung der Deponieoberfläche oder Erstellung dichtender Trennelemente im Umfeld,
 - Austrocknung von Siphons,
 - Ausfall von Gaswarngeräten,
 - Ausfall von (Zwangs-)belüftungseinrichtungen,
 - mögliche Zündquellen,
 - unvollständige Beachtung von Betriebsanweisungen,
 - ungenügende Information der Betroffenen.
3. *vollständige Dokumentation aller Meßergebnisse*,
beispielsweise:
 - Beschreibung der Meßstellen,
 - Darstellung der Meßbedingungen (fallender oder steigender Luftdruck, Temperatur, Charakterisierung des Wetters der zurückliegenden Tage/Wochen),
 - Auswertung der Meßdaten, wie Ganglinien, Linien gleicher Konzentration.
4. *nachvollziehbare Schlußfolgerungen*
beispielsweise:
 - Aufzeigen der möglichen Gefährdungspfade,
 - Aufzeigen der möglichen Gefahrensituationen.

Die Gefahrenbeurteilung erfolgt in den vier Schritten:

1. Ermittlung des Gaspotentials
2. Ermittlung der Transportwege
3. Ermittlung der potentiell gefährdeten Objekte oder Nutzungen
4. Ermittlung der Wahrscheinlichkeit eines Schadensereignisses und Abschätzung der voraussichtlichen Höhe des Schadens.

Entsprechend den örtlichen Verhältnissen für die Beurteilung können folgende Kriterien wichtig sein:

- a) Lage des Schutzgutes zur Ablagerung**
- b) Größe der Kontaktfläche mit Altablagerung**
- c) Ausbildung dieser Kontaktfläche bezüglich Gasdichtigkeit**
- d) Möglichkeit des Luftaustausches am Objekt**
- e) Qualität der Transportwege zum Objekt**
- f) Entgasungsmöglichkeit der Altablagerung**

Dazu wird erläutert:

- **zu b)** Große Kontaktflächen sind vorhanden, wenn diese Objekte nicht nur auf der Oberfläche sondern in der Altablagerung liegen; wie z.B. bei Kellern, Kanalanlagen oder Baugruben
- **zu c)** Gute Wegsamkeiten entstehen z.B. durch Risse, nicht gedichtete Fugen an Rohrdurchführungen, durchlässige Materialien
- **zu d)** Verminderter bzw. verhinderter Luftaustausch am Objekt entsteht z.B. bei Überdachungen, Gesamtumhausungen
- **zu e)** Gute Transportwege zum Schutzobjekt sind z.B. Kanalrohre, Dränagen, Kabelleerrohre, Grabenverfüllungen mit rolligem Material
- **zu f)** Erhöhter Gasdruck kann in der Altablagerung entstehen z.B. durch Unterbindung bzw. Behinderung der großflächigen Gasemission über die Oberfläche, wenn Abdeckungen, Abdichtungen oder Versiegelungen aufgebracht werden.

Bei der Bewertung der Deponiegasgefährdung ist auch die Möglichkeit der Veränderung des Deponiegasgeschehens durch bauliche Eingriffe (Oberflächenabdichtung, Flächenversiegelung, Wasserzugabe) zu berücksichtigen.

3. Sanierungsvorschlag

Der **Sanierungsvorschlag** wird vom Sachverständigen durch Vergleich, beispielsweise Kostenwirksamkeitsbetrachtung, möglicher Sanierungsalternativen einzelfallspezifisch entwickelt (Sanierungsvorplanung) und im Sicherheitstechnischen Gutachten dargestellt.

3.1 Sanierungsgrundsätze

Merkmale des Sanierungsvorschlages sind:

- Es wird der Gesamtsituation Rechnung getragen.
- Es wird der ungünstigste Fall berücksichtigt.
- Die Verkettung unglücklicher Umstände, das Versagen einzelner Bausteine wird in Störfallanalysen berücksichtigt.

In der Regel bezieht sich der Sanierungsvorschlag auf die aktuelle Nutzung. Es kann aber auch notwendig oder zweckmäßig sein, die vorgesehene bzw. vorhandene Nutzung soweit abzuändern, bis eine Gasgefährdung ausgeschlossen ist (Nutzungseinschränkung, Nutzungssperre). Bei der Festlegung einer Nutzungseinschränkung ist deren langzeitliche Einhaltung sicherzustellen. Eine regelmäßige Prüfung der Situation ist wichtig.

Die Ziele der Sanierung sind:

Dauerhafter Schutz der potentiell betroffenen Bauwerke und Nutzungen gegen schädliche Einwirkungen von Deponiegas sowie Minimierung der Schadstoffemission unter Berücksichtigung von:

- **Deponiegaseigenschaften und deren möglichen zeitlichen Veränderungen**
- **Emissionsmöglichkeiten und deren möglichen zeitlichen Veränderungen**
- **Art und Qualität der bestehenden bzw. vorgesehenen Bauwerke**
- **Art und Qualität der bestehenden bzw. vorgesehenen Nutzungen**
- **Mögliche bzw. zumutbare und auch absicherbare Nutzungseinschränkungen**
- **Möglichkeit der Wartung und Reparatur**
- **Störfallsicherheit, Betriebssicherheit, Verfügbarkeit**

Die Abwehr von Gefahren durch Deponiegas ist grundsätzlich möglich durch:

- Dekontaminationsverfahren
- Sicherungsverfahren
- Umlagerung
- Beschränkungsmaßnahmen

Während Dekontaminationsverfahren darauf zielen, die Gasbildung in der Ablagerung zu unterbinden, beschränken sich Sicherungsverfahren darauf, den Austrag des Deponiegases aus der Ablagerung auf ein zulässiges Mindestmaß zu reduzieren. Grundsätzlich anzustreben ist die Dekontamination; oft wird jedoch zur Beseitigung der Gasgefahr aus ökologischen oder

ökonomischen Gesichtspunkten die Sicherung gewählt. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß Sicherungsverfahren immer mit Wartungs-, Reparatur- und Kontrollmaßnahmen verbunden sind. Bei der Umlagerung wird das gasproduzierende Material aufgenommen und an eine sichere Stelle verbracht.

Die Entwicklung des Sanierungskonzeptes hat auf Basis des in der Gefahrenbewertung festgestellten potentiellen und aktuellen Risikos unter Berücksichtigung des Sanierungszieles zu erfolgen.

Sanierungskonzepte zur Abwehr von Gefahren durch Deponiegas bestehen in der Regel aus technischen Einzelmaßen, die erst im Zusammenwirken als System ihren Zweck erfüllen. Die Beschreibung und Charakterisierung der in den nachfolgenden Kapiteln aufgeführten Maßnahmen und Techniken soll die Entwicklung und Ausführung von Sanierungskonzepten erleichtern.

3.2 Sanierungsgrundkonzepte

Mögliche **Dekontaminationsverfahren** sind:

- thermische Behandlung off-site
- mikrobiologische Behandlung off-site, on-site oder in-situ, z. B. durch mikrobiellen Abbau, dessen Beschleunigung durch Nährstoffzugabe und Regelung des Wasserhaushaltes, Aerobisierung der Ablagerung

Diese Verfahren kamen bei Altablagerungen bisher nur selten zur Anwendung. In der Praxis erfolgte die Abwehr der Gasgefahr durch die meist wesentlich billigeren Sicherungsverfahren. Deshalb wird auf die Dekontaminationsverfahren hier nicht näher eingegangen.

Es stehen folgende **Sicherungsverfahren** zur Verfügung:

- a) Gastechnische Sanierung der Altablagerung
- b) Gassperren an bzw. um die Altablagerung
- c) Gassperren am Objekt
- d) Kontrollmaßnahmen an der Altablagerung sowie im Zustrombereich des Objektes

Sie werden nachfolgend näher erläutert. Aufgabe des Sachverständigen ist es, sie entsprechend den örtlichen Gegebenheiten und Erfordernissen einzeln oder kombiniert im Gesamtsicherungskonzept sinnvoll aufeinander abgestimmt einzusetzen.

3.2.1 Gastechnische Sanierung der Altablagerung

Ziel der **gastechnischen Sanierung** der Altablagerung ist die Beseitigung gefährlicher Gasemissionen. Diese Maßnahme eignet sich vor allem für Altablagerungen, welche sich in der Gasphase III/II oder I befinden. Bei den Gasphasen IV bzw. V ist dieses Sanierungsverfahren aufgrund der hier nur noch minimal stattfindenden Methanoxidation meist nicht mehr erforderlich.

Je nach Charakteristik der Altablagerung, der vorliegenden Gasphase und der Charakteristik des zu schützenden Objektes bzw. der zu schützenden Nutzung können folgende Entgasungsarten eingesetzt werden:

- a) Erhöhung der Gasdiffusionsmöglichkeit über die Oberfläche der Altablagerung durch Lockerung des Bodens, Rückbau von Versiegelungen oder natürliche (passive) Entgasung der Altablagerung durch "Gasfenster".
- b) Zwangsentgasung (aktiv) über Gaskollektoren (Gasbrunnen, Gassonden) und zusätzlichem Unterdruck, z.B. Kaminwirkung, Windrad, Gebläse.
- c) Zwangsentgasung (aktiv) über Gaskollektoren mit einem angelegten Unterdruck, z.B. Kaminwirkung, Windrad, Gebläse.

Durch Erhöhung der Oberflächendiffusion bzw. mit passiver Entgasung kann nur bei Vorliegen ab der Gasphase III und höher ein ausreichender Erfolg erzielt werden. Voraussetzung ist, daß die mikrobielle Umsetzung soweit fortgeschritten ist, daß Gasphase I und II auch bei Änderung der äußeren Gegebenheiten nicht mehr zu erwarten sind. Bei den Gasphasen II und I kann mit diesen Methoden keine ausreichende Sanierungssicherheit erzielt werden; hier sind Zwangsentgasungen über Brunnen, Sonden oder Dränagegräben zu empfehlen.

Die obengenannten drei Möglichkeiten der gastechnischen Sanierung sind qualitativ und monetär wie in Tabelle 1 dargestellt zu beurteilen. Im Detail werden die einzelnen Verfahren in Kapitel 4 dargestellt und verglichen.

	Gasdiffusion (A)	vertikale Gas- kollektoren (B)	Dränagegraben (C)
Einsatz bei Gasphase	III (u.U. IV)	III, II, I	III, II, I
Einsatzbeschränkung	Bebauung Ablagerungshöhe	keine	Ablagerungstiefe bis 4 m, größere Tiefen mit Sonderver- fahren
Einsatzempfehlung	keine Bebauung Unterstützung von	Flächig große Tiefen	am Ablagerungsrand, bei geringen Tiefen
Mögliche Wirksam- keitseinbuße	Oberflächen- verdichtung	Wasserstau Kol- mation	geänderte Gasström- richtung

Tab.1: Qualitative und monetäre Bewertung von gastechnischen Sanierungsmöglichkeiten

3.2.2 Gassperren an bzw. um die Altablagerung

Zur Verhinderung von Gasemissionen aus der Altablagerung kann die Altablagerung mit einer **Gassperre** umgeben werden. Diese kann im Grundsatz an der Oberfläche, den Flanken oder der Basis der Altablagerung erstellt werden. Praktisch ausführbar sind nach dem Stand der Technik derzeit nur Gassperren an der Oberfläche sowie an den Flanken. Für die nachträgliche Einbringung von Gassperren auf der Basis von Altablagerungen existieren zwar mehrere technische Überlegungen, jedoch keine praktischen Erfahrungen.

Gassperren an bzw. um die Altablagerung bedingen immer eine Kombination mit einer Entgasung, um den in der Altablagerung entstehenden "Gasstau" gefahrlos abführen zu können.

Gassperren unterstützen die Entgasung wie folgt:

- Verhinderung von unkontrollierter Gasemission auch bei kurzzeitigem Ausfall des Unterdruckes an der Gasabsauganlage
- Verhinderung von Außenluftzutritt in die Altablagerung bei Zwangsentgasung
- Verhinderung von unkontrollierten Gasemissionen in gute Gaswegsamkeiten im Untergrund

Weiterer Vorteil:

- Eindeutige und sichere Begrenzung des Wirkungsbereiches von Entgasungsmaßnahmen

Gassperren können nach folgenden Bauprinzipien hergestellt werden:

a) Gassperre an der Oberfläche der Altablagerung

- mineralische Abdichtung
- Bentonitbahn
- Kunststoffdichtungsbahn (KDB)
- Bituminöse Befestigung
- Betonbefestigung
- Kombinationen aus obigen Verfahren

	Mineralische Abdichtung	Bentonitbahn	KDB	Bituminöse-/ Beton befestigungen
Einsatz bei Gas-phase	III, II, I	III, II, I	III, II, I	IV/III
Einsatzbeschränkung	mechanische Belastung Neigung max. 1:5	Setzungsgefahr Neigung max. 1:3	Setzungsgefahr Neigung max. 1:3	Setzungsgefahr Neigung max. 1:5
Einsatzempfehlung	bei hoher Setzungsgefahr	bei flacher Neigung und geringer Setzungsgefahr	bei geringer Setzungsgefahr	bei hoher mech. Belastung, geringer Setzungsgefahr
Mögliche Wirksamkeitseinbuße	Austrocknung	Ungleichmäßige Setzungen	Leckage in Fläche und Nahtbereich, Setzungen	Fugenundichtigkeit, Setzungs-Frostrisse
Kosten*	60-80 DM/qm	50-70 DM/qm	70-90 DM/qm	60-80 DM/qm

Tab.2: Qualitative und monetäre Bewertung von Gassperren an der Oberfläche von Altablagerungen

*) Die Kosten beinhalten den erforderlichen Unterbau, die erforderliche Dichtung und Schutzabdeckung; nicht enthalten sind evtl. erforderliche darüberliegende Befestigungen sowie Rekultivierungen (sämtliche Preisangaben ohne Mehrwertsteuer)

b) Senkrechte Gassperre an den Ablagerungsflanken

- Mineralische Abdichtung im Graben
- Bentonitbahn im Graben oder Schlitz
- Kunststoffdichtungsbahn (KDB) im Graben oder Schlitz
- Schlitzwandverfahren
- Injektionswand
- Kombinationen aus obigen Verfahren

Wie erwähnt, sind diese Gassperren mit einer Gasentspannung im Vorfeld der Sperre zu kombinieren. Die Gasentspannung kann im weiteren Vorfeld der Sperre aber auch unmittelbar vor der Sperre installiert werden. Zu berücksichtigen ist jedoch, daß eine Gasentspannung unmittelbar vor der Sperre die Gasströmung zur Sperre hin unterstützt und oft erst initiiert. Damit steigt dann die Gefahr der Gasmigration durch die Sperre bei einem Ausfall der Gasentspannung sowie bei Vorliegen von nicht auszuschließenden "Leckagen". Die aufwendigere Durch-

führung der Gasentspannung im weiteren Vorfeld der Sperre bietet hier eine weitaus höhere Sicherheit. Hier kann in manchen Fällen bereits eine Gassperre ausreichen, welche nicht "absolut" gasdicht ist, sondern nur einen gegenüber dem Ablagerungskörper stark erhöhten Gaswiderstand bildet.

Sicherungsmaßnahmen an der Altablagerung sind in der Regel bei Altablagerungen in den Gasphasen III/II und I erforderlich. In Sonderfällen kann ihr Einsatz auch für die Gasphase IV sinnvoll sein, beispielsweise bei besonders gefährdeten Ablagerungsflanken mit nahegelegenen empfindlichen Objekten. Eine solche Gassperre ist mit einer Gasentspannungsmöglichkeit zu kombinieren, z.B. über eine Gasdränageschicht vor der Gassperre mit Entlüftung.

	Mineralische Abdichtung	Bentonitbahn	KDB	Schlitzwand Injektionswand
Einsatz bei Gasphase	III, II, I	III, II, I	III, II, I	III, II, I
Einsatzbeschränkung	Grabentiefe Graben muß geböschet sein	Grabentiefe	Schutzabdeckung erforderlich	Klüftiger Untergrund
Einsatzempfehlung	Graben bis ca. 3 m Tiefe	Graben bis ca. 5 m Tiefe Verbaute Gräben	Graben bis ca. 5 m Tiefe	Große Tiefen
Mögliche Wirksamkeitseinbuße	Austrocknung	Undichtigkeit im Überlappungsbereich	Undichtigkeit im Überlappungs/Nahtbereich, Knickfalten	Chemische Angriffe
Kosten**	250-300 DM /qm	100-250 DM/qm (nach Tiefe)	125-300 DM/qm (nach Tiefe)	300-600 DM /qm (nach Tiefe)

Tab.3: Qualitative und monetäre Bewertung von senkrechten Gassperren an den Ablagerungsflanken

**) Die Kosten beinhalten Grabenaushub und Abdichtung, nicht enthalten sind Einrichtungen zur Gasentspannung (sämtliche Preisangaben ohne Mehrwertsteuer)

3.2.3 Schutzmaßnahmen am Objekt

Grundsätzlich ist anzustreben, daß das Deponiegas jederzeit sicher vom zu schützenden Objekt ferngehalten wird und möglichst schon das Vorfeld gasfrei ist.

Hierfür sind fallweise die unter 3.1.1 und 3.1.2 beschriebenen Maßnahmen der gastechnischen Sanierung und der Sicherung an der Altablagerung geeignet.

Liegt das zu schützende Objekt jedoch direkt auf der Altablagerung oder sogar teilweise in der Altablagerung, kann diese Maßnahme technisch nicht realisiert werden. Dies trifft ebenfalls für Objekte zu, welche eine hoch gaswirksame Verbindung zur Altablagerung besitzen, welche durch eine Gassperre nicht ausreichend sicher unterbrochen werden kann.

In diesem Fall kommen als Schutzmaßnahmen in Frage:

- a) Gassperren am Objekt
- b) Gasentlüftung, Gasabsaugung vor dem Objekt (unmittelbar davor oder im Abstand zum Objekt)
- c) Gasentlüftung, Gasabsaugung im Objekt

zu a) Gassperren am Objekt

Deponiegas kann z. B. über Risse, gasdurchlässige Fugen, Rohrdurchführungen und Rohrleitungen (Entwässerung, Kabelleerrohre, etc.) in Bauwerke gelangen. Diese Gefahr kann in Bauwerken auf, in oder neben der Altablagerung auch bei einer durchgeführten Entgasung nicht völlig ausgeschlossen werden. Deshalb bieten sich Gassperren am Bauwerk im Bereich der potentiellen Migrationsfläche bzw. Migrationsstellen als Sicherungsmaßnahme an.

Bei der Herstellung dieser Gassperren ist zu beachten, daß die eingesetzten Materialien gegenüber dem Deponiegas resistent und dicht sind (auch Unterbindung von Diffusion). Bei hohen Konzentrationen an Kohlenwasserstoffen im Deponiegas ist die Erfordernis von Verbundwerkstoffen (z. B. Kunststoffdichtungsbahnen verbunden mit Metallfolien) zu prüfen.

Da auch bei optimaler Wahl der Dichtungsmaterialien und hochqualitativer Bauausführung in der Praxis Gaswegsamkeiten an der Gassperre nicht völlig ausgeschlossen werden können, ist eine Gassperre immer mit einer davor liegenden Gasentlüftung bzw. Gasabsaugung zu kombinieren.

Zusätzliche Gaswarnanlagen (siehe Kap. 4.4.2) im zu schützenden Objekt können fallweise außerdem erforderlich sein.

Gassperren am Objekt können sein:

- Wandaußenschutz von Kellern und unterirdischen Bauwerken durch Dichtungsbahnen, Beschichtungen,
- Bodenschutz von Gebäuden durch Dichtungsbahnen, Vergußmassen,
- Risse- und Fugensanierung in Wänden und Boden von Bauwerken

- Absicherung des Bauwerkes gegen neue Rißenstehung
- Dichtungsschürze (Folie, mineralisch) vor Straßenkörpern
- Abdichtung von Leitungsdurchführungen an Bauwerken
- Unterbrechung des Gastransportes in Ver- und Entsorgungseinrichtungen, Leerrohren, Freispiegelleitungen
- Dichtung von Rohrleitungen und Schächten gegen Gaszutritt (Muffen, Werkstoff)

zu b) Gasentlüftung, Gasabsaugung vor dem Objekt

Wie bereits unter Ziffer a) erläutert, sind Gassperren am Objekt stets mit einer davor liegenden Gasentlüftung bzw. Gasabsaugung zu kombinieren. Diese sollen jedoch hinsichtlich ihrer Lage und Absaugtechnik nicht so ausgeführt sein, daß Deponiegas verstärkt zur Gassperre hin transportiert wird. Die Entsorgung des Gases aus der Altablagerung ist primär die Aufgabe der Entgasung der Altablagerung; am Objekt selbst ist nur eine Schutzentgasung durchzuführen. Die Kombination von Gassperre, Entgasung und Schutzentgasung ist in **Bild 2** skizziert (siehe Skizze S. 21).

Mitunter reicht eine natürliche Ent- bzw. Durchlüftung der Fläche vor der Gassperre aus, erforderlichenfalls unterstützt durch eine Verstärkung der Kaminwirkung (Anschluß über Dachentwässerung bzw. ein Kaminzugrohr). Gasabsaugungen können bei größeren Flächen (Bodenplatte) sowie größeren Tiefen (tief in die Altablagerung reichende Bauwerke) erforderlich werden; hier können dann neben motorisch angetriebenen Gebläsen auch Windräder eingesetzt werden. Eine alleinige Gasentlüftung oder Gasabsaugung am Objekt ohne Kombination mit einer Gassperre sollte nicht ausgeführt werden, da bei einem eventuellen Ausfall der Gasabfuhr (klimatische Bedingungen, Geräteausfall), u.U. auch nur in Teilbereichen, Gasstauungen am zu schützenden Objekt entstehen können, welche eine verstärkte Gefahr der Migration in das Objekt darstellen können.

Gasentlüftungen, Gasabsaugungen vor dem Objekt können sein:

- Gasdränagen, Gasdränagematten vor der Wand von Kellern und unterirdischen Bauwerken mit natürlicher Durchlüftung oder Zwangsabsaugung
- Gasdränagen, Gasdränagekanäle unter Bauwerkssohlen mit natürlicher Durchlüftung oder Zwangsabsaugung
- Vertikale Gaskollektoren, Gassonden vor dem Bauwerk mit Zwangsabsaugung

Je nach Situation des Objektes und der Altablagerung (siehe Kap. 2.4) müssen bzw. können unterschiedliche Sicherungsmaßnahmen am Objekt eingesetzt werden. Eine Übersicht über die möglichen Sicherungsmaßnahmen am Objekt in Abhängigkeit von der jeweiligen Situation des Objektes zeigt beispielhaft Tabelle 4. Die charakteristischen Eigenschaften der Grundsituation sind: Es handelt sich um eine Grubendeponie in einer der Gasphasen I bis V. Das zu schützende Objekt liegt auf oder in der Altablagerung.

Die Beispiele 0 bis 5 unterscheiden sich durch eine unterschiedlich hohe potentielle Gefährdung der Kontaktfläche gegenüber einer Gasmigration aufgrund der Kontaktflächengröße und -lage. Als Sicherungsmaßnahmen werden beispielhaft Gasentlüftungen sowie Gassperren dargestellt.

Alle beispielhaften Maßnahmen sind grundsätzlich mit Kontrollmaßnahmen zu kombinieren.

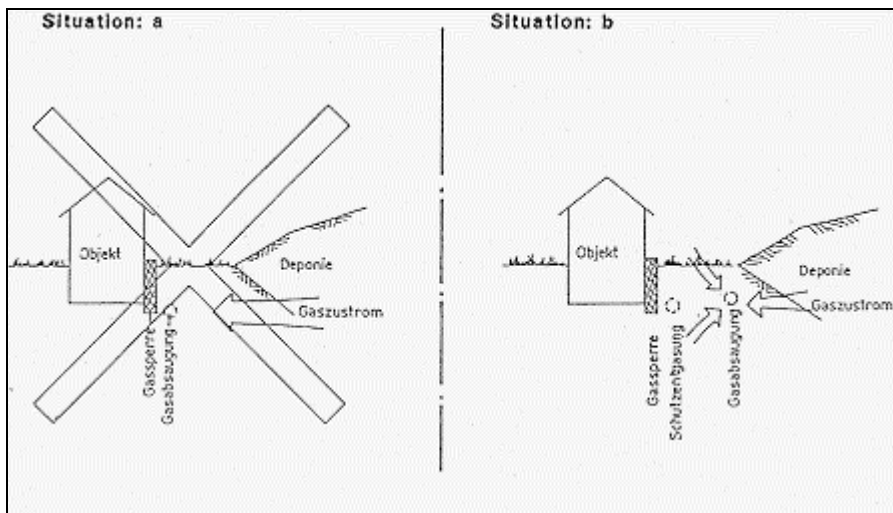


Bild 2: Beispiel für Entspannung bzw. Gasableitung vor Gassperre

Die Situation a) sollte vermieden werden (siehe Erläuterungen im Text)

Tab. 4: Grundsituation

0	Sohle und Wände weitgehend gasdicht Gasstauende Oberflächenabdeckung
1	Sohle und Wände gasdurchlässig Gasstauende Oberflächenabdeckung
2	Sohle und Wände gasdurchlässig Lockere Oberflächenabdeckung Überdachung der Oberfläche
3	Sohle und Wände gasdurchlässig Lockere Oberflächenabdeckung Vertiefung / Grube / Keller in Ablagerung
4	Sohle und Wände gasdurchlässig Lockere Oberflächenabdeckung Vertiefung / Grube / Keller in Ablagerung Überdachung der Oberfläche
5	Sohle und Wände gasdurchlässig Lockere Oberflächenabdeckung Bauwerk in der Ablagerung

Tab. 4A: Beispiele für Verbesserungen

0A	Erhöhung der Oberflächendiffusion durch Bodenlockerung / Rückbau von Versiegelung
1A	Erhöhung der Oberflächendiffusion durch Bodenlockerung / Rückbau von Versiegelung
2A	Abdichten der Ablagerungsoberfläche im Bereich der Überdachung
3A	Abdichten der Sohle und der Wände von Vertiefung / Grube / Keller
4A	Abdichten der Sohle und der Wände von Vertiefung / Grube / Keller
5A	Erhöhung der Oberflächendiffusion durch Bodenlockerung / Rückbau von Versiegelung

Tab. 4B: Beispiele für Verbesserungen

0B	Gastechnische Sanierung der Ablagerung Oberflächenabdichtung mit darunterliegender Schutzentgasung
1B	Gastechnische Sanierung der Ablagerung (insbesondere auch Flanken) Oberflächenabdichtung mit darunterliegender Schutzentgasung
2B	Gastechnische Sanierung der Ablagerung (insbesondere auch Flanken und Rand der Überdachung) Abdichtung unter der Überdachung mit darunterliegender Schutzentgasung
3B	Abdichten der Sohle und Wände von Vertiefung / Grube / Keller Gastechnische Sanierung der Ablagerung Schutzentgasung um Vertiefung
4B	Abdichten der Sohle und Wände von Vertiefung / Grube / Keller Gastechnische Sanierung der Ablagerung Schutzentgasung um Vertiefung
5B	Einbau einer Gassperre im Bauwerk gegen Weitertransport Gastechnische Sanierung der Ablagerung Abdichtung am Bauwerk

Tab. 4C: Beispiele für Verschlechterungen

0C	Aufbringen von nicht rissesicheren Abdichtungen (Setzungen, Austrocknung); dadurch verstärkte Möglichkeit von konzentrierten Gasaustritten
1C	Aufbringen von nicht rissesicheren Abdichtungen (Setzungen, Austrocknung); dadurch verstärkte Möglichkeit von konzentrierten Gasaustritten
2C	Aufbringen einer Oberflächenabdichtung/-befestigung um die Überdachung; dadurch Verstärkung der Gasströmung in den Bereich der Überdachung
3C	Aufbringen einer Oberflächenabdichtung/-befestigung um das Bauwerk; dadurch Verstärkung der Gasströmung in den Bereich des Bauwerks
4C	Aufbringen einer Oberflächenabdichtung/-befestigung um das Bauwerk; dadurch Verstärkung der Gasströmung in den Bereich des Bauwerks
5C	Aufbringen einer Oberflächenabdichtung/-befestigung auf der Altablagerung; dadurch Verstärkung der Gasströmung in das unterirdische Bauwerk

3.2.4 Kontrollmaßnahmen an der Altablagerung sowie am Objekt

Kontrollmaßnahmen sind zur Prüfung bzw. zum Nachweis der Wirksamkeit von Sicherungsmaßnahmen erforderlich. Je nach Situation ist zu entscheiden, wo Kontrollmaßnahmen erforderlich sind, beispielsweise:

- a) in bzw. um die Altablagerung
- b) unmittelbar vor dem Objekt
- c) im Objekt

Entsprechend der abgeschätzten Zeitspanne zwischen der Gefahrenerkennung (aufgrund der durchgeführten Kontrolle) und dem Eintreten der unmittelbaren Gefahr am Objekt müssen die Kontrollen diskontinuierlich oder kontinuierlich durchgeführt werden. Aufgrund der meist kurzen Zeitspanne zwischen Gefahrenerkennung und Eintritt sind Kontrollen unmittelbar vor dem Objekt und im Objekt grundsätzlich kontinuierlich durchzuführen. Von dieser kontinuierlichen Kontrolle kann nur abgewichen werden, wenn die Nutzung so eingeschränkt wird, daß sie nur bei gleichzeitiger Durchführung der Kontrollmaßnahme zugelassen ist (beispielsweise bei nur zeitweise genutzten Bauwerken). Kontrollen in bzw. um die Altablagerung können bei ausreichender Entfernung des Objektes oder einer kontinuierlichen Kontrolle vor bzw. im Objekt mit ausreichender Sicherheit auch diskontinuierlich durchgeführt werden. Die Kontrollintervalle sind der jeweiligen Situation anzupassen.

zu a) Kontrollmaßnahmen in oder um die Altablagerung

Hier geht es darum, frühzeitig Hinweise auf Änderungen der Gasphase bzw. der Gaswegsamkeit zu erhalten, damit dementsprechend reagiert werden kann. Hierfür können in die Altabla-

gerung oder in deren Randbereich stationäre Gasmeßstellen niedergebracht werden, aus welchen zu den festgesetzten Kontrollterminen Gasproben entnommen und untersucht werden können. Die Ausführung dieser Gasmeßstellen sowie die Durchführung der Beprobung wird im "Leitfaden Deponiegas" [RUK, 10/92] detailliert beschrieben.

zu b) Kontrollmaßnahme unmittelbar vor dem Objekt

Zur Kontrolle, ob Gas bis zum Objekt migriert ist, sind Kontrollmaßnahmen unmittelbar vor dem Objekt durchzuführen. Hierfür werden Gasmeßstellen, entsprechend a), niedergebracht. Diese Gasmeßstellen sollten so ausgebaut werden, daß eine Erweiterung zu Gasabsaugstellen kurzfristig möglich ist. Außerdem ist zu überlegen, ob des weiteren eine Absaugeeinrichtung installiert wird, damit bei festgestellter Gasgefahr sofort reagiert werden kann. Diese Entscheidung ist von der Qualität der bestehenden Gasbarriere zum Objekt hin (Beton, Mauerwerk, Risse, Rohrdurchführungen etc.) sowie von der Gefahrenabschätzung bei Eintritt des Gases in das Objekt abhängig zu machen.

zu c) Kontrollmaßnahmen im Objekt

Zur unmittelbaren Erkennung einer auftretenden Gasgefahr im Objekt sind Kontrollmaßnahmen im Objekt erforderlich, welche fest installiert und kontinuierlich betrieben werden. Es sind Gasalarmanlagen zu installieren, welche die Anforderungen der GUV 17.4 des Bundesverbandes der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand erfüllen. Bei Auslösen eines Alarmes sind Raumentlüftungsmaßnahmen automatisch in Betrieb zu setzen. Neben dem Einsatz von Kontrollmaßnahmen zur alleinigen Absicherung einer Deponiegasgefahr können sie auch gemeinsam mit einer gastechnischen Sanierung bzw. mit Sicherungsmaßnahmen eingesetzt werden. Ihre Aufgabe ist dann die Überwachung der Funktionsfähigkeit der Sanierungsmaßnahme. Die Entscheidung darüber, ob die Kontrolle kontinuierlich oder diskontinuierlich auszuführen ist, muß auf Grundlage der Zeit vom Funktionsausfall der Sanierungsmaßnahme bis zum Eintreten der Gasgefahr im Objekt getroffen werden (Sicherheitstechnisches Gutachten).

Kontrollmaßnahmen zur Überwachung von Sicherungsmaßnahmen sind wie folgt zu installieren:

a) Bei einer aktiven bzw. passiven Entgasung der Altablagerung:

- im gefährdeten Abstrombereich der Altablagerung
- zusätzlich in der Altablagerung zur Kontrolle des "Restgaspotentials" oder der Entgasungswirksamkeit

b) Bei einer Gassperre an bzw. um die Altablagerung:

- auf der deponieabgewandten Seite der Gassperre

c) Bei einer Schutzmaßnahme am Objekt:

- im Objekt selbst, insbesondere in unmittelbarer Nähe der Schutzmaßnahme

4. Technische Details für Sanierungsmaßnahmen

Im folgenden werden die technischen Details für **Sanierungsmaßnahmen** nur beispielhaft vorgestellt, da es im Rahmen dieser Informationsschrift nicht möglich ist, alle Möglichkeiten erschöpfend darzustellen.

4.1 Entgasung der Altablagerung

Wie bereits in Kapitel 3.2.1 dargestellt, stehen für die **Entgasung** grundsätzlich drei Verfahren zur Verfügung:

- a) Passive Entgasung durch Erhöhung der Gasdiffusionsmöglichkeit über die Oberfläche der Altablagerung ("Gasfenster")
- b) Aktive Entgasung der Altablagerung über vertikale Gaskollektoren mit einem angelegten Unterdruck (Kaminwirkung, Windrad, Gebläse).
- c) Aktive Entgasung der Altablagerung über Drainagegräben mit einem angelegten Unterdruck (Kaminwirkung, Windrad, Gebläse).

Hierfür sind unterschiedliche technische Ausführungen möglich, welche in den folgenden Kapitel im Grundprinzip dargestellt werden.

4.1.1 Passive Entgasung über die Oberflächendiffusion, Gasfenster

Eine **passive Entgasung** nutzt den Eigendruck des Deponiegases bzw. das für die Diffusion verantwortliche Konzentrationsgefälle. Bei ausreichender Dimensionierung der Entgasungseinrichtung (**Gasfenster**, Gasschacht usw.) und einer gleichzeitigen hohen Gasunwegsamkeit der Deponiesohle, -flanke und -oberfläche kann eine passive Deponieentgasung einen ausreichenden Schutz gewährleisten.

a) Systembeschreibung / Bautechnik

Eine passive Entgasung kann durch einen flächenmäßigen Rückbau von Versiegelungen, eine Auflockerung von verfestigten Abdeckböden oder einen Austausch von schwer gasdurchlässigen Böden (bindige Böden) gegen Böden mit guter Gasaustauschfähigkeit (Humus, kiesig-sandig) erreicht werden. Alternativ kann auch eine Herstellung auf einzelne Bereiche begrenzt erfolgreich sein. Es werden dann sogenannte Gasfenster (z. B. Streifen vor Objekten) hergestellt.

Die Gasdurchlässigkeit von Böden hängt stark vom Wassergehalt ab. Bindige Böden können schon bei verhältnismäßig geringen Wassergehalten gasdicht werden. Bei Austrocknung können sich durch Trockenrißbildung Gaswegsamkeiten bilden.

b) Betrieb

Die passive Entgasung arbeitet eigenständig.

c) Wartungs- und Kontrollanforderungen

Die Flächen, welche für die passive Entgasung genutzt werden, sind regelmäßig auf Verdichtungen oder Kolmationen zu prüfen. Hierzu ist im Normalfall eine fachtechnische Prüfung durch eine bodenkundliche Fachkraft ausreichend; im Zweifelsfall sind bodenmechanische Untersuchungen (z.B. Porenvolumen) erforderlich. Erforderlichenfalls sind Nachlockerungen des Bodens oder ein erneuter Bodenaustausch erforderlich.

d) Gasbehandlung

Das Gas diffundiert bei der passiven Entgasung infolge des Konzentrationsgefälles frei in die Atmosphäre. Sofern die Gaskonzentration gering ist, reicht der Gasabbau in der durchwanderten Bodenschicht aus, so daß in der Regel keine Gasbehandlung erforderlich ist.

e) Auflagen

Entscheidend für die Wirksamkeit dieser Maßnahme ist eine ausreichend homogene gasdurchlässige Bodenschicht auf einem ausreichend großen Flächenanteil der Altablagerung. Demzufolge sind mit dieser Maßnahme folgende Auflagen zu verbinden:

- Erlaubnispflicht für Oberflächenveränderungen
- Erlaubnispflicht für Nutzungsänderungen
- Regelmäßige fachtechnische Kontrolle, sachgerechte Wartung und Pflege

f) Kosten

Die Maßnahmen der passiven Entgasung sind einzelfallspezifisch sehr unterschiedlich auszuführen. Generelle Kostenangaben sind daher nicht möglich.

g) Bewertung

Folgende Nachteile bzw. Grenzen der passiven Entgasung sind zu beachten:

- **Geringer Erfassungsgrad**, außer bei vollgekapselten Deponien. Ein entsprechend dem Porenwiderstand sich aufbauender **Gasdruck verbleibt im Abfallkörper**
- **Sperrschichten** in der Ablagerung werden kaum erfaßt. Bei punktuell angeordneter passiver Entgasung ist die **Einzugsreichweite minimal**.
- **Konzentrierte Gasaustritte** über Schichtenanisotropien, Störungen, Setzungsklüfte werden nicht oder nur unvollständig erfaßt.
- Starke Abhängigkeit von **klimatischen Bedingungen**.

Aufgrund der oben genannten Nachteile kann eine passive Entgasung bei Altablagerungen meist nur als ergänzende oder unterstützende Maßnahme eingesetzt werden.

Ein deutlicher Vorteil der passiven Entgasung besteht in der Einsparung aufwendiger Bauwerke und Installationen sowie einer Gasbehandlung (siehe Ziffer 4.6).

4.1.2 Zwangsentgasung über vertikale Gaskollektoren

Zur Entspannung des Gasdruckes in der Altablagerung bei Vorliegen der Gasphase I/II/III sowie zur Absaugung des Gases können vertikale Gaskollektoren in den Randbereichen der Deponie aber auch auf der Ablagerungsfläche verteilt eingesetzt werden. Lage und Abstand der Kollektoren sind entsprechend der Ablagerungssituation und der erforderlichen Absaugkapazität zu wählen.

Vertikale Gaskollektoren sind nachträglich in die Altablagerung eingebrachte Sonden, Dränrohre bzw. Kiessäulen.

a) Systembeschreibung / Bautechnik

Bauverfahren, Durchmesser, Ausbau und Abstand der Kollektoren sind entscheidend für ihre Funktionstüchtigkeit und Wirtschaftlichkeit.

Durchmesser

Bei der Gasförderung ist die Fördermenge bzw. der Verlauf der Absenklinie stark von der die Gasdurchlässigkeit entscheidend beeinflussenden Wassersättigung der Poren abhängig. Bei den in Ablagerungen anzutreffenden Anisotropien kann eine gute Entgasung der Poren weniger durch die Vergrößerung des Brunnenradius sondern eher durch eine Verkleinerung des Brunnenabstandes erreicht werden.

Der Mindestradius der Kollektoren ist so zu wählen, daß ein stabiler Filteraufbau möglich ist. Radien von 30 - 50 cm sind sicherlich ausreichend. Diese kleinen Radien haben den großen Vorteil, daß bei Kolmationen die Filter erfolgreich gespült werden können.

Abstand

Ziel muß es sein, möglichst alle Stellen mit der Gasabsaugung zu erfassen, also Sperren zu "durchbrechen". Bei Galerien von Gaskollektoren zum Flankenschutz sollten daher die Kollektorabstände nicht größer als 15 m sein. Da Dimensionierungsgrundlagen fehlen, wird empfohlen, mit größeren Abständen zu beginnen und erforderlichenfalls die Abstände durch dazwischengesetzte Kollektoren zu verringern.

Ausbau

Jeder Kollektor wird mit einem vertikalen Saugrohr, das mit Filtermaterial umschüttet wird, ausgebaut. Dabei sollte das Saugrohr möglichst einen ausreichenden Durchmesser für den Betrieb einer Pumpanlage haben.

Charakteristische Kennzeichen Saugrohr:

- ca. DN 150
- PP / HDPE
- PN 6 - 10 (je nach Tiefe)
- verschweißt
- geschlitzt 6 mm, 10 % freie Eintrittsfläche

Charakteristische Kennzeichen Filter:

- Kies / Splitt 16/32 (alternativ 5/11; 5/16 oder gleichwertig)
- möglichst frei von lösbarem Kalk

Kollektorabschluß

Der Kollektorabschluß wird mit vorgefertigten Köpfen mit Regel-, Meß- und Entwässerungseinrichtung ausgeführt. Je nach Situation kann hieran die Transportleitung direkt (Reihenschaltung) oder über eine Zuführungsleitung (Bypass-Schaltung) angeschlossen werden.

Ausgewählte Kollektorkopfkonzeptionen werden in Anlage 1 beschrieben.

Kollektorbauverfahren

Zur Niederbringung der Kollektoren sind mehrere Bauverfahren möglich, welche sich in der Praxis bewährt haben.

- **Greiferbohrung mit Seilbagger.** Bis ca. 15 m Tiefe ohne Verrohrung ausführbar. Bei größeren Tiefen ist eine Verrohrung erforderlich, um die Bohrrichtung einhalten zu können.
Das Verfahren erfordert einen relativ großen Bohrdurchmesser (mind. 800 mm), um mit effektiven Greifern arbeiten zu können. Störungen werden mit Fallmeißel beseitigt.
 - Vorteile:
 - Tiefe nahezu unbegrenzt
 - auch große Stücke können entfernt werden
 - keine Bohrwandverdichtung
 - gut transportable Geräte möglich
 - Nachteile:
 - großer Müllaushub
 - großer Bedarf an Filtermaterial
 - geringer Bohrfortschritt
 - schwierige Meißelarbeiten
 - starke Emissionen
 - Verpuffungs- und im Extremfall auch Explosionsgefahr
 - schon bei geringeren Tiefen erschwerende Verrohrung erforderlich.

Bei der Ausführung muß der Explosionsschutz beachtet werden. Beispielsweise können Zündfunken leicht durch die Fallgeräte entstehen. Abhilfe kann hier die Einhaltung eines Wasserspiegels über der Bohrsohle oder eine Inertisierung des Bohrloches bieten.

- **Schneckenbohrung.** Es können große Tiefen ausgeführt werden (über 50 m). Bei größeren Tiefen kann eine Verrohrung erforderlich werden. Es können hier kleinere Bohrdurchmesser gewählt werden (min. 300 mm).
Störungen können einfacher als beim Greiferverfahren mit Drehmeißel beseitigt werden.

- Vorteile:
 - Tiefe nahezu unbegrenzt
 - großer Bohrfortschritt
 - kleiner Bohrdurchmesser möglich
 - selten Verrohrung erforderlich
 - geringe Explosionsgefahr, da drehende Arbeit im "gedämmten" Bohrloch
 - Meißelarbeiten können unter Andruck ausgeführt werden
- Nachteile:
 - Gefahr der Bohrwandverdichtung durch die Drehbewegung
 - Müllaushub
 - große Stücke müssen gemeißelt werden
- **Greiferbohrung mit Hydraulikbagger.** Alternativ zum Seilbagger können auch Hydraulikbagger mit einem Vorbaugerät eingesetzt werden. Hiermit können Bohrtiefen bis 24 m erreicht werden. Auf eine Verrohrung kann meistens verzichtet werden. Das Verfahren erfordert relativ große Bohrdurchmesser (min. 800 mm). Störungen werden mit Dreh- oder Schlagmeißel beseitigt.
 - Vorteile:
 - auch große Stücke können entfernt werden
 - keine Bohrwandverdichtung und damit Beeinträchtigung der Gaswegsamkeit
 - gut transportables Gerät einsetzbar
 - weitgehend ohne Verrohrung möglich
 - Meißelarbeiten können unter Andruck ausgeführt werden
 - hoher Bohrfortschritt
 - Nachteile:
 - begrenzte Tiefe
 - großer Müllaushub
 - großer Bedarf an Filtermaterial (wegen großem Bohrdurchmesser)
 - starke Emissionen
- **Rammen.** In **Bild 3** ist die Brunnenherstellung mit dem Rammverfahren dargestellt. Es wird ein Stahlrohr mit einem Durchmesser von 400 mm eingerammt. Dieses Stahlrohr hat für den Gaseintritt Öffnungen. In den unteren 2 m kann auf Öffnungen verzichtet werden, um dort einen abpumpbaren Sickerwassersammelraum zu schaffen. Dieser Stahlkörper wird durch eine Hilfsrammeinrichtung (Jungfer) auf die vorgesehene Tiefe gebracht. Dabei kann an der Hilfseinrichtung genau beobachtet werden, in welcher Tiefe sich die Spitze des Rammpfahles befindet. Bevor die Jungfer gezogen wird, kann das Verbindungsrohr aus HDPE 315 x 28,7 mm eingebracht werden. Danach wird die Hilfsrammeinrichtung gezogen. Der durch die Rammung verdrängte Müll lockert sich nach Ziehen der Jungfer wieder auf. Mit Aufreißen an der Rammspitze kann eine zusätzliche Auflockerung erreicht werden. Alternativ kann auch ein kleineres Saugrohr (z. B. DN 150) mit Verfilterung eingestellt werden.

Größere Durchmesser bis zu 600 mm sind möglich und wurden bereits durchgeführt.

- Vorteile:
 - kein Müllaushub
 - keine Emissionen
 - Explosionssicherheit gewährleistet
 - hoher Baufortschritt
 - kaum Probleme bei Hindernissen
- Nachteile:
 - Gefahr der Wandverdichtung
 - schwere Geräte erforderlich

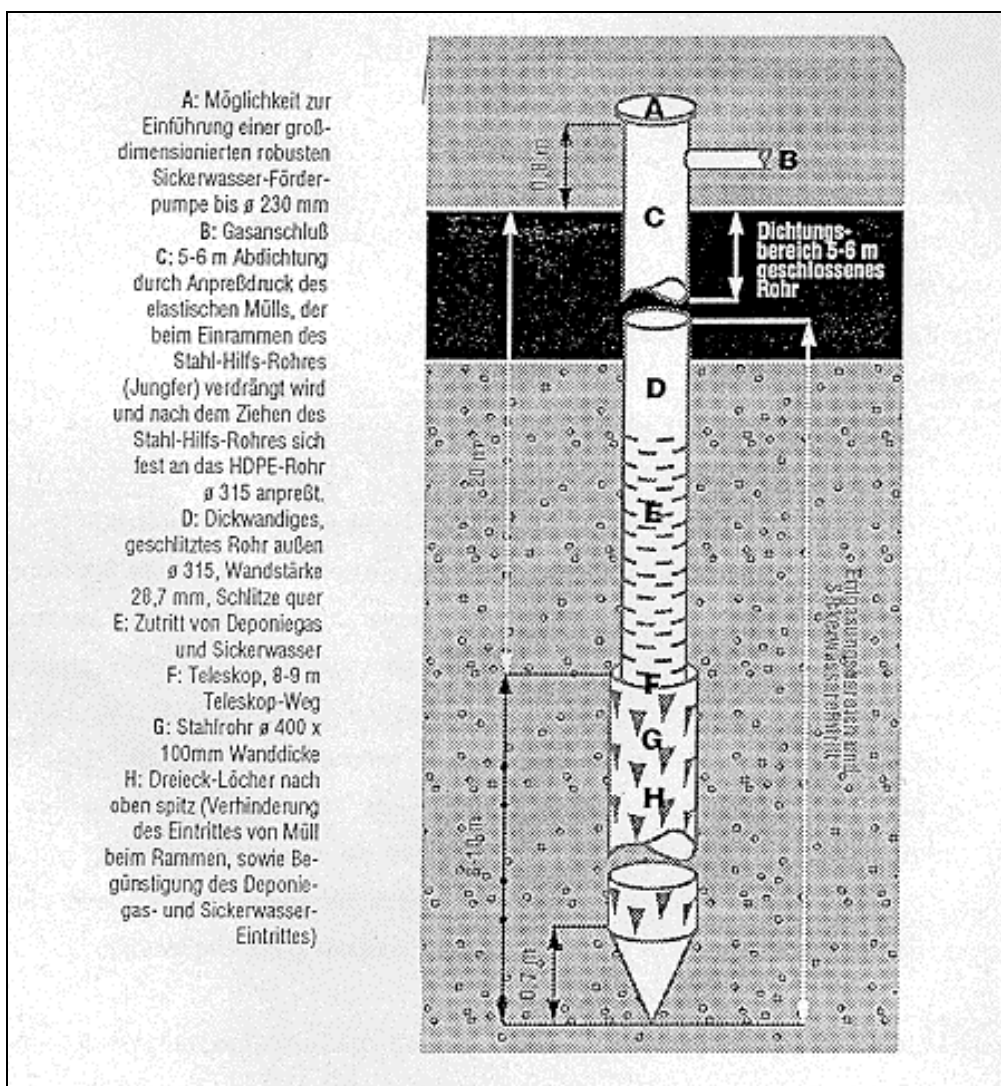


Bild 3: Gerammte Gaskollektoren

System der Galerie von Kollektoren

Das System der Galerie von vertikalen Gaskollektoren ist in **Bild 4** als mögliche Ausführung dargestellt.

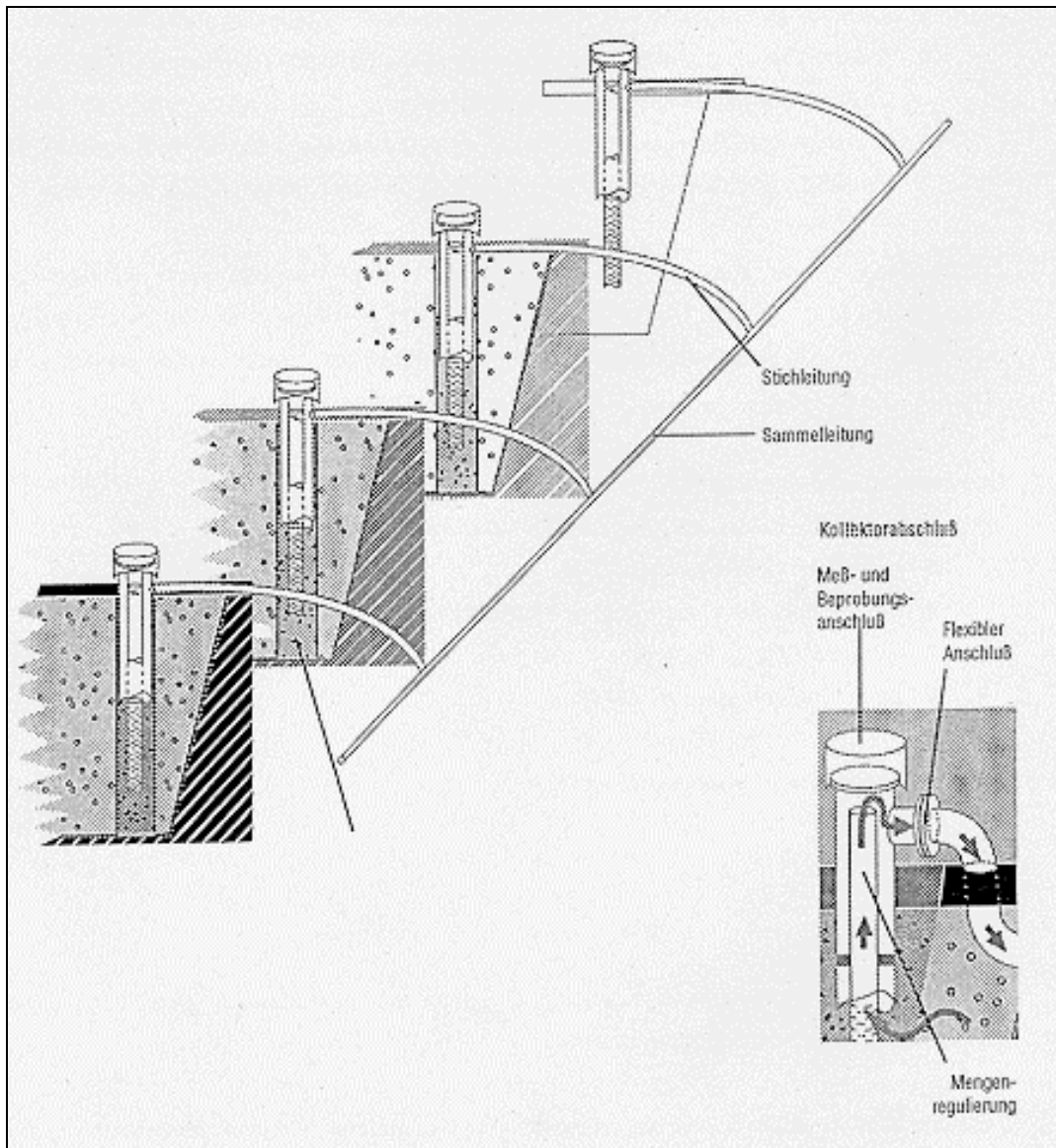


Bild 4: Lage und Ausbau einer Galerie von Gaskollektoren

Hier werden mehrere Gaskollektoren in Reihe zu einer Galerie geschaltet. Jeder Gaskollektor ist grundsätzlich einzeln am Kollektor einstellbar und beprobbar.

Je nach Anforderung an die Regelbarkeit des Systems sowie an die Trennung in unterschiedliche Gasqualitäten können unterschiedliche Systeme eingesetzt werden:

- Anschluß an eine gemeinsame Leitung mit alleiniger Regulierung am Kollektor selbst
- Anschluß an ein 2-Leitungssystem (methanreiches Gas und methanarmes Gas) mit Umschlußmöglichkeiten am jeweiligen Kollektor
- direkter Anschluß des einzelnen Kollektors an der Absaug- bzw. Behandlungsstelle und damit Ermöglichung einer zentralen Regelung und auch Steuerung der Kollektoren.

Entscheidend für die Auswahl ist insbesondere, ob eine Trennung nach unterschiedlichen Gasqualitäten erforderlich ist. Ob ein direkter Anschluß des jeweiligen Gaskollektors an der Zentrale zu wählen ist, muß in einer Gegenüberstellung der Investitions- und Betriebskosten ermittelt werden.

Charakteristische Kennzeichen:

- Wanddurchmesser des Kollektors 300 - 800 mm
- Abstand der Kollektoren 10 - 15 m
- Tiefe der Kollektoren bis 1 m über Geländeneiveau
- Abstand zur Flanke ca. 5 m
- Saugrohrdurchmesser ca. DN 150
- Rohre aus PP / HDPE, PN 6 - 10
- Filter aus Kies / Splitt, 16/32, kalkarm

b) Betrieb

Das System wird mit Unterdruck abgesaugt. Die einzelnen Unterdrücke an den Saugern werden manuell am Kopf der Kollektoren eingestellt.

Das Kondensat wird über Kondensatabscheider vom Gas getrennt und über Kondensatableiter einer getrennten Abwassererfassung und -behandlung zugeleitet.

Ein Abpumpen des Sickerwassers aus den Brunnen ist insbesondere bei Rammbrunnen möglich, beispielsweise mit Tauchmotorpumpen oder Ejektorpumpen [Pohlenz 1970 / Scheelz 1958]. Ejektorpumpen können auch in Kombination mit über Tage stehenden Kreisel- oder Kolbenpumpen als "Tiefsauger" eingesetzt werden (erforderliche Brunnendurchmesser mind. 100 mm, Förderhöhe bis über 50 m, Förderströme bis 24 m³/h). Der Ejektor kann u. U. sofort im Bohrloch eingebaut werden und dort verbleiben.

c) Wartungs-, Kontrollanforderungen

Die gesamte Installation ist gemäß einem zu erstellenden Wartungsplan regelmäßig zu kontrollieren und zu warten. Insbesondere betrifft dies Brunnenköpfe, Leitungsverbindungen, Kondensatabscheider und -ableiter sowie die Steuer- und Regelorgane, aber auch das Gastransport-, das Gaserfassungs- sowie das Gasbehandlungssystem.

Für das gesamte Sicherheitssystem sind intervallmäßig Sicherheitsprüfungen durchzuführen.

Die Wirksamkeit der Entgasungsmaßnahme ist durch regelmäßige Prüfung bzw. Kontrolle nachzuweisen, z.B. durch Ermittlung der Gaskonzentration im Bereich der Altablagerung oder in den gefährdeten Bereichen.

d) Gasbehandlung

Mit Gaskollektoren wird das Deponiegas konzentriert abgesaugt. Dabei kann es sich jedoch je nach vorliegender Gasphase um methanreiches ($\text{CH}_4 \geq 20\%$) oder methanarmes ($\text{CH}_4 < 20\%$) Deponiegas handeln.

Das abgesaugte Deponiegas muß entsprechend seines Methangehaltes aber auch seiner Geruchsbelastung behandelt werden.

Mögliche Behandlungsverfahren sind in Ziff. 4.6 dargestellt.

e) Auflagen

Es sind insbesondere folgende Auflagen zu erfüllen:

- Planung und Errichtung der Anlage durch fach- bzw. sachkundiges Personal
- Einhaltung der einschlägigen Vorschriften und Sicherheitsbestimmungen, u.a. Explosionsschutz, z.B. RUK 3/92, TBG 4/92
- regelmäßige Funktionskontrolle und Sicherheitsüberprüfung
- Durchführung einer Wirksamkeitskontrolle
- ordnungsgemäße Behandlung des abgesaugten Gases.

f) Kosten

In Abhängigkeit vom Bauverfahren, der Gesamtmetierzahl der Kollektoren sowie der Tiefe der Kollektoren können folgende Kosten für die Herstellung der Kollektoren geschätzt werden (Preisstand 1994).

		Kosten (DM, netto)			
Tiefe	Gesamtmetierzahl	Greifer	Schnecke	Hydraulik	Rammen
3 m	30 m	18.000	20.000	12.000	18.000
5 m	50 m	23.000	22.000	15.000	19.000
10 m	100 m	76.000	28.000	22.000	19.500
15 m	150 m	48.000	34.000	29.000	21.000

Bei Tiefen über 15 m und ausreichender Gesamtmetierzahl ist das Rammverfahren deutlich am kostengünstigsten.

g) Bewertung

- Vorteile:
 - gut regelbares Verfahren
 - relativ geringe Emissionen bei Herstellung
 - relativ geringe bis keine Aushubmassen
 - große Tiefen erreichbar
 - horizontale Störungen werden aufgeschlossen
 - kostengünstig
 - gezielter Unterdruck kann eingestellt werden
 - geringer Materialeinsatz

- Nachteile:
 - kein Aufschluß von eventuellen senkrechten Störungen ---> Verbesserung durch engen Brunnenabstand
 - Entwässerung kann nur im Pumpbetrieb erfolgen
 - Gefahr des Wassereinstaus, der durch Abpumpen beseitigt werden kann,
 - Gefahr der Kolmation
 - Gassperren sind zum Objektschutz meist zusätzlich erforderlich.

Das Verfahren der vertikalen Gaskollektoren eignet sich insbesondere dann, wenn eine flächige und bis in große Tiefen reichende Entgasung gefordert ist.

4.1.3 Zwangsentgasung über Dränagegraben

Dieses Entgasungssystem ist insbesondere geeignet zum Schutz von direkt an die Ablagerung angrenzenden Flächen. Eine Kombination mit Entgasungssystemen auf der Ablagerungsfläche kann erforderlich sein.

Im Randbereich der Ablagerung werden zum Abfangen von Gasmigrationen in Richtung Schutzgut Dränagegraben bis nahezu auf die Sohle der Ablagerung erstellt. Diese werden durch eine Zwangsabsaugung entgast.

a) Systembeschreibung / Bautechnik

In einem Abstand von ca. 5 m zum Ablagerungsrand (Rand des anstehenden Geländes) wird ein Graben bis nahe an die Ablagerungssohle ausgehoben. Einzelne Sperrschichten in der Ablagerung werden dabei aufgeschlossen. Der Aushub erfolgt normalerweise mit einem Tieflöffel-Hydraulikbagger (max. erreichbare Grabentiefe ca. 7 m) in kurzen Aushubabschnitten.

Die Böschungsneigungen (Abfall) werden nach DIN 4124 entsprechend der vorübergehenden Standfestigkeit des Materials hergestellt (Bei abschnittweisem Aushub werden häufig Böschungsneigungen bis 60° gewählt). Die Baugrube darf allerdings unter diesen Bedingungen nicht betreten werden. Soll die Baugrube betreten werden können, müssen die Wände bei Baugrubentiefe über 1,25 m gemäß DIN 4124 abgeböschert oder verbaut werden.

Bei Müllablagerungen sind gemäß durchgeführten Standsicherheitsuntersuchungen [Henke 1985] Neigungen steiler als 1:2 meist nicht standsicher (insbesondere bei Schlammablagerungen). Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und des Emissionspotentials des umzuladenden Abfalls ist eine derartige Ausführung bei tiefen Gräben jedoch abzulehnen. Statt dessen kann durch einen Norm-Grabenverbau (z. B. mit Grabenverbaueinheiten) die Baugrube relativ kostengünstig mit betretbarem Arbeitsraum ausgeführt werden.

Der jeweils ausgehobene Abschnitt wird vom Grabenrand aus mit einem Geotextil an Flanke und Sohle zur Kolmationssicherung ausgelegt und anschließend mit Dränmaterial (Kies / Splitt 16 / 32) verfüllt. Eine Teilwiederverfüllung mit Abfall oder Erdmaterial kann nicht zugelassen werden, da Anisotropien im angeschnittenen Abfall damit versperrt werden. Bei der Verfüllung werden in einem Abstand von ca. 10 - 15 m vertikale Saugrohre eingestellt (PEh, PP, ca. DN 100).

Nach abschnittsweiser Fertigstellung des Ausbaus wird das Geotextil mit mindestens 50 cm Überlappung über die Dränpackung gedeckt, die Saugrohre werden in geschlossener Ausführung durchgeführt und an ein horizontales Sammelrohr über T-Stücke angeschlossen. Das Sammelrohr wird mit jeweiligem Gefälle zum Saugrohr verlegt.

Zur Inspektion und Regulierung der einzelnen Sauger sollte zusätzlich ein "Brunnenkopf" (siehe Anhang 1) auf die Sauger aufgesetzt werden.

Die Grabenoberfläche wird abschließend mineralisch abgedichtet. Alternativ ist eine Folienabdichtung oder Abdichtung mit Bentonitmatte möglich. Die bestehende Abdeckung der Ablagerung wird im Umfeld des Drainagegrabens so nachgearbeitet, daß eine Fremdluftansaugung in den Graben vermieden wird.

Das System ist in **Bild 5** dargestellt.

Charakteristische Kennzeichen:

- Graben ohne Vorbau
- Graben nicht begehbar
- Sohlbreite min. 0,6 m
- Böschungsneigung entsprechend vorübergehender Standfestigkeit des Bodens
- Aushub und Ausbau abschnittsweise
- max. Tiefe 7 - 8 m (mit Vorbaugeräten bzw. Seilbagger größere Tiefen möglich, jedoch Standsicherheit, Ausbau und Wirtschaftlichkeit nicht mehr gegeben)
- Geotextil: PE/PP, min. 200 g/m², überlappend (mind. 50 cm)
- Filter: Kies/Splitt, kalkarm, Körnung 16/32 (alternativ auch 5/11, 5/16 oder gleichwertig)
- Dränrohre: PE/PP, DN 100, geschlitzt 4 - 6 mm, 10 % freie Eintrittsfläche, PN 6, verschweißt
- Sammelrohre: wie oben, jedoch geschlossen, DN 150

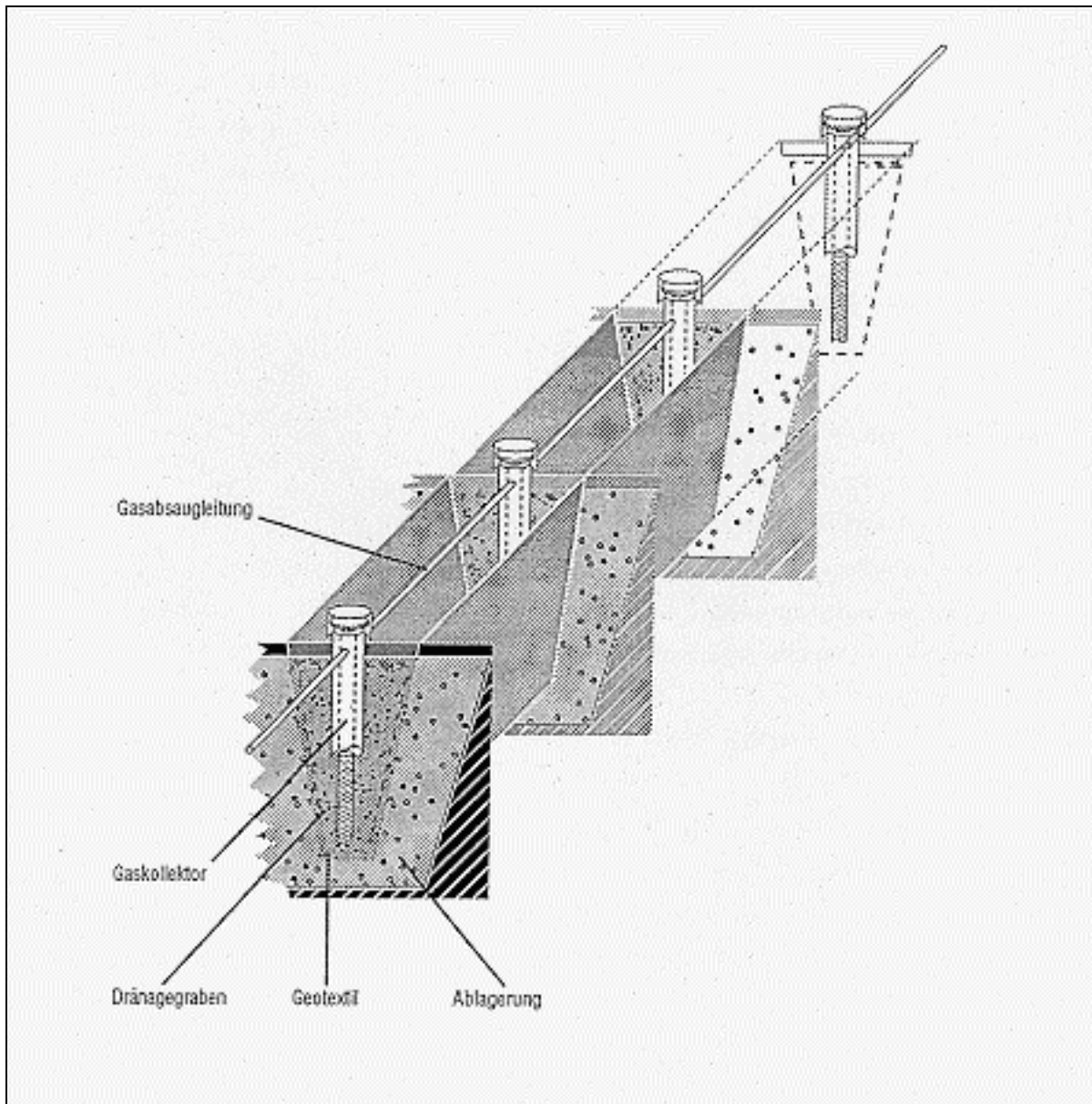


Bild 5: Randdränagegraben, Übersicht

b) Betrieb

Das System wird mit Unterdruck abgesaugt, die individuellen Unterdrücke an den Saugern werden manuell am Brunnenkopf eingestellt.

Bei der Absaugung muß darauf geachtet werden, daß über die Ablagerungsoberfläche keine Luft mit angesaugt und dadurch Explosionsgefahr im Absaugsystem erzeugt wird. Diese Gefahr wird durch die Abdichtung der Grabenoberfläche und die Nachdichtung der Grabenumgebung minimiert.

Das Kondensat wird bei der dargestellten Variante über die Sauger in die Ablagerung zurückgeführt.

Anzustreben ist jedoch immer eine Sammlung und geordnete Entsorgung des Kondensats. Hierfür müssen die Sauger im Bypass zur Sammelstelle und mit Gefälle zu ihm geschaltet

werden. Das Kondensat wird dann zentral in einem Tank gesammelt. Der Anschluß an den Tank muß über einen Siphon ausgeführt werden.

c) Wartungs- und Kontrollanforderungen

Die Wartungs- und Kontrollanforderungen sind entsprechend Ziff. 4.1.2 erforderlich.

d) Gasbehandlung

Die Gasbehandlung ist entsprechend Ziff. 4.1.2 erforderlich.

e) Auflagen

Neben den unter Ziff. 4.1.2 genannten Auflagen ist insbesondere auf die Einhaltung der Sicherheitsvorschriften bei der Erstellung des Grabens zu achten. Weiterhin sind die Arbeitsschutzvorschriften [RUK, 3/92; TBG, 4/92] einzuhalten.

f) Kosten

Bei einem angenommenen Böschungswinkel von 60° bzw. 90° muß in Abhängigkeit von der Grabentiefe mit folgenden Kosten gerechnet werden (Preisstand 1994):

Tiefe	Kosten pro 1 m Grabenlänge (DM/m, netto)		
	Winkel 60°	Winkel 90°	Verbau (Absenkverfahren)
2 m	200 - 300	120 - 160	250 - 300
3 m	400 - 500	200 - 250	300 - 350
5 m	900 - 1.100	300 - 350	500 - 600

Den Hauptkostenanteil bilden hierbei der Grabenaushub mit Abtransport des Aushubmaterials und die anschließende Verfüllung des Grabens mit Dränmaterial.

g) Bewertung

- Vorteile:
 - Das Bauverfahren ist bei geringeren Tiefen einfach und ohne Spezialmaschinen durchführbar
 - Neben horizontalen werden auch senkrechte Sperrschichten aufgeschlossen
 - Die senkrechte Anordnung der Sauger erlaubt einen gezielten Unterdruck entsprechend den Anforderungen
 - Drainagequerschnitt kann durch Geotextilien filterstabil ausgeführt werden
- Nachteile:
 - Verhältnismäßig großes Aushubvolumen fällt an durch Aushub im Verbau, jedoch ist eine Reduktion möglich.

- Die Grabensohle ist ohne besondere Maßnahmen nicht betretbar.
- Mit hohem Materialeinsatz und hohen spezifischen Kosten bei Tiefen über 2 m ist zu rechnen.
- Beizug von Falschluff ist möglich.
- Funktionssicherheit
 - Bei Ausfall des Unterdrucks besteht Migrationsgefahr zur Geländeflanke, deshalb ist gegebenenfalls ein Standbyaggregat zu installieren.
 - Gute Kolmationssicherheit kann erreicht werden.
 - Gute Regelbarkeit ist gegeben.
 - Bei Ausfall einzelner Sauger entsteht kaum eine Beeinträchtigung des Gesamtsystems.
- Anwendungsempfehlung
 - bei gering aufzuschließenden Tiefen bis etwa 3 m
 - bei Anisotropien im Deponat in horizontaler und vertikaler Richtung
 - bei hoher Wassersättigung der Ablagerung
 - bei großen Tiefen wirtschaftlich in Verbindung mit erforderlicher vertikaler Gassperre
 - Ausführung immer mit zusätzlichen senkrechten Saugern zur gezielten Unterdruckerzeugung

Als zusätzliche Sicherheit, vor allem bei Ausfall der Zwangsabsaugung, kann der Randdränagegraben mit einer vertikalen Gassperre an der Flanke des anstehenden Geländes ausgeführt werden. Dies wird auch empfohlen zur Minimierung von "Falschluff".

h) Alternative Verfahren

Alternativ zu oben erläuterten Herstellung von Drainagegräben ist die Herstellung mit einer Grabenfräse möglich. Hier können Tiefen bis ca. 5 m erreicht werden. Mit der Grabenfräse lassen sich schmale (1 - 2 m breit) Gräben mit senkrechten Wänden herstellen. Die Wände des Grabens weisen im Müll eine gute Standsicherheit auf, da der Graben "herausgeschnitten" wird und damit keine Auflockerung der Wände stattfindet. Der erstellte Graben darf nicht betreten werden (außer bei niedergebrachtem Verbau); der Einbau von Rohren und Filtermaterial hat deshalb vom Grabenrand aus zu erfolgen.

Werden Gräben mit einer Tiefe von über 6 m erforderlich, so kann der Tiefdrän Schlitz eine kostengünstige Möglichkeit darstellen. Bei diesem Bauverfahren wird der Drainagegraben durch eine "Nebeneinanderreihung" von einzelnen Bohrungen erstellt. Arbeiten auf der Bohrschale können im Schutz der Verrohrung sowie eines "Arbeitskäfigs" durchgeführt werden.

Das Verfahren wurde bereits mehrfach mit Erfolg durchgeführt, z.B. zur Sanierung von Hängen bei Schichtwasserzutritten.

Entsprechend des hohen Geräteinsatzes ist dieses Verfahren sehr teuer. Je nach Tiefe des Tiefdrän Schlitzes sowie der Größe der Gesamtmaßnahme muß mit 300 bis 500 DM pro m² Schlitzfläche gerechnet werden. Bei großen Tiefen (ab ca. 5 m) und großen Schlitzlängen (ab

ca. 100 m) kann dieses Verfahren günstiger als das herkömmliche Grabenaushubverfahren sein.

4.2 Sicherungsmaßnahmen an bzw. um die Altablagerung

Wie bereits in Kapitel 3.2.2 dargestellt, stehen für die Sicherung an der Altablagerung grundsätzlich zwei Verfahren zur Verfügung, welche je nach Situation und Anforderungen einzusetzen sind:

- a) Gassperren an der Oberfläche der Altablagerung
- b) Senkrechte Gassperre an den Ablagerungsflanken

Hierfür sind unterschiedliche technische Ausführungen möglich, welche in den folgenden Kapiteln im Grundprinzip dargestellt werden.

Da Sperren immer ein Restrisiko von Restdurchlässigkeit bzw. Undichtigkeiten beinhalten, sind Sperren immer mit einer darunter bzw. davor liegenden Schutzentgasung zur Entspannung des Gasüberdruckes herzustellen (siehe Kapitel 4.1).

4.2.1 Gassperren an der Oberfläche der Altablagerung

Zur Verhinderung des Gasaustrittes über die Ablagerungsoberfläche in die Atmosphäre und in auf der Ablagerung gegründete Bauwerke sowie zur Ermöglichung hoher Unterdrücke in den Gaskollektoren ohne Beizug von Fremdluft ist die Ablagerungsoberfläche mit gasdichten Abdichtungssystemen zu versehen.

Damit durch die Abdichtung der Oberfläche Deponiegas nicht gezwungen wird, unkontrolliert in benachbarte Bereiche zu migrieren, wo es möglicherweise weitere Gefahren oder Schäden verursachen könnte, sind solche Abdichtungen mit Entgasungssystemen zu kombinieren.

Eine Übersicht über die generellen Eigenschaften von Oberflächenabdichtungen zeigt Tabelle 5.

a) Systembeschreibung / Bautechnik

Der Aufbau und die Herstellung der mineralischen Oberflächenabdichtung kann entsprechend den Vorgaben der TA-Abfall bzw. TA-Siedlungsabfall für Oberflächenabdichtungen auf Deponien erfolgen. Der gesamte Aufbau besteht danach aus einer Stütz- und Dränageschicht in mindestens 50 cm Stärke, u. U. mit einem darunter verlegten Geotextil, der mineralischen Abdichtung (mind. 50 cm Stärke) mit einem unteren und oberen Geotextil sowie bei Deponiekategorie II einer darüber liegenden KDB und darauf einer Dränageschicht mit mindestens 30 cm Stärke. Die Abdeckung dieser Abdichtungsschicht kann alternativ ein wurzelfähiger Boden sowie eine Flächenbefestigung sein.

Wenn große Setzungen zu erwarten sind, die die Dichtwirkung der Oberflächenabdichtung beeinträchtigen können, ist eine vorherige Tiefenverdichtung der Altablagerung zu überlegen.

Mögliche Systeme	Eigenschaften								
	Wasser- undurchlässigkeit	Aus-trocknung	Lang-lebigen-keit	Stand-sicher-heit	Wartungs-aufwand	Sicher-heit	Setzungs-empfind-lichkeit	Raum-bedarf	Alterungs-beständig
A. KDB	++	++	-	-	-	-	-	++	-
B. Mineral. Abdichtung	+	+	+	++	+	0	+	+	+
C. Kombi-abdichtung	++	-	0	-	-	+	-	-	0
D. Bentonit-bahn	+	0	-	-	-	-	-	++	0
E. Asphalt-abdichtung	+	++	-	0	-	-	-	++	0
F. Mineral. Abdichtung mit oberer Kapillar-sperre	++	++	++	++	++	+	++	0	++
G. Mineral. Abdichtung mit unterer Kapillar-sperre	++	++	++	++	++	++	+	0	++

Tab. 5: Generelle Eigenschaften von Oberflächenabdichtungen.

Es bedeuten: ++ sehr günstig, + günstig, 0 durchschnittlich, - ungünstig

Bei Überbauung der Abdichtung mit einer Flächenbefestigung ist die Standsicherheit des Systems auf Grundlage der plastischen Eigenschaften der mineralischen Abdichtung zu prüfen und eine dementsprechend dimensionierte Lastabtragsschicht (verstärkte mineralische Tragschicht) herzustellen.

Alternative Oberflächenabdichtungen für Altablagerungen werden nachfolgend beschrieben.

Bentonitbahn

Auf der Stützschiicht wird eine Bentonitbahnabdichtung verlegt (Produktbeschreibung siehe Kapitel 4.2.2). Hiermit lassen sich unter der Voraussetzung, daß ein ordnungsgemäßer Bahnverbund hergestellt wird, die zulässigen Böschungsneigungen eingehalten werden und keine zu hohen Setzungen auftreten, gute Abdichtqualitäten erreichen. Der Vorteil der Bentonitbahnabdichtung liegt vor allem in der schnellen Baufertigstellung, der guten Belastbarkeit sowie im günstigen Kosten-Leistungsverhältnis.

Abdichtung mit Kunststoffdichtungsbahnen (KDB)

Zum Einsatz kommen hauptsächlich HDPE-Bahnen. Bei der Erfordernis der absoluten Gasdichtigkeit (auch chlorierte Kohlenwasserstoffe) sind Verbundfolien aus Metall-PE-Verbund (z. B. Aluminium-PE) einzusetzen. Entsprechend den mechanischen Anforderungen sollten 1,0 mm Bahnstärke nicht unterschritten werden. Die einzelnen Bahnen sind mit Schweißnähten (vorzugsweise mit Prüfkanal) zu verbinden. Die Nähte sind mit Ultraschall, Druckluft bzw. Vakuum zu überprüfen. Die KDB muß gegenüber dem Untergrund und der Abdeckung ausreichend durch Sandschichten oder Vliese geschützt werden, ausreichende Nachweise sind zu erbringen. Der Einsatz von KDB ist auf Böschungsneigungen von in der Regel 1 : 3 mit besonderen Maßnahmen auf bis 1 : 2,5 und einem Untergrund mit nicht zu starken Setzungen beschränkt.

Ein ausreichender mechanischer Oberflächenschutz der KDB ist für deren Funktionstüchtigkeit entscheidend wichtig.

Abdichtung mit bituminöser Befestigung

Asphaltabdichtungen wurden zur Abdichtung der Deponieoberfläche mit Erfolg eingesetzt. Sie sind gegenüber mechanischen Angriffen aus Befahrung, Auflast und Abrieb beständig herstellbar. Die Asphaltabdichtung kann auch bei steilen Böschungsneigungen (bei Einsatz entsprechender Maschinen) aufgebracht werden.

Empfindlich sind Asphaltabdichtungen allerdings gegenüber Untergrundsetzungen. Nach der "Empfehlung für die Ausführung von Asphaltarbeiten im Wasserbau" [EAAW, 1983] bleibt eine Asphaltabdichtung bis zu einem Verhältnis von Muldendurchmesser zu Muldentiefe von 10 : 1 wasserdicht. Unstetige Setzungen in dieser Größe bzw. höher wurden an Oberflächen von Hausmüllablagerungen gemessen und müssen bei der Planung der Oberflächenabdichtung berücksichtigt werden, d.h. der Untergrund muß entsprechend behandelt werden, beispielsweise durch Tiefenverdichtungen.

Die Oberfläche kann je nach beabsichtigter Oberflächennutzung zusätzlich mit einer Oberflächenentwässerung versehen und mit durchwurzelungsfähigem Boden überdeckt werden.

Abdichtung mit Betonbefestigung

Die Erfordernis einer Bewehrung bei Abdichtungen mit Betondecken richtet sich nach den örtlichen Untergrundverhältnissen und den Anforderungen an die mechanische Festigkeit und Rissesicherheit. Nachfolgend sind die Vor- und Nachteile von bewehrten oder unbewehrten Betonbefestigungen zusammengestellt.

Unbewehrte Betonbefestigung

- ca. 30 - 40 cm Unterbau aus Frostschutzmaterial, u. U. mit Geotextil
- Betondecke B 35, 20 - 30 cm Stärke
- Fugen als Scheinfugen, mit und ohne Verguß, Dichtungsband
- Herstellungskosten ca. 90 - 110 DM/m²

Nachteil: hohe Rissegefahr in der Fläche, Fugen dauerhaft nicht absolut dicht

Bewehrte Betonplatte

- ca. 30 - 40 cm Unterbau aus Frostschutzmaterial, u. U. mit Geotextil
- Betondecke B 35, 40 cm Stärke, Bewehrung (relativ hoher Bewehrungsgrad)
- Fugen als geschnittene Scheinfugen mit geeignetem Verguß
- Herstellungskosten ca. 350 - 400 DM/m²

Vorteil: bedingte Rissefreiheit, Fugen technisch dicht herstellbar

Nachteil: extrem hohe Kosten, Rissesicherheit bei großen lokalen Setzungsdifferenzen nur bedingt gegeben

Gasdichtheit ist mit Betonbefestigungen nicht erreichbar. Deshalb sollte unter der Betonbefestigung eine Kombinationsabdichtung, Bentonitbahnabdichtung oder Kunststoffdichtungsbahn verlegt werden. Soweit es sich um Betonbefestigungen in Gebäuden handelt, wird die Betonplatte bereits aus Gründen der Statik zu bewehren sein.

b) Betrieb

Betriebliche Anforderungen betreffen die mit einer Gassperre verbundenen Schutzentgasungen (vgl. Kap. 4.1 und 4.6).

c) Wartungs- und Kontrollanforderungen

Festgestellte Undichtigkeiten sind kurzfristig zu reparieren; darunter fallen auch Risse sowie Fugenschäden in Beton- und Asphaltabdichtungen.

Die Dichtigkeit der Abdichtung ist intervallmäßig zu kontrollieren. Dies kann optisch (falls Abdichtung offen liegt) oder über Gaskonzentrationsmengen an der Oberfläche geschehen (Bodenmessungen, FID).

d) Gasbehandlung

Betrifft die Schutzentgasung (vgl. Kap. 4.1 und 4.6).

e) Auflagen

Die Abdichtung ist nach den anerkannten Regeln der Technik auszuführen. Hinweise dazu befinden sich in den Empfehlungen des Arbeitskreises "Geotechnik der Deponien und Altlasten" - GDA der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau. Schon kleine Leckagen können die Wirksamkeit der Abdichtung stark beeinträchtigen. Deshalb sind sorgfältige Kontrollen und gegebenenfalls Nachbesserungen von Fehlstellen erforderlich.

f) Kosten

In Abhängigkeit des eingesetzten Verfahrens sind folgende Herstellungskosten zu veranschlagen (Preisstand 1994):

	DM/m² (netto)
Mineralische Abdichtung	60 - 80
Bentonitabdichtung	50 - 70
Kunststoffdichtungsbahn	70 - 90
Bituminöse Befestigung	60 - 80
Unbewehrte Betonbefestigung	90 - 110
Bewehrte Betonplatte	350 - 400

Sämtliche Kosten beinhalten den erforderlichen Unterbau einschließlich Flächenentgasung, die erforderlichen Schutzschichten, jedoch nicht die erforderlichen weiteren Abdeckungen wie Wurzelboden und Nutzflächenbefestigung sowie die erforderlichen Entwässerungseinrichtungen.

g) Bewertung

Oberflächenbefestigungen können technisch gut als Gassperren ausgebildet werden. Sie sind jedoch immer mit einer darunter liegenden Gasentspannung zu kombinieren. Entsprechend den örtlichen Gegebenheiten und der vorgesehenen Nutzung sind die möglichen Verfahren auszuwählen. Den möglichen Funktionsbeeinträchtigungen durch Setzungen, Belastungen, Austrocknung und Alterung ist Rechnung zu tragen durch Kontrollen und gegebenenfalls Reparaturen.

4.2.2 Senkrechte Gassperren an den Ablagerungsflanken

Senkrechte Gassperren sind immer mit einer davor liegenden Gasabsaugung zu kombinieren.

Senkrechte Gassperren und Gasabsaugung sind möglichst in einem gemeinsamen Bauwerk zu erstellen aus Gründen der Kosten sowie der Umweltbelastung.

Der Graben kann dann in Anlehnung an Kap. 4.1.3 unverbaut oder verbaut entsprechend der Eignung des Bodens bzw. der Erfordernis zum Betreten der Baugrube ausgeführt werden.

a) Systembeschreibung / Baubeschreibung

Unmittelbar an der zu schützenden Deponieflanke wird möglichst bis auf die Deponiesohle ein Drainagegraben ähnlich der Ausführung unter Kap. 4.1.3 ausgehoben. Hierbei kann die Grabenherstellung je nach Standfestigkeit des Bodens als verbaute oder unverbaute Baugrube erfolgen. Entsprechend Kap. 4.1.3 erfolgt der Aushub entsprechend der vorübergehenden Standfestigkeit des Bodens mit Böschungswinkeln bei etwa 60° im abschnittweisen Vorgehen. Dabei orientieren sich die Aushubabschnitte an der Breite der Abdichtungsbahn ($B = 2 \times$ Bahnbreite).

Nach dem jeweiligen Aushub wird der Graben mit geeigneten Dichtungsbahnen auf der Sohle und an der zum anstehenden Gelände gelegenen Flanke abgedichtet. Hierzu wird die jeweilige Bahn (auf Rolle gewickelt) vom Baugerät (Bagger, Lader usw.) aus in den Graben so abgewickelt, daß sie auf Boden und Flanke zu liegen kommt. Die Bahn muß bis zur Grabenverfüllung durch Befestigung am Grabenrand in ihrer Lage gehalten werden.

Zum Einsatz können hier alternativ Kunststoffdichtungsbahnen aus beispielsweise HDPE (Stärke 2 - 2,5 mm) oder Bentonitbahnen (Stärke 6 - 12 mm) kommen.

Die einzelnen Bahnen werden mit einer Überlappung von mindestens 50 cm verlegt.

Bentonitbahnen sind flexible, hoch undurchlässige Dichtmittelsysteme, die unter Verwendung von Natrium-Bentonit bzw. aktiviertem CA-Bentonit und Polypropylen- bzw. HDPE-Geotextilien in einem Verbund in Sandwichbauweise hergestellt werden. Zwischen zwei Geotextilien ist das Bentonit eingeschlossen.

Die Dichtwirkung wird durch das Quellvermögen des Bentonits erreicht. Werte von 10^{-10} m/s als Wasser-Durchlässigkeitskoeffizient wurden nachgewiesen. Schon bei relativ geringen Wassergehalten sind die Luftporen der Bentonitmatte nicht mehr miteinander verbunden, so daß sie technisch luftundurchlässig wird. Für den Überlappungsbereich können Durchlässigkeitswerte für Wasser zwischen 10^{-6} und 10^{-9} m/s je nach Ausführung der Überlappung erreicht werden. Ohne Betreten des Grabens ist nur eine bedingte Dichtung der Übergangsbereiche erreichbar.

Die Dichtungsbahn darf erst nach Abdeckung bzw. Verfüllung des Grabens durch Wasserzugabe zum Quellen gebracht werden (bei Auflast ca. 2 - 3fache Ursprungstärke).

Die mögliche Abdichttiefe sowie die maximale Grabenböschungsneigung sind von der Zugfestigkeit der Geotextilien abhängig. Durch Veränderung von Reibungswinkel und Geotextilfestigkeit können die jeweiligen Bedingungen eingehalten werden. Produkte mit unterschiedlichen zulässigen Zugkräften werden angeboten.

Bei Lage des Grabens am Ablagerungsrand wird zur Abdichtungsmatte hin durch die Gasfeuchte und durch Sickerwasser kontinuierlich Feuchte transportiert. Ein eventueller Wasserverlust der Bentonitmatte auf der Seite des anstehenden Geländes kann hiermit ausgeglichen werden, so daß Trockenrisse kaum zu erwarten sind.

Kunststoffdichtungsbahnen bilden im Bereich der Überlappungsbereiche nur eine schlechte Gassperre, da durch die Starrheit des Materials ein Kontakt nur schlecht hergestellt werden kann. Sie sind deshalb zu verschweißen. Dafür muß der Graben begangen werden, was einen Verbau erforderlich macht. ECB-Bahnen bieten hierzu bessere Eigenschaften.

Bei der Grabenverfüllung muß auf die Lage der Abdichtungsbahn geachtet werden, u. U. ist ein Andrücken der Überlappung durch eine Verbauplatte, die kontinuierlich gezogen wird, vorteilhaft.

Beim Einsatz von Kunststoffdichtungsbahnen müssen diese durch Geotextilien ausreichender Stärke (ca. 500 - 800 g/m²) geschützt werden (Material PP/HDPE). Eine werkseitige Kaschierung der Bahnen mit Geotextil ist möglich. Dabei muß darauf geachtet werden, daß der Überlappungsbereich frei bleibt.

Ein Schutz durch Sandabdeckung ist nicht möglich, da dadurch eine kontrollierte Einbringung im Grabenwandbereich nicht oder nur sehr schwer möglich ist.

Der Grabenausbau entspricht der Beschreibung unter Kap. 4.1.3.

Die Dichtungsbahn wird anschließend über die Grabenoberfläche geklappt (u. U. mit Vertiefung ausgeführt, zur besseren Einbindung), um so einen Luftzutritt bei der Zwangsabsaugung zu verhindern.

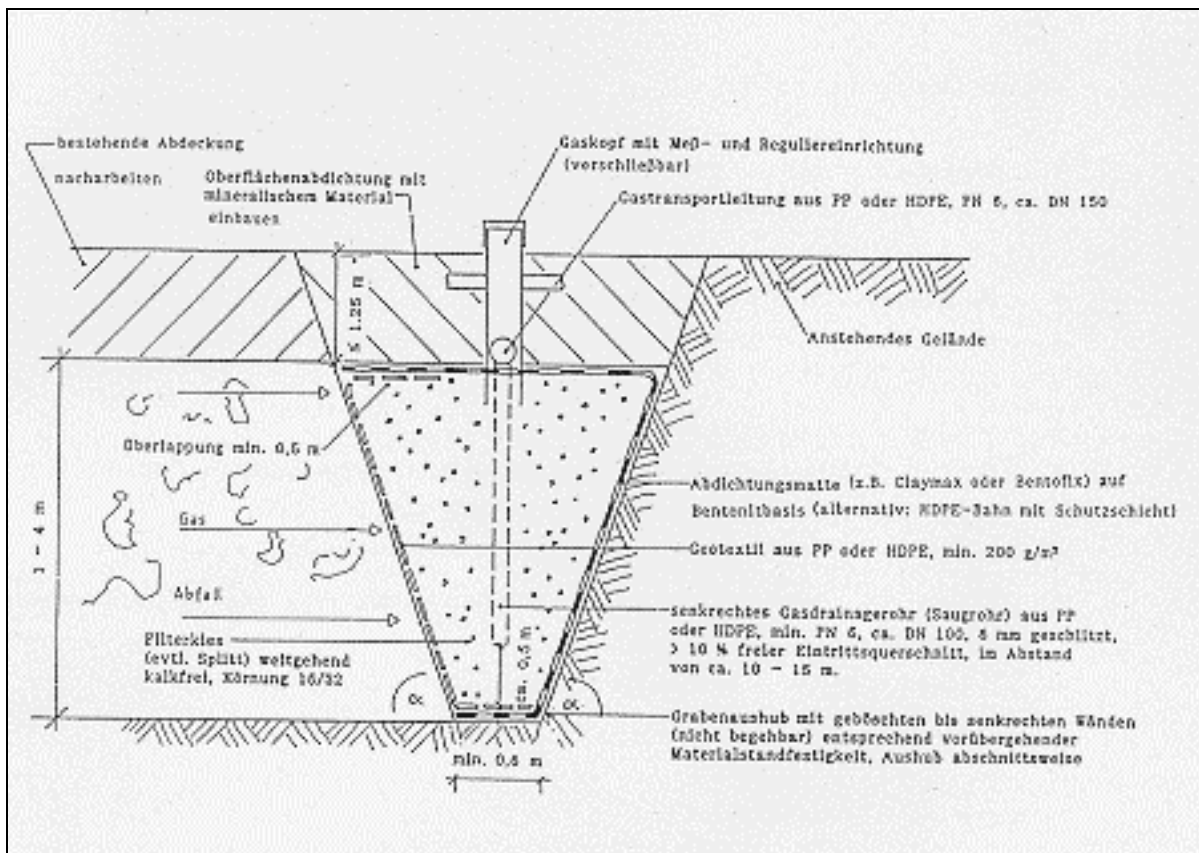


Bild 6: Dränagegraben mit vertikaler Gassperre

Charakteristische Kennzeichen:

- Grabenaushub entweder ohne Verbau, nicht begehbar, oder mit nachträglichem Verbau bei vorübergehender Standfestigkeit des Bodens oder mit Verbau im Absenkverfahren bei nicht standfestem Boden
- Sohlbreite 0,6 - 1,0 m, je nach Grabenausführung
- Aushub und Ausbau abschnittsweise entsprechend der Breite der Abdichtungsbahn (jeweils zwei Bahnbreiten)
- max. Tiefe 7 - 8 m (verbaubedingt)
- Abdichtbahn als Bentonitmatte (0,6 - 1,2 cm Stärke) oder HDPE-Bahn (2,5 mm Stärke)
- Dichtung der Bentonitmattenübergänge durch Überlappung
- Dichtung der HDPE-Bahn-Überlappung durch Verschweißen (möglichst mit Prüfkanal)
- Schutz der HDPE-Bahn durch beidseitiges Schutzgeotextil, möglichst aufkaschiert (PP/HDPE, ca. 600 - 800 g/m²)
- Dränrohre, Sammelrohr, Filter wie bei Drainagegraben

b) Betrieb

Das System wird wie der Drainagegraben betrieben. Bei Ausfall der Absaugung ist ein Migrationsschutz durch die Sperrbahn vorhanden.

c) Wartungs- und Kontrollanforderungen

Die im Graben eingebrachte Gassperre kann nach Fertigstellung nicht mehr gewartet werden. Festgestellte Schäden bedürfen einer aufwendigen Sanierung durch Freilegen der Sperre. Die Wirksamkeit der Sperre kann über Kontrollmessungen der Restgaskonzentrationen hinter der Sperre kontrolliert werden.

d) Gasbehandlung

Betrifft die Schutzentgasung (vgl. Kap. 4.1 und 4.6).

e) Auflagen

Die Gassperren sind gemäß den anerkannten Regeln der Technik auszuführen. Insbesondere ist die Anforderung an die Nahtqualität und der Nachweis der Dichtigkeit in den Auflagen festzuschreiben.

f) Kosten

In Abhängigkeit der Grabenausführung und der verwendeten Sperrbahn sowie der Grabentiefe muß mit folgenden Kosten gerechnet werden (Preisstand 1994).

Grabentiefe	Kosten (DM/m, netto)			
	Bentonitmatte			KDB
	Böschung 60°	Böschung 90°	Verbau (abgesenkt)	Verbau (abgesenkt)
2 m	250-350	170-210	280-320	320-350
3 m	470-570	270-320	350-400	420-470
4 m	1.000-1.200	400-450	550-620	720-760

g) Bewertung

- Vorteile:
 - Gleichzeitiges Einbringen der vertikalen Sperrschicht und Entgasungsschicht möglich
 - Eventuelle horizontale und vertikale Sperrschichten in der Altablagerung werden aufgeschlossen
 - Die senkrechte Anordnung der Sauger erlaubt einen gezielten Unterdruck entsprechend den örtlichen Gegebenheiten und Erfordernissen
 - Filterstabile Ausführung möglich
 - Bentonitmatten sind als Sperrelement grundsätzlich geeignet
 - Bei Einsatz von Verbauplatten kann Aushub minimiert sowie Graben begebar werden
 - Rohreinbindungen sowie -sanierungen sind bei Grabenverbau möglich
 - Unterbindung der Gasmigration auch bei Ausfall des Unterdrucks
- Nachteile:
 - Erschwernis bei Aushub, Verfüllung und Abdichtung bei verbautem Graben
 - Emissionen durch relativ großen Müllaushub
 - Bei betretbarem Graben ist hoher Aufwand an Baukontrolle und Arbeitsschutz (Ex-Schutz, Einhaltung der MAK-Werte) erforderlich
 - Verletzungen der Abdichtung bei Verfüllung kaum kontrollierbar
 - Tiefe ist durch Wirtschaftlichkeit und Grenze für Verbauplatten begrenzt
- Funktionssicherheit:
 - Bei Ausfall des Unterdrucks besteht nur minimale Migrationsgefahr durch die vertikale Sperrwand
 - Gute Kolmationssicherheit
 - Gute Regelbarkeit
 - Bei Ausfall eines Saugers entsteht kaum Beeinträchtigung
- Anwendungsempfehlung:
 - Bei naher Bebauung und gleichzeitig hochgasweisem Untergrund
 - In Verbindung mit Drainagegraben für größere Tiefen, da Mehrkosten der Abdichtung relativ gering sind
 - Bei geforderter hoher Funktionssicherheit

- Ausführung immer mit senkrechten Saugern zur gezielten Unterdruckerzeugung
- Bei großen Tiefen und nicht ausreichend standsicherem Untergrund sollte der Verbau im Absenkverfahren erfolgen
- Vorzugsweise Abdichtung mit Bentonitmatten

h) Alternative Verfahren

Mineralische Abdichtung

Alternativ zum oben beschriebenen System ist die Abdichtung im Graben auch mit einer Lehm-/Tonabdichtung möglich. Nach Grabenaushub wird dieser auf vollem Querschnitt mit dem Abdichtungsmaterial lagenweise aufgebaut ($k_f < 10^{-9}$ m/s, Verdichtungsprüfung). Anschließend wird zur Ablagerung hin das Abdichtungsmaterial so wieder ausgebaut, daß eine Abdichtungsschürze von mindestens 1 m Breite bestehen bleibt. Der weitere Ausbau des Grabens erfolgt wie oben beschrieben. Beim Einbau des Abdichtungsmaterials muß der Graben betreten werden. Ein Grabenverbau läßt aber einen ordnungsgemäßen Einbau der Dichtung nicht zu, infolgedessen ist diese Abdichtungsvariante auf kleine Grabentiefen bis ca. 3 m beschränkt.

Sperrgraben

Insbesondere bei großen Tiefen kann es wirtschaftlich sein, statt eines Drainagegrabens mit vertikaler Sperrschicht einen getrennten Sperrgraben mit vorgesetzter Gaskollektorgalerie auszuführen. Einsetzbar sind hier vor allem Schlitzwandverfahren. Je nach Abdichtungstiefe sowie zu durchfahrendem Untergrund muß mit Kosten zwischen 300 - 500 DM/m² Schlitz gerechnet werden.

4.3 Sicherungsmaßnahmen am Objekt

Befindet sich das zu schützende Objekt direkt auf oder in der Ablagerung oder bestehen hochgaswirksame Wege zum Objekt, die mit Maßnahmen auf der Deponie nicht vollständig unterbunden werden können, müssen Sicherungsmaßnahmen am oder im Objekt durchgeführt werden.

Sicherungsmaßnahmen am Objekt können sein:

- a) Gassperren am Objekt
- b) Gasentlüftung, Gasabsaugung vor dem Objekt
- c) Gasentlüftung, Gasabsaugung im Objekt
- d) Sicherung des Objektes gegen Korrosion

4.3.1 Wandaußenschutz bei Gebäuden neben der Ablagerung

Bei im Erdreich gegründeten Gebäuden mit Kellerräumen sind Gasmigrationen durch Mauer- risse, Fundamentfugen sowie Rohrdurchführungen möglich. (Vermeidung von Gasmigratio- nen durch Ver- und Entsorgungsleitungen, siehe Kap. 4.3.3.)

Eine mögliche Sicherung der Gebäudewand zeigt **Bild 7**.

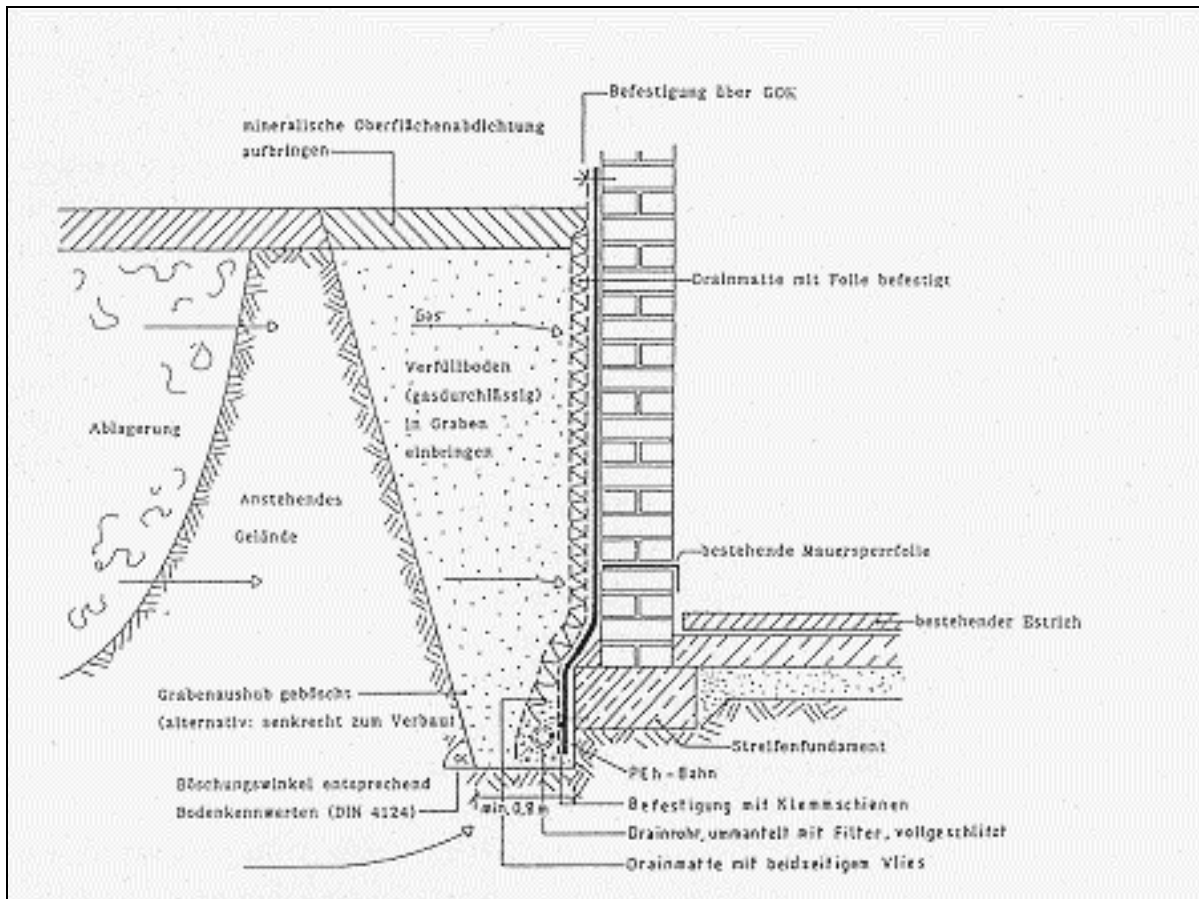


Bild 7: Schutzmaßnahmen an der Gebäudewand gegen Gasmigrationen durch Wandabdichtung mit Gasentspannung

a) Systembeschreibung / Baubeschreibung

Um das Gebäude wird eine geböschte Baugrube (Einhaltung der Böschungswinkel für betretbare Baugrube) ausgehoben. Alternativ ist ein Aushub mit einseitigem Verbau (Trägerbohlwände, Elementwände, u.U. Spundwände), insbesondere bei größeren Tiefen und geringer Standfestigkeit des Bodens, möglich.

Kellerwand und Streifenfundament werden durch eine Kunststoffdichtungsbahn (KDB) geschützt, die am Streifenfundament mit Flanschen abgedichtet wird. Bei der Auswahl der Dichtungsbahn ist die Dichtigkeit und Resistenz gegen Gase zu beachten. Da nur Metallfolien als wirklich dicht gegen Gase (auch Kohlenwasserstoffe) anzusehen sind, Metall aber gegen chemische Angriffe geschützt werden muß, sind sogenannte Verbundfolien aus Polyethylen und Aluminium bei hohen Konzentrationen von Kohlenwasserstoffen im Deponiegas einzusetzen. Diese Folien und Dichtungsbahnen werden inzwischen von mehreren Herstellern an-

geboten. Zum Schutz der KDB vor mechanischen Beschädigungen und zur Schutzentgasung wird vor der KDB eine Dränmatte angebracht. Knapp unter der Geländeoberkante wird die Dränmatte mit der KDB verklebt. An der Grabensohle wird die Matte geteilt und um das Dränagerohr und den Filterkies gestülpt.

Der Graben ist mit möglichst durchlässigem Bodenmaterial zu verfüllen. Erfolgt die Gasentspannung durch Gasdiffusion, so ist die Grabenoberfläche mit gasdurchlässigem Material abzudecken. Erfolgt eine Zwangsabsaugung des Gases, muß die Grabenoberfläche abgedichtet werden, damit möglichst keine Fremdluft angesaugt wird.

Zusätzliche Sicherheit kann insbesondere bei Streifenfundamenten durch eine Innenraumabdichtung mit einer KDB und neuem Estrich erreicht werden (siehe hierzu Kap. 4.3.2).

b) Betrieb

Die vor der Abdichtung liegende Schutzentgasung ist zu entwässern und zu entgasen. Bei einer Zwangsabsaugung des Gases ist gegebenenfalls eine geeignete Gasbehandlung nachzuschalten.

Blasende Belüftung der Schutzentgasungsschicht ist der saugenden Belüftung vorzuziehen, sofern es die örtlichen Verhältnisse und das Gesamtentgasungssystem zulassen. Damit wird ein gefahrvergrößerndes Ansaugen von Deponiegas zur Gassperre hin verhindert. Ferner werden Maßnahmen zum Explosionsschutz entbehrlich. Die Belüftung kann über ein horizontales Dränagerohr oder über einzelne Belüftungssonden erfolgen.

c) Wartungs-, Kontrollanforderungen

Folgende Bauteile sind regelmäßig auf Funktion zu prüfen und gegebenenfalls instandzusetzen:

- Abdeckung bzw. Abdichtung der Grabenoberfläche
- Drainage am Grabenfuß (Spülen)
- Befestigung der KDB an Außenwand
- die eventuell erforderliche Gasabsaugeinrichtung

Die Dichtigkeit der Sperrbahn sowie die Funktionsfähigkeit der Gasentspannung sind regelmäßig zu kontrollieren. Hierfür sind regelmäßige Kontrollmessungen der Gaskonzentration an den Gebäudeinnenwänden durchzuführen.

d) Gasbehandlung

Bei einer Zwangsabsaugung des Gases aus der Schutzschicht ist dieses gegebenenfalls einer geeigneten Gasbehandlung zuzuführen (siehe Kap. 4.6). Diese entfällt bei der Belüftung.

e) Auflagen

Die Lieferung und Montage der Sperrbahn darf nur von Fachfirmen durchgeführt werden, welche ihre fachliche Qualifikation nachweisen können. Sämtliche Nahtverbindungen und Abschlüsse der KDB sind auf ihre Dichtigkeit zu prüfen (Druckluft, Vakuum, Ultraschall).

Diese Auflagen können in Anlehnung an die Herstellung von KDB-Abdichtungen auf Deponien formuliert werden.

f) Kosten

Je nach erforderlicher Aushubtiefe ist mit Herstellungskosten für den Wandaußenschutz einschließlich der Gasentspannung (ohne Absaugung und Gasbehandlung) zwischen 200 und 250 DM/m² Wandaußenschutz zu rechnen.

g) Bewertung

Bei einer fachgerechten Ausführung des Wandaußenschutzes ist unter Einsatz von Kunststoffdichtungsbahnen und Dränmatten ein guter Wandaußenschutz von Gebäuden zu erreichen. Entscheidend für die Funktionsqualität ist die dichte Ausführung der Nähte sowie der allseitig dichte Anschluß der KDB-Ränder an die Bauwerkswand.

4.3.2 Wand- und Bodenschutz bei Gebäuden auf der Ablagerung

Befinden sich Gebäude auf der Ablagerung, sind meist umfangreichere Schutzmaßnahmen zu treffen, die sich auch auf die Gebäudesohle ausdehnen müssen.

Eine mögliche Sicherung zeigt **Bild 8**.

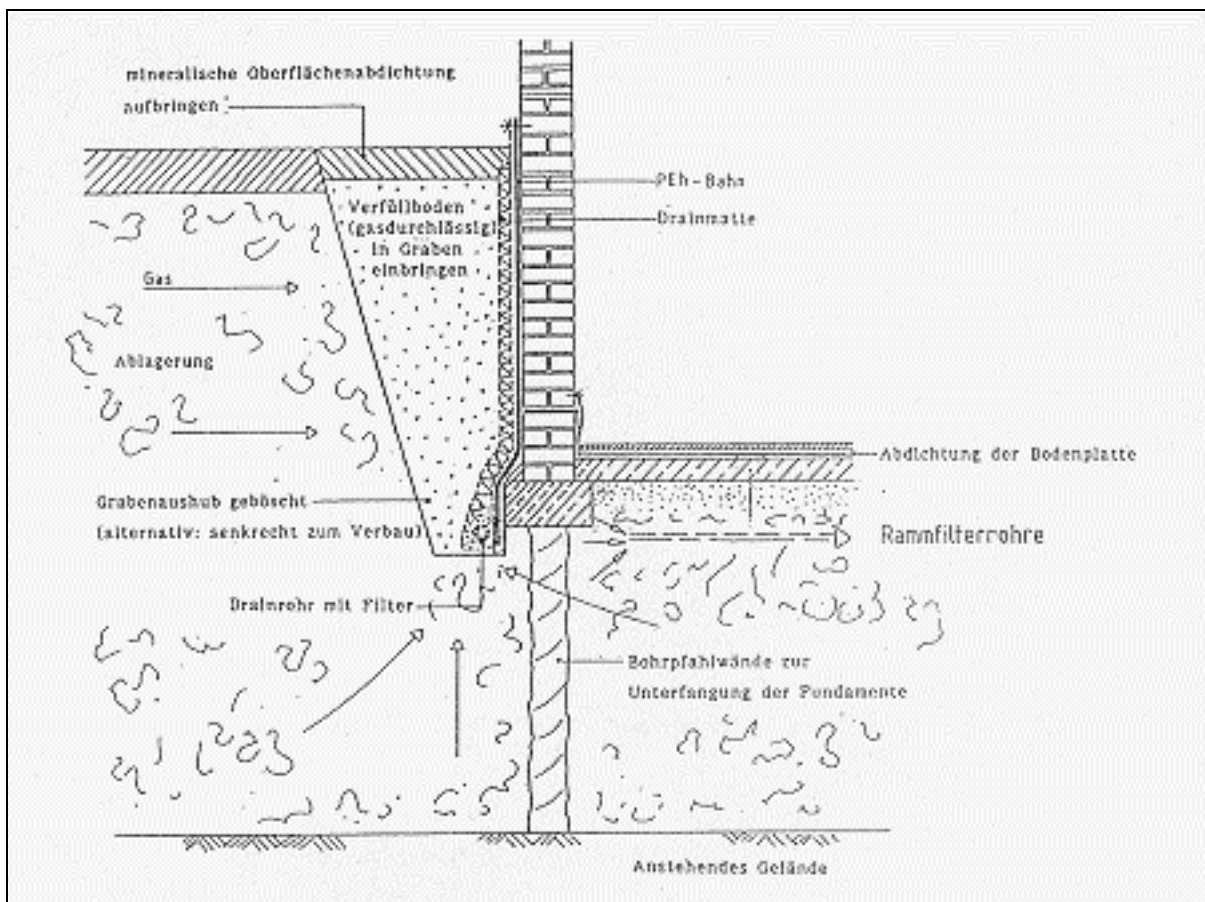


Bild 8: Sicherungsmaßnahmen gegen Gasmigrationen an Gebäuden auf der Ablagerung

a) Systembeschreibung / Baubeschreibung

Die Wandabdichtung kann wie unter Kap. 4.3.1 beschrieben ausgeführt werden. Der Drainagestrang sollte jedoch möglichst weit unter das Fundament gelegt werden. (**Achtung!** Standsicherheit des Gebäudes beachten. Unter Umständen ist eine Gebäudeabfangung erforderlich.)

Zusätzlich kann hier, insbesondere bei großflächigen Gebäuden, eine Abdichtung der Bodenplatte erforderlich werden. Die mögliche Ausführung zeigt im Detail **Bild 9**.

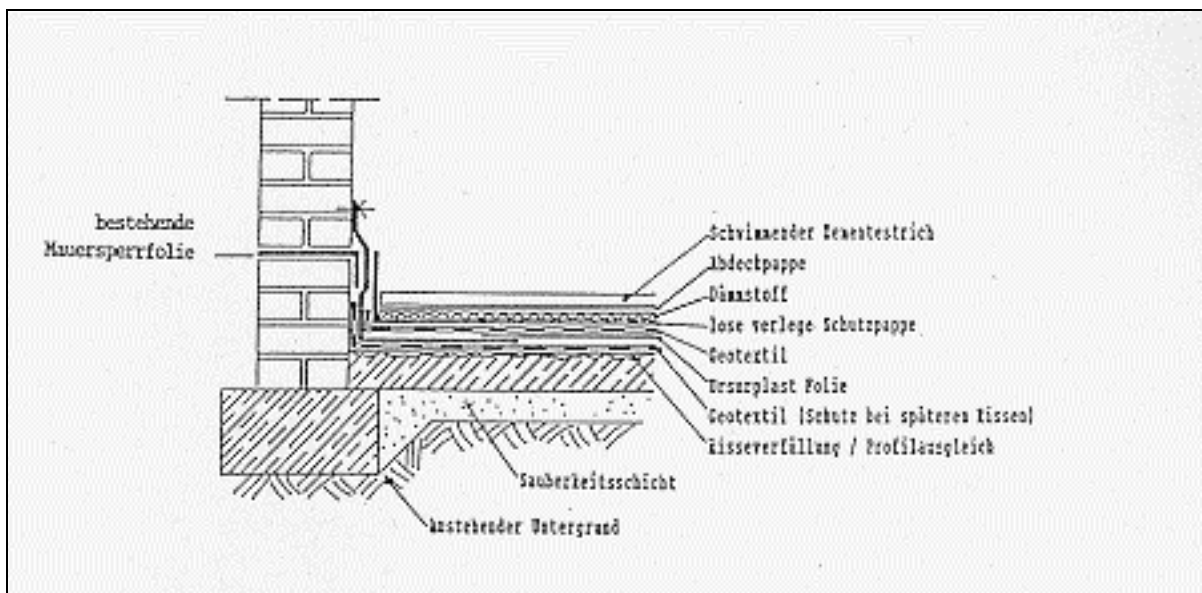


Bild 9: Abdichtung der Gebäudebodenplatte bei einer Streifenfundamentausführung

Die vorhandene Bodenplatte wird durch Risseabdichtung und Fugenausgleich saniert.

Auf dem vorbereiteten Boden wird eine Sperrbahn (HDPE-Bahn oder bei hohen Kohlenwasserstoffkonzentrationen eine Verbundfolie) mit beidseitigem Schutzgeotextil verlegt. Die auf dem Boden verlegte Sperrbahn wird über einen getrennten Bahnstreifen, der angeschweißt wird, am Mauerwerk über der Mauersperrfolie mit Flanschen befestigt. Anschließend wird ein neuer Estrich (je nach Anforderungen schwimmender oder normaler Estrich) aufgebracht.

Rohrdurchführungen oder Abläufe müssen eingepaßt und in die Bahn gedichtet werden (Details Kap. 4.3.5).

Als Ergänzung zur Bodenabdichtung sollte insbesondere bei großen Flächen der Untergrund der Bodenplatte über Belüftungsrohre belüftet werden.

Das Verfahren der Belüftung zur Verdrängung von Deponiegas ist, wie schon in Ziff. 4.3.1 erläutert, der Absaugung des Deponiegases vorzuziehen.

Nachträglich kann eine Unterlüftung der Bodenplatte durch seitlich eingetriebene Rammfilterrohre hergestellt werden.

Gebäudesenkungen können zu Rissen in Wänden und Bodenplatte führen. Erreichen die Setzungen ein unzulässiges Maß, müssen die Fundamente abgefangen werden. Hierzu werden

unter bzw. unmittelbar neben den bestehenden Fundamenten Kleinbohrpfähle bis auf den anstehenden Untergrund niedergebracht. Es muß hier je nach Situation mit Kosten von 250 - 400 DM/m Pfahl gerechnet werden. Der Pfahlabstand bemißt sich nach der abzutragenden Last und der Abtragstiefe.

4.3.3 Sicherung von Ver- und Entsorgungseinrichtungen

Ver- und Entsorgungseinrichtungen, die Deponiegas ausgesetzt sind, können über Leckagen, Muffen und Öffnungen Deponiegas aufnehmen und transportieren. Weiterhin kann die Anwesenheit von Deponiegas zur Korrosion der Wandung, von Dichtungen etc. führen.

a) Systembeschreibung / Baubeschreibung

Leerrohre

Mögliche Eintrittsstellen von Gas in Leerrohre sind: Muffen, Rohrenden, Risse, Schadstellen. Eine Sanierung ist möglich durch Verschuß des Leerrohres mit einer Ringraumdichtung direkt an der Gebäudeeinführung (siehe Detail, Anhang 1). Alternativ bzw. zusätzlich kann das gesamte Leerrohr verdämmt werden. Dies ist vor allem bei einer Elektrokabelführung vorteilhaft, da somit ein sekundärer Explosionsschutz entfallen kann.

Freispiegelkanal

Mögliche Eintrittsstellen von Gas in Freispiegelkanäle sind: Muffen, Undichtigkeiten, Seitenanschlüsse, Bodenabläufe, Schächte, Risse, Schadstellen, z.B. durch Korrosion, Setzungen, Auflast. Eine Sanierung ist möglich durch Verhinderung des Gaseintritts in Gebäude über einen Siphonabschluß vor dem Gebäude (siehe Detail Anlage 1) oder durch Relining bzw. Berstrelining mit Kunststoffrohren und anschließendem Verdämmen des Ringraumes. Ein Außenrohrschutz ist zwar möglich, er erfordert jedoch ein Aufgraben der Leitungstrasse.

Es empfiehlt sich eine zentrale Anordnung eines Siphons in der Sammelleitung. Der im Siphon aufzunehmende Gasdruck ist entsprechend des maximal zu erwartenden Betriebsdruckes sicherzustellen, jedoch mit mindestens 1 m Wassersäule zu bemessen. Es muß sichergestellt werden, daß der Siphon nicht austrocknen kann (z.B. durch Wasseranschluß mit Schwimmerschaltung, regelmäßige Kontrolle).

Schächte

Mögliche Eintrittsstellen von Gas in Schächte sind: Zu- und Abläufe, Fugen der Schachtringe, Risse, Schadstellen. Kann die Gasmigration durch die Zu- und Ablaufleitungen nicht unterbunden werden, kann ein Leitungsanschluß über Siphone (u.U. getrennter Siphonschacht) die Gasmigration verhindern (siehe Detail, Anlage 1). Gasmigrationen durch Fugen können durch Nachdichten mit Kunststoffmörtel bzw. Epoxidharz unterbunden werden. Oft ist hier ein sekundärer Explosionsschutz ausreichend (Belüftung vor und bei Betreten, Gaskontrolle).

b) Betrieb

Installierte Siphone sind so zu betreiben, daß ein für den Gasabschluß ausreichender Wasserstand im Siphon stets vorhanden ist. Allein durch visuelle Kontrollen kann dies meist nicht

ausreichend sichergestellt werden. Vorzuziehen ist eine automatische Wassernachfüllung über einen Wasseranschluß mit Schwimmerschaltung.

c) Wartungs- und Kontrollanforderungen

Es sind regelmäßig folgende Wartungsarbeiten durchzuführen:

- Nachstellen von Ringraumdichtungen
- Entschlammung und Nachfüllen von Siphonen
- Einstellung und Reparatur von Schwimmerschaltungen
- Austausch von Dichtungen an Siphonen
- Nachdichten von Schächten.

Regelmäßige Kontrollen sind an folgenden Einrichtungen durchzuführen:

- Dichtigkeit von Ringraumdichtungen
- Dichtigkeit von Siphonen
- Funktionstüchtigkeit von Schwimmerschaltungen
- Funktionstüchtigkeit der Sicherstellung der Wasservorlage im Siphon
- Dichtigkeit von Schächten
- Dichtigkeit von Rohrleitungen (z.B. Druckprobe)

d) Gasbehandlung

Siphone müssen an eine Gasentsorgung angeschlossen werden. Je nach Situation ist die entsprechende Gasentsorgung und Gasbehandlung zu wählen (siehe Kap. 4.6).

e) Auflagen

- Ringraumdichtungen müssen dauerhaft gasdicht und gegenüber Deponiegas resistent sein (Nachweis ist vorzulegen).
- Rohrverdümmungen müssen gegenüber dem umgebenden Boden sowie Deponiegas dauerhaft beständig sein.
- Bei Siphonen ist die ausreichende Wasservorlage zu gewährleisten (Kontroll- und Warnanlagen sind zu installieren).

f) Kosten

Die Herstellungskosten sind entscheidend von der jeweiligen Einzelsituation abhängig, eine pauschale Kostenangabe ist hier nicht möglich.

g) Bewertung

Ver- und Entsorgungseinrichtungen können durch oben dargestellte Maßnahmen gegen einen unzulässigen Deponiegastransport gesichert werden. Entscheidend für die Qualität der Sicherung ist der Einsatz von resistentem und gasdichtem Material und die Absicherung der Funktionsbeständigkeit durch regelmäßige Wartung und Kontrolle.

4.3.4 Sicherung von Straßenkörpern

Teile des Straßenkörpers können bevorzugte Gasmigrationswege darstellen, beispielweise Frostschuttschicht, Dränagen. Die Gefahrensituation entsteht meist dadurch, daß Gas in die Kanalisationsschächte eindringt. Das Wartungspersonal rechnet dort nicht unbedingt mit explosiblen Gasgemischen. Durch unsachgemäßen Umgang mit Feuer oder funkenbildenden Geräte könnte es zu Explosionen kommen. Darüber hinaus könnten Gefahren in Objekten verursacht werden, die in direkter Verbindung stehen, z.B. wie in nachstehendem Ausbreitungspfad 1 erläutert. Deshalb sollte es Ziel sein, Deponiegas von Straßenschächten und -entwässerungsleistungen durch geeignete Maßnahmen fernzuhalten. Entsprechend den örtlichen Verhältnissen können unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen zum Erfolg führen.

a) Systembeschreibung / Bautechnik

Ausbreitungspfad 1:

Die Frostschuttschicht hat direkte Verbindung zu einer nahen Bebauung, die infolge dieser Konstellation durch Deponiegas im Untergrund gefährdet sein kann.

Führt eine Entgasung über eine Galerie von Gaskollektoren entlang dem Straßenkörper nicht zum notwendigen Erfolg, da die Kollektoren auf bevorzugten Migrationswegen umgangen werden können, muß ein Randdränagegraben mit Flankenabdichtung zum Straßenkörper hin gebaut werden (s. **Bild 10**).

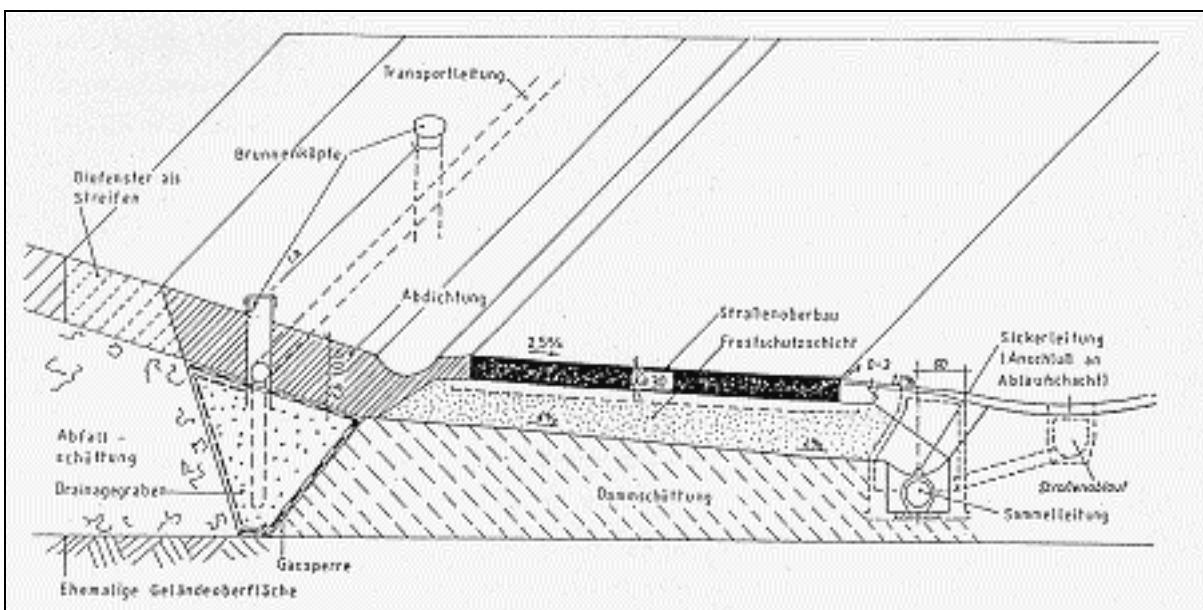


Bild 10: Straßenkörper mit Randdränagegraben

Eine zusätzliche Sickerwasserableitung an der Grabensohle ist möglich.

Die Ausführung entspricht dem in Kap. 4.2.2 dargestellten Graben.

Ausbreitungspfad 2:

Eine Gaswegsamkeit zur Bebauung besteht nur über die Entwässerungsanlage

Ist eine Gasmigration nur mittelbar über Frostschutzschicht, Drainageleitung, Einlaufschacht, Kanalanlage möglich, kann die bestehende Frostschutzschicht in Verbindung mit dem Drainagestrang oder einer Kanalanlage als Transportweg für das Deponiegas wirken. Dieser Transportweg ist möglichst nahe an der Stelle des Deponiegaszutrittes durch einen Siphon zu unterbinden. Da im Normalfall in den bestehenden Kanalisationsschächten keine ausreichende Höhe zur Unterbringung eines Siphons vorhanden ist, wird es meist erforderlich sein, den Siphon vor dem Kanalisationsschacht zu installieren. Der Siphon kann z.B. wie in **Bild 11** dargestellt ausgeführt werden. Aus dem Siphon kann über eine Gasabsaugleitung das Drainage- oder Kanalrohr entgast werden.

Besteht im Kanalisationsschacht eine ausreichende Tiefe unter dem Zulauf oder ist eine Schachtvertiefung kostengünstig herzustellen, sollte der Siphon im Schacht installiert werden. Der Zu- und Ablauf des Siphons kann mit Ringraumdichtungen mit den bestehenden Zu- und Ablaufleitungen verbunden werden.

Ausbreitungspfad 3:

Schachtbauwerke

Neben den Leitungen sind auch die im Normalfall aus Betonfertigteilen erstellten Kanalisationsschächte gegenüber Gaszutritten gefährdet (über Fugen und Risse). Kann eine Einschränkung für deren Begehung (Lüftung, Atemschutz, Ex-Schutz) nicht gewährleistet werden (z.B. bei Regenwasserschächten), so sind die Schächte nachträglich gegen Gaszutritt zu dichten. Geeignet ist hier Kunststoffmörtel bzw. eine nachträgliche Verpressung von Fugen und Rissen. Erweisen sich diese Sanierungsmaßnahmen aufgrund ihres zu großen erforderlichen Umfangs als zu teuer, muß der Schacht gegen einen gasdichten Schacht ausgetauscht werden. Hier eignen sich insbesondere aus GFK gefertigte Schächte, welche sowohl hinsichtlich der mechanischen als auch chemischen Beanspruchung optimale Eigenschaften haben. Bei einer solchen Neuinstallation sollte eine Siphoninstallation gleich mitberücksichtigt werden.

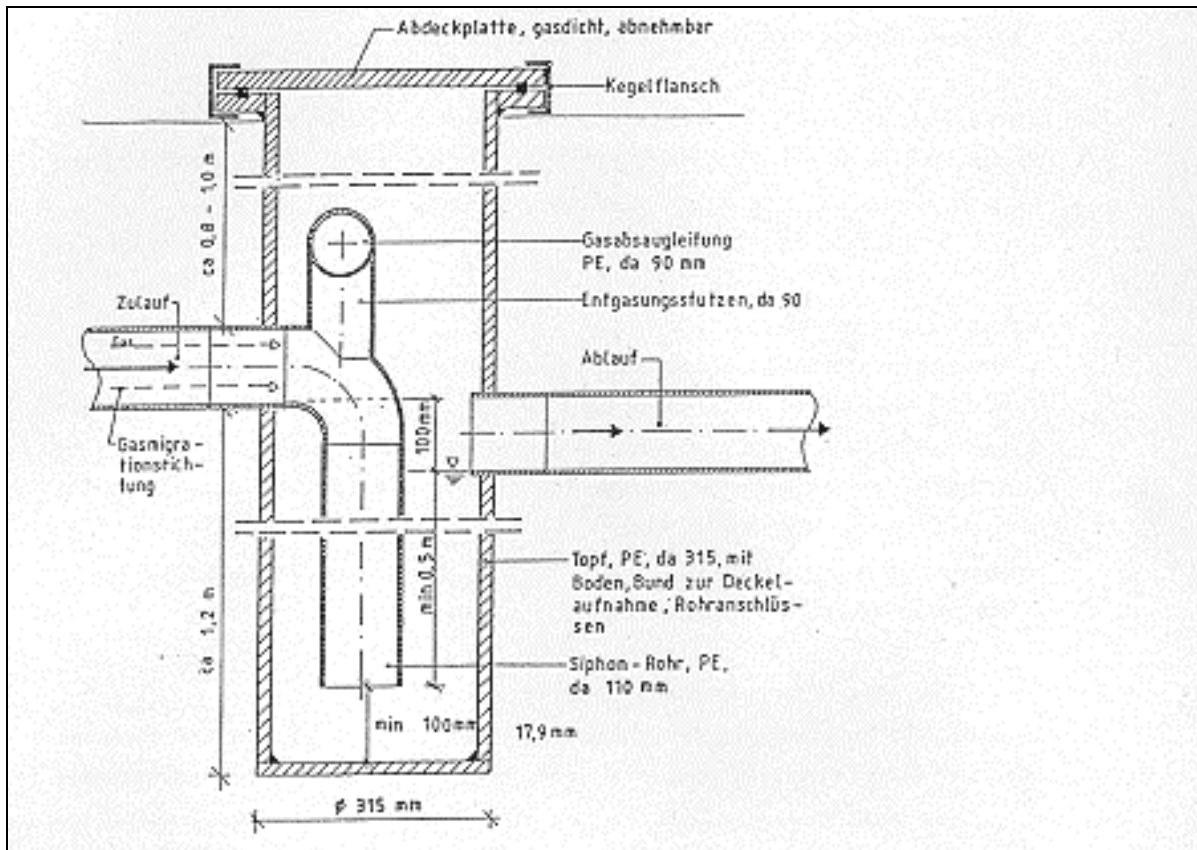


Bild 11: Siphonschacht zum Anschluß von Dränagen an Kanäle

4.3.5 Sicherung von Leitungsdurchführungen bei Bauwerken

Werden Abdichtungsbauwerke sowie Wände und Sohlen von Bauwerken von Rohrleitungen durchdrungen, so müssen diese Stellen gasdicht abgedichtet werden. Dies ist sowohl bei neuer Bauwerkserstellung als auch bei bestehenden Bauwerken fachgerecht durchführbar.

a) Rohreindichtung in Wände

An bestehenden Rohrdurchführungen in Wänden und der Sohle sind oft Risse und ungenügende Eindichtung des Rohres die Ursache für Gasmigrationen im Rohrbereich. Eine optimale Sanierungsmöglichkeit bieten gasdichte Ringraumdichtungen, die auch nachträglich bei bestehenden Leitungen installiert werden können. Hierbei handelt es sich um teilbare Ringraumdichtungen, welche ohne Trennung der Rohrleitung installiert werden können. Diese Dichtungen werden um das Rohr auf die Wand montiert. Nachträgliche Stemmarbeiten sind nicht erforderlich. Siehe hierzu auch Details in Anhang.

b) Rohreindichtung in Kunststoffdichtungsbahnen

Hierfür liegen werkseitige Lösungen für alle Rohrmaterialien vor (Manschetten, Schellen, Flansche). Siehe auch Details, Anhang. Am besten hat es sich bewährt, aus dem eingesetzten KDB-Material vorgefertigte Manschetten mit eingeschweißtem Rohrstutzen (Materialstärke ca. 5 mm) in die Abdichtungsbahn einzuschweißen. Das durchzuführende Rohr wird entweder an den Rohrstutzen angeschweißt, angeflanscht, angemufft oder in den Rohrstutzen einge-

steckt und mit einer Ringraumdichtung eingedichtet. Die Manschette wird im Bauwerk über den beidseitig herausragenden Rohrstutzen eingebaut.

c) Rohreindichtung in mineralischer Abdichtung

Aufgrund von unterschiedlichen mechanischen Beanspruchungen sowie Temperaturdehnungen kann es an Rohrdurchführungen durch mineralische Dichtungen zu Bewegungsfugen kommen. Um diese potentiellen Gastransportwege unterbrechen zu können, empfiehlt es sich, den Bereich der Rohrdurchdringung mit einer Bentonitmatten-Manschette abzudichten. Siehe hierzu Detail im Anhang.

4.4 Kontrollmaßnahmen an der Altablagerung sowie am Objekt

Entweder zur Auslösung von Sicherheitsfunktionen bei Gasgefahr oder zur Überwachung der durchgeführten Sanierung müssen Warn- bzw. Kontrolleinrichtungen eingesetzt werden. Dies sind im einzelnen:

- **Kontrollsonden** zur Überwachung von Gasmigrationen im Boden
- **Gaswarngeräte** zur Überwachung von Gasmigrationen in das Objekt
- **Gaskonzentrationsmeßgeräte** zur Überwachung der Explosionsgrenze in Gasförderleitungen und -aggregaten
- Regelmäßige **technische Kontrolle** und Wartung der Sanierungseinrichtung.

Diese Warn- und Kontrolleinrichtungen sind zur Sicherstellung des Objektschutzes unabdingbar.

Dabei sind die Einrichtungen je nach Erfordernis kontinuierlich, diskontinuierlich (1 - 60 minütlicher Abstand) oder in regelmäßigen Abständen (1 h - 8-tägiger Abstand) zu betreiben.

4.4.1 Kontrollsonden

Zur Kontrolle von möglichen Migrationen zum Objekt werden Sonden, ähnlich den vertikalen Gaskollektoren, vor dem Objekt (in ausreichendem Abstand) in den Untergrund eingebracht. Mit Bodenluftmessungen in regelmäßigen Abständen kann dann das evtl. Migrationspotential bzw. die Funktionstüchtigkeit der installierten Schutzmaßnahme an der Deponie geprüft werden.

Dabei sind die Sonden in einem ausreichenden Sicherheitsabstand zum Objekt (Migrationszeit bis zum Objekt entscheidend) und zu Deponiegasabsaugeinrichtungen anzuordnen. Die Meßintervalle bemessen sich nach den Migrationsverhältnissen des anstehenden Bodens.

Die Sonden sind an der Geländeoberfläche gegen fremden Zugriff zu verschließen.

Bei Messungen an den Kontrollsonden sind die Anleitungen des "Leitfaden Arbeitsschutz" [RUK, 94] zu beachten.

4.4.2 Gaswarngeräte

Schutzmaßnahmen am Gebäude und Raumlufschutzmaßnahmen müssen durch Raumlufkonzentrationsmessungen in regelmäßigen Abständen kontrolliert werden (1 - 8 Tage). Umfang und Häufigkeit der Messungen sind in Abhängigkeit des Restrisikos nach durchgeführter Sanierung festzulegen. Je nach der einzuschätzenden Restgefährdung nach Durchführung von Sanierungsmaßnahmen kann auch eine kontinuierliche Raumlufüberwachung erforderlich sein. Ein Mehraufwand bei der Sanierungsmaßnahme kann den Aufwand bei den Kontroll- und Warnmaßnahmen unter Umständen stark senken.

Technische Lüftungsanlagen sind neben der Überwachung des Förderstroms auch durch kontinuierliche Gaskonzentrationsmessungen zu überwachen. Bei diskontinuierlich auftretenden Gasbelastungen wird die Schaltung der Lüftung über eine Gaswarnanlage betrieben. Detaillierte Angaben hierzu werden bei [Müller 1986] sowie [Winter 1979] gemacht.

Die zu messenden Gaskomponenten bei der Gefahrüberwachung sind die brennbaren Gase (vor allem CH_4) sowie O_2 zur Absicherung der Explosionsgefahr. Je nach Anwendungsfall werden tragbare oder fest installierte (kontinuierliche Messung) Geräte eingesetzt. Zum Nachweis von brennbaren Gasen bzw. CH_4 werden eine Vielzahl von Geräten angeboten, die hauptsächlich auf den Meßmethoden der Wärmetönung, Wärmeleitung, der Infrarot-Absorption, der Brechzahl von Gasen oder auf elektrochemischen Meßverfahren aufbauen.

An die Geräte sind folgende Anforderungen zu stellen [Müller 1986, S. 54 f.]:

- Funktionsfähigkeit
- Sämtliche Geräte zur Gaswarnung müssen, und sämtliche Geräte zur Gasmessung sollten ex-geschützt ausgeführt sein. Geräte ohne Ex-Schutz dürfen nicht in Zone 1 und 2 eingesetzt werden. Die Anforderungen der GUV 17.4 sind einzuhalten.
- Bauartzulassung als ex-geschütztes elektrisches Betriebsmittel bei Einsatz in Zone 1
- Einhaltung der ZH 1/8, "Sicherheitsregeln für Anforderungen von Eigenschaften ortsfester Gaswarneinrichtungen für den Explosionsschutz"
- Einhaltung der ZH 1/108 "Sicherheitsregeln für Anforderungen an Eigenschaften nicht ortsfester Gaswarneinrichtungen für den Explosionsschutz"
- Prüfung der Einrichtung vor der ersten Inbetriebnahme sowie nach Änderungen und Instandsetzungen.
Weitere Prüfung nach Bedarf, mindestens jedoch halbjährlich.
- Regelmäßige Kalibrierung und Justierung (ZH 1/8.2 und ZH 1/108.2).
- Gaswarneinrichtungen müssen auch bei Stromausfall netzunabhängig arbeiten können.

Wichtig ist der Einsatz des für den entscheidenden Konzentrationsbereich und die jeweiligen Gaskomponenten geeigneten Meßgerätes.

4.4.3 Gaskonzentrationsmeßgeräte

Bei den mit Unterdruck betriebenen Entgasungseinrichtungen besteht die Gefahr des Lufteinsaugens über den Ablagerungskörper oder undichte Stellen in der Installation. Werden keine besonderen Vorkehrungen getroffen, muß davon ausgegangen werden, daß im Inneren der Anlage langfristig oder ständig mit gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre zu rechnen ist (Einordnung in Zone 0 gemäß Ex-RL).

Wird der Absaugbereich gut oberflächenabgedeckt und nur ein geringer Unterdruck aufgebracht, kann das Explosionsrisiko vermindert werden; eine Einordnung einer solchen Anlage in Zone 1 kann dann zugelassen werden. Voraussetzung für die Einordnung der Installation in Zone 1 ist jedoch weiterhin eine regelmäßige Gaskonzentrationsüberwachung (1h bis 8täglich, je nach Bedarf). Durch eine kontinuierliche Überwachung der Gaskonzentration kann die Anlagen in Zone 2 eingestuft werden. Für die Gaskonzentrationsüberwachung der Entgasungsanlage kommt eine CH₄-Überwachung oder alternativ eine O₂-Überwachung in Frage.

4.4.4 Regelmäßige technische Kontrolle

Bereits bei der Planung der Sanierungsmaßnahme ist der Umfang der erforderlichen Kontrollen und Wartungen zu berücksichtigen.

Bei der Inbetriebnahme der Anlage muß ein Kontroll- und Wartungsplan vorliegen.

Die Festlegung regelmäßig erforderlicher Arbeiten soll in einem Arbeits- und Kontrollblatt erfolgen.

Gemäß GUV 17.4 - die auch bei gefährdeten Objekten im Bereich von Altablagerungen sinn- gemäß angewendet werden kann - sind folgende Prüfungen bzw. Kontrollen bei Deponie- gasanlagen unerlässlich:

- Prüfung vor der ersten Inbetriebnahme sowie nach Änderungen und Instandsetzungen
- Jährlich wiederkehrende Prüfung
- Regelmäßige Kalibrierung und Justierung von Meßgeräten

Die Prüfung und Kontrolle hat sich auf alle durchgeführten Sicherungsmaßnahmen zu erstrek- ken.

4.5 Schutzmaßnahmen im Objekt

In Einzelfällen wird es auch bei weitgehender Durchführung der unter Kap. 4.1 bis 4.4 ge- nannten Maßnahmen nicht auszuschließen sein, daß im Objekt noch Gaskonzentrationen ver- bleiben, die aus Gründen der physiologischen Wirkung oder des Explosionsschutzes zu einer Gefährdung führen können. Hier müssen dann zusätzliche Schutzmaßnahmen im Objekt durchgeführt werden.

In einzelnen Fällen kann es auch angemessen sein, auf Sanierungsmaßnahmen an der Altabla- gerung zu verzichten und dafür Schutzmaßnahmen am Objekt selbst zu treffen.

Eine Schutzmaßnahme im Objekt kann dann erforderlich werden, wenn z.B. folgende Situa- tionen bestehen:

- Eine Migration in das Objekt kann nicht oder nur mit großem Aufwand vermieden werden.
- Eine Migration in das Objekt kann nicht vollständig vermieden werden.
- Es handelt sich nicht um großräumige, sondern nur gezielt zu erfassende Migrationen.
- Es ist nur ein temporärer Schutz im Objekt erforderlich.

Es stehen dann folgende Schutzmaßnahmen im Objekt zur Verfügung:

bei physiologischer Gefährdung

- Sperren des Zugangs
- Zutritt nur mit Gasschutzausrüstung
- ausreichende Lüftung

bei Explosionsgefahr

- Sperren des Zugangs
- Zutritt nur mit Gasschutzausrüstung
- ausreichende Lüftung
- Ausschließen von Zündquellen

a) Lüftungsmaßnahmen

Die Lüftungsmaßnahme muß sicherstellen, daß keine unzulässigen Konzentrationen im Objekt auftreten können. Der erforderliche Luftwechsel zum Erreichen der Grenzkonzentration kann mit guter Näherung rechnerisch bestimmt werden (Exponentialfunktion). Anwendungsbeispiele liefert [Winter 1979] oder [Heike 1984] (mit Hilfe von Diagrammen).

Grundsätzlich ist zwischen der natürlichen und der technischen Lüftung zu unterscheiden (siehe hierzu auch [Ex-RL, E 1.3.4]).

Die natürliche Lüftung kann für Räume oberhalb der Erdgleiche oder auch bei Kellerräumen mit zusätzlichen Zu- und Abluftöffnungen bei nur geringfügigem Deponiegaszustrom ausreichen. Neben dem Querschnitt der Lüftungsöffnungen hat ihre Anordnung einen entscheidenden Einfluß auf die Leistungsfähigkeit der Lüftung.

Typische Beispiele für den effektiven Einsatz von natürlichen Lüftungen sind Unterstellgebäude, aufgeständerte Gebäude, Kriechkeller, Drainageentlüftungen usw.

Reicht der durch natürliche Lüftung erzielbare Luftwechsel nicht aus, muß eine technische Lüftung betrieben werden. Der Vorteil ist der Durchsatz großer Luftmassen und die gezielte Luftführung. Wird eine derartige Lüftung gemäß Anforderungen der Ex-RL betrieben, dann kann für einen explosionsgefährdeten Bereich der Zone 1 erreicht werden, daß keine sekundären Explosionsschutzmaßnahmen notwendig sind.

Bei der Errichtung und dem Betrieb der Lüftungsanlage ist folgendes zu beachten:

- Luftwechselzahl und Gebläseleistung sind entsprechend der erwarteten Gaszuströmung und den Aufenthaltsbedingungen zu ermitteln.
- Bei Auswahl des Förderdrucks sind auch evtl. Druckschwankungen im Raum zu berücksichtigen.
- **Die Belüftung ist der Absaugung vorzuziehen, um so nicht zusätzlich Deponiegas anzuziehen.**
- Die Belüftung ist möglichst am Ort des Gaszutritts zu positionieren.
- Auf Grund der Spezifik des Deponiegases (Bestandteile teilweise schwerer und teilweise leichter als Luft) ist eine Belüftung sowohl an der Raumdecke als auch am Raumboden erforderlich.
- Die Zuluft darf keinen Kurzschluß mit der Abluft haben.
- Das Gebläse ist bei Absaugung gemäß Ex-RL für Zone 1 auszulegen. Die Aufstellung muß im Freien erfolgen.
- Die Wirksamkeit der Lüftung muß überwacht werden.

Bei nur zeitweise auftretenden unzulässigen Gaskonzentrationen kann das Gebläse über eine Gaswarneinrichtung geschaltet werden [Müller 1986, S. 54].

Insbesondere bei größeren Räumen muß die Auslegung einer Raumluftschutzmaßnahme durch einen Fachmann für Lüftungsfragen ausgeführt werden.

b) Ausschließen von Zündquellen

Gemäß Explosionsschutzrichtlinie (Ex-RL, E.2) sind folgende Zündquellen auszuschließen bzw. je nach vorhandener Explosionsschutzzone die Wahrscheinlichkeit ihres Wirksamwerdens zu verringern:

- Heiße Oberflächen
- Flammen und heiße Gase
- Mechanisch erzeugte Funken
- Funken der elektrischen Anlage
- Funken durch elektrische Ausgleichsströme und kathodischen Explosionsschutz
- Funken durch statische Elektrizität
- Elektromagnetische Wellen
- Ionisierende Strahlung
- Adiabatische Kompression, Stoßwellen, strömende Gase
- Chemische Reaktionen

In der Explosionsschutzrichtlinie werden die je nach Schutzzone und Zündquelle zu treffenden Maßnahmen angegeben.

4.6 Gasentsorgung, Gasbehandlung

Für die Gasentsorgung bzw. Gasbehandlung stehen grundsätzlich folgende Methoden zur Verfügung:

- a) Diffusion durch Abdeckung in die Atmosphäre
- b) Abblasen über Kiesschüttungen, Abblaskamine in die Atmosphäre ohne weitere Behandlung
- c) Absaugung oder Abblasen des Deponiegases mit nachgeschalteter Reinigung in einem Biofilter, A-Kohle-Filter, Katalytische Oxidation
- d) Absaugung oder Abblasen des Deponiegases mit nachgeschalteter Behandlung (Reinigung, Verbrennung, ggfs. mit Nutzung der Abwärme).

Entscheidend dafür, ob eine Behandlung des gefaßten Deponiegases erforderlich ist oder eine Emission in die Atmosphäre ohne vorherige Behandlung zugelassen werden kann, sind folgende Aspekte:

- Ist eine Explosions- oder Brandgefahr auszuschließen?
- Werden die Grenzwerte der TA-Luft sowie die MAK-Werte und TRK-Werte unterschritten?
- Kann die Emission des CH₄ in die Atmosphäre akzeptiert werden?
- Werden die zulässigen Geruchsbelastungen (TA-Luft) eingehalten?

Bei einer Gasentsorgung über eine großflächige Diffusion durch den Abdeckboden wird unter Berücksichtigung obiger Aspekte meist keine weitere Behandlung erforderlich sein. Beim Diffusionsvorgang durch den Boden finden bereits Reinigungs- bzw. Abbauvorgänge statt.

Bei einer konzentrierten Absaugung bzw. einem konzentrierten Abblasen von Deponiegas ist jedoch stets die Erfordernis einer nachgeschalteten Behandlung auf Basis oben angeführter Aspekte zu untersuchen.

Bei Altablagerungen liegen die Methankonzentrationen meist unter 20 Vol.% (Gasphase IV und V, teilweise III; sowie bei "Gasentlüftung" durch Blasen). Hier ist eine ordnungsgemäße Gasverbrennung in einer Fackel (ohne Zusatzeinspeisung von Brennstoffen) nicht zu gewährleisten.

Aufgrund der Tatsache, daß die Spurenstoffkonzentrationen im Deponiegas aus Hausmüllablagerungen meist unter den Grenzwerten (MAK, TRK, TA-Luft) liegen, wird für die Entscheidung zum Entsorgungsverfahren meist die Einhaltung der zulässigen Geruchsschwelle entscheidend sein. Für die durch Deponiegas auftretende Geruchsbelastung sind hauptsächlich organische Schwefelverbindungen (Mercaptane, Sulfide) sowie Ester der niederen Fettsäuren und Alkohole verantwortlich. Eine detaillierte Untersuchung hierzu ist zu finden bei [Janson, 1989] und [Young und Parker, 1984]. Zur Ermittlung der bestehenden bzw. zu erwartenden Geruchsimmissionen und der Einhaltung der zulässigen Geruchsüberschreitung ist ein Geruchsgutachten durch ein Fachinstitut anzufertigen. Als zulässige Überschreitungshäufigkeit sind anzusehen:

- Geruchsschwellenwert = 3 GE
- Zulässige Überschreitungshäufigkeit = 3 % der Jahresstunden
- Berücksichtigung von Geruchsspitzen

Siehe hierzu im Detail bei [VDI 3381], [Krause, 1988].

Zur Behandlung des Deponiegases im Hinblick auf Geruchsstoffe (zum Teil auch Methan und Spurenstoffe) hat sich die Biofiltration gut bewährt. Für diese Anlagen ist eine fachgerechte Auslegung hinsichtlich Belastung, Konstruktion und Betrieb durchzuführen. Technische Anlagen in geschlossener Bauweise sind offenen Mattenbauweisen aufgrund der besseren Regelbarkeit und besserer Flächennutzung vorzuziehen.

5. Sicherheitsvorkehrungen

Bau und Betrieb der Sanierungs- und Schutzmaßnahmen sind fachgerecht unter Einhaltung sämtlicher einschlägiger Vorschriften durchzuführen.

Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist die fachkundige Planung und Überwachung der Maßnahme.

Hierfür sollten sachkundige Büros oder Institute eingesetzt werden.

5.1 Sicherheitsmaßnahmen beim Bau der Maßnahme

Durch die Maßnahmen der Sanierung sollen die Gefahren durch migrierendes Deponiegas beseitigt werden.

Bereits bei den Bauarbeiten können jedoch Gefährdungen durch das Deponiegas, bzw. durch die Spezifik der Deponie entstehen.

Zu deren Vermeidung sind folgende wichtigsten Regeln einzuhalten:

- Einhaltung der ausreichenden Grabenböschungen bzw. Verbaueinrichtungen beim Aushub und bei Arbeiten am Graben (DIN 4124; GUV 21.2; GUV 17.4)
- Einhaltung der Sicherheitsmaßnahmen bei Baugruben (UVV Bauarbeiten; UVV Rohrleitungsbauarbeiten)
- Einhaltung der Explosionsschutzrichtlinien bei Arbeiten in Gruben (Ex-RL)
- Einhaltung der Explosionsschutzrichtlinien bei Niederbringen von Bohrungen (Ex-RL)
- Einhaltung der Sicherheitsregeln gegen physiologische Schädwirkungen bei Arbeiten in Gräben und Baugruben (UVV-Ortsentwässerung, UVV Bauarbeiten, GUV 17.4)
- Sichere Aufstellung von Magazinen und Aufenthaltsräumen gegen Gasmigrationen
- Gaskonzentrationsüberwachungen grundsätzlich in allen Baugruben, jedoch auch in oberirdisch aufgestellten Schutzzelten (z.B. Schweißzelt) sowie Aggregaten mit nicht ausreichender Durchlüftung.

5.2 Sicherheitsmaßnahmen beim Betrieb der Anlage

Beim Betrieb der fertigen Anlagen kann insbesondere durch Ansaugen und Fördern von Luftzumischungen Explosionsgefahr entstehen.

Zu deren Vermeidung sind folgende wichtigsten Regeln einzuhalten:

- Verhinderung der Entstehung eines explosiblen Gemisches in der Absauganlage durch:
 - Vermeidung der Luftansaugung über die Oberfläche durch Abdichtung an der Oberfläche sowie richtige Unterdruckeinstellung
 - Regelmäßige (wöchentliche) Gaskonzentrationsüberwachung

- Betrieb der Anlage mit Überdruck
- Verhinderung von Undichtigkeiten im Leitungssystem durch eine frostsichere Verlegung, vorschriftsmäßige Verbindungen,
- korrosionssichere Materialien.
- Verhinderung des Entstehens von Zündquellen in der Anlage durch:
 - Rohre aus leitfähigem Material, PN 6 und Kennzeichnung bei Verlegung über dem Erdreich (nichtleitfähiges Material im Erdreich)
 - Gebläse nach Schutz-Zone 1
 - Umzäunung der oberirdischen Anlagenteile mit Hinweis auf Verbot von Rauchen und offenem Feuer (Gebläse Ra = 2 m, Gebläse mit Schutzdach Ra = 3 m, Fackel Ra = 5 m, Gasleitung über Erdgleiche Ra = 2 m)
 - Verschließen der Brunnenköpfe
- Absichern der Wasservorlage in Siphons durch Anschluß einer Wasserversorgungsleitung über Schwimmerventil oder durch regelmäßige Kontrolle. Ausführung eines gasdichten Behälters.
- Gaswarneinrichtungen müssen auch bei Stromausfall netzunabhängig arbeiten können.
- Die Gesamtanlage muß mindestens in Abständen von einem Jahr von einem Sachkundigen oder Sachverständigen auf ihren Zustand überprüft werden.
- Für die Anlage muß ein Betriebs- und Wartungsplan erstellt werden.

6. Literaturverzeichnis

Battelle (1982):

"Identifizierung chemischer Stoffe in Deponien". Bericht des Battelle Instituts e.V. im Auftrag des Regierungspräsidenten Köln, Juni 1982

Bley, A. (1976):

"Sicherung von Hängen und Böschungen gegen Rutschungen durch Tiefdrainschlitzte"; Vorträge der Baugrundtagung 1976 Nürnberg, Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau, Essen

Bundesverband der Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand -BAGUV-:

Sicherheitsregeln für Deponien, GUV 17.4, Oktober 1991

Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V.:

Empfehlungen des Arbeitskreises "Geotechnik der Deponien und Altlasten", GDA, 1993, Verlag Ernst & Sohn, Berlin

EAAW (1983):

"Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltarbeiten im Wasserbau", 4. Ausgabe 1983. Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau, Essen, Eigenverlag.

Eisenmann, R. (1984):

"Bewertung von Spurenstoffen im Deponiegas"; in: "Deponiegasnutzung"; Dokumentation einer Fachtagung 1984, Umweltbundesamt

Ex-RL:

"Richtlinien für die Vermeidung der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung"; Explosionsschutz-Richtlinien (Ex-RL); GUV 19.8 bzw. ZH 1/10; Ausg. 3.85; Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, Heidelberg; Druckerei Winter, Heidelberg

Farquhar, G.J. (1973):

"Gas Production During Refuse Decomposition" Water, Air and Soil Pollution, 7, S. 483 - 495

Farquhar, G.J.; Metcalfe, D.E. (1982):

"Modelle zur Gasmigration" in: "Grundwasserhaushalt von Mülldeponien"; Veröffentlichung des Instituts für Stadtbauwesen, Uni Braunschweig, Heft 33 1982

Flury, F.; Zernik, F. (1969):

"Schädliche Gase"; Verlag Julius Springer Berlin

Franzius, V. (1981):

"Gefährdung durch Deponiegas"; Müll- und Abfallbeseitigung (Müll-Handbuch), Kennziffer 4589, 62. Lfg., IX/81, Erich Schmidt Verlag Berlin 1981

GABL (1993):

Gemeinsame Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums und des Sozialministeriums über Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen. Vom 16. September 1993. Gemeinsames Amtsblatt des Landes Baden-Württemberg, 41. Jahrgang, 1993, Seite 1115 bis 1123.

Glinski, J. (1985):

"Soil Aeration and its Role for Plants"; CRC Press Inc. 1985

- Heike, T. (1984):
"Grundzüge sicherheitstechnischer Einrichtungen bei der Deponiegasnutzung"; in: "Deponiegasnutzung (Planung, Erfahrungen und Entwicklungstendenzen)"; Dokumentation einer Fachtagung, Umweltbundesamt 1984
- Henke, K.F. (1985):
"Standesicherheit von Deponien aus Müll- und Abfallstoffen"; Handbuch Müll- und Abfallbeseitigung, Kennziffer 4546, Erich Schmidt Verlag Berlin
- Herth, W.; Arndts, E. (1973):
"Theorie und Praxis der Grundwasserabsenkung"; Verlag Wilhelm Ernst und Sohn
- Janson, O; (1989):
"Charakterisierung von Deponiegasen anhand ausgewählter Spurenstoffe unter besonderer Berücksichtigung der Schwefelverbindungen." Müll und Abfall, Heft 4, 198-208 (1989)
- Krause, K.H., und Schroedder, F.:
"Vorgehen zum Erfassen von Geruchsstoffeinträgen im Umfeld bodennaher Quellen, Staubreinhaltung der Luft 48 (1988), S. 105-112, Springer-Verlag.
- LAGA (1983):
LAGA Informationsschrift "Deponiegas", Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, Mai 1983; in: Handbuch Müll- und Abfallbeseitigung, Kennziffer 4720, Erich Schmidt Verlag Berlin
- Müller-Kirchenbauer, H. (1988):
"Neue Ergebnisse und Aspekte auf dem Gebiet der Dichtwandforschung"; Altlastensanierung '88, Band 1, S. 565, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Müller, K.; Rettenberger, G.:
"Gasabsauge- und Gasverwertungsanlagen an Mülldeponien. Anleitung zur Entwicklung sicherheitstechnischer Konzepte"; Ergebnisse des FuE-Vorhabens 1430293 der Universität Stuttgart; Bundesminister für Forschung und Technologie, Forschungsbericht Techno-logische Forschung und Entwicklung; Juli 1986
- Pohlentz, W. (1970):
"Pumpen für Flüssigkeiten"; VEB Verlag Technik, Berlin
- Rettenberger, G. (1978):
"Entstehung, Folgen, Erfassung und Verwertung von Deponiegasen"; Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Bd. 9, 1978
- Rettenberger, G. (1981):
"Gesichtspunkte bei der Planung von Anlagen zur Kontrolle des Gashaushaltes und Vorgehensweise"; in: Manuskriptsammelband zum 41. Abfalltechnischen Kolloquium; Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 15, Erich Schmidt Verlag Berlin 1981
- RUK, Ingenieurgruppe (10/92):
"Der Deponiegashaushalt in Altablagerungen; Vorgehensweise und Technik zu seiner Erkundung und Bewertung; (Leitfaden Deponiegas)"; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
- Sahm, H. (1984):
"Biogasbildung und anaerobe Abwassereinigung"; Veröffentlichungen der Rheinisch-Westfälischen Akademie der Wissenschaften, Heft Nr. 303, S. 49, 1984
- Schulz, F.; Fasol, K.H. (1958):
"Wasserstrahlpumpen zur Förderung von Flüssigkeiten"; Springer Verlag, Wien

Tabasaran, O.; Rettenberger, G. (1987):

"Grundlagen zur Planung von Entasungsanlagen"; Handbuch Müll- und Abfallbeseitigung, Kennziffer 4547, Erich Schmidt Verlag Berlin

Tiefbau-Berufsgenossenschaft (TBG):

Richtlinien für Arbeiten in kontaminierten Bereichen ZH 1/183, 1992

TRgA 102:

"Technische Regeln für gefährliche Arbeitsstoffe"; Februar 1982

TRgA 900:

"Technische Regeln für gefährliche Arbeitsstoffe"; Februar 1982

VDI:

"VDI-Handbuch, Reinhaltung der Luft"; VDI-Verlag Düsseldorf

VDI:

VDI-Richtlinie 3381: "Olfaktometrie, Geruchsschwellenbestimmung, Grundlagen, Blatt 1, Mai 1986"

Winter, K.:

"Sicherheitschemische Kriterien bei baulichen Einrichtungen auf Deponien hinsichtlich der Gefährdung durch Gase"; Forschungsbericht 103 02 102; Umweltbundesamt, Bismarckplatz 1, 1000 Berlin 33

Young, P.; Parker, A.; (1984):

"Origin and Control of Landfill Odours." Chemistry and Industry 7, S.329-333 (1984)

Anhang 1: Ausführungsdetails

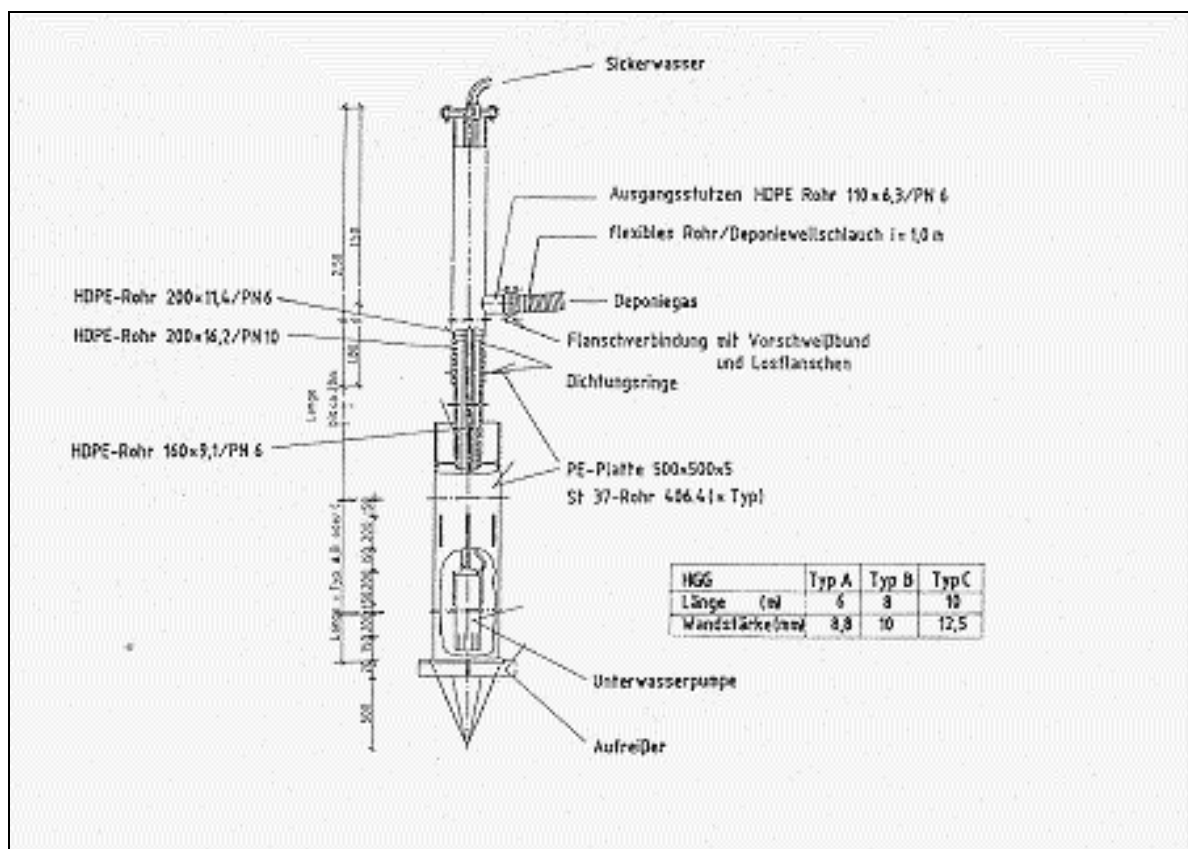
Im Anhang 1 werden beispielhaft Details für die Ausführung von Gassanierungsmaßnahmen dargestellt. Diese Details sollen Möglichkeiten aufzeigen und Weiterentwicklungen anregen. Ihre Anwendung ist jeweils fallspezifisch zu prüfen.

Anhang 1.1 Gaskollektorausführungen

(zu Kap. 4.1.2)

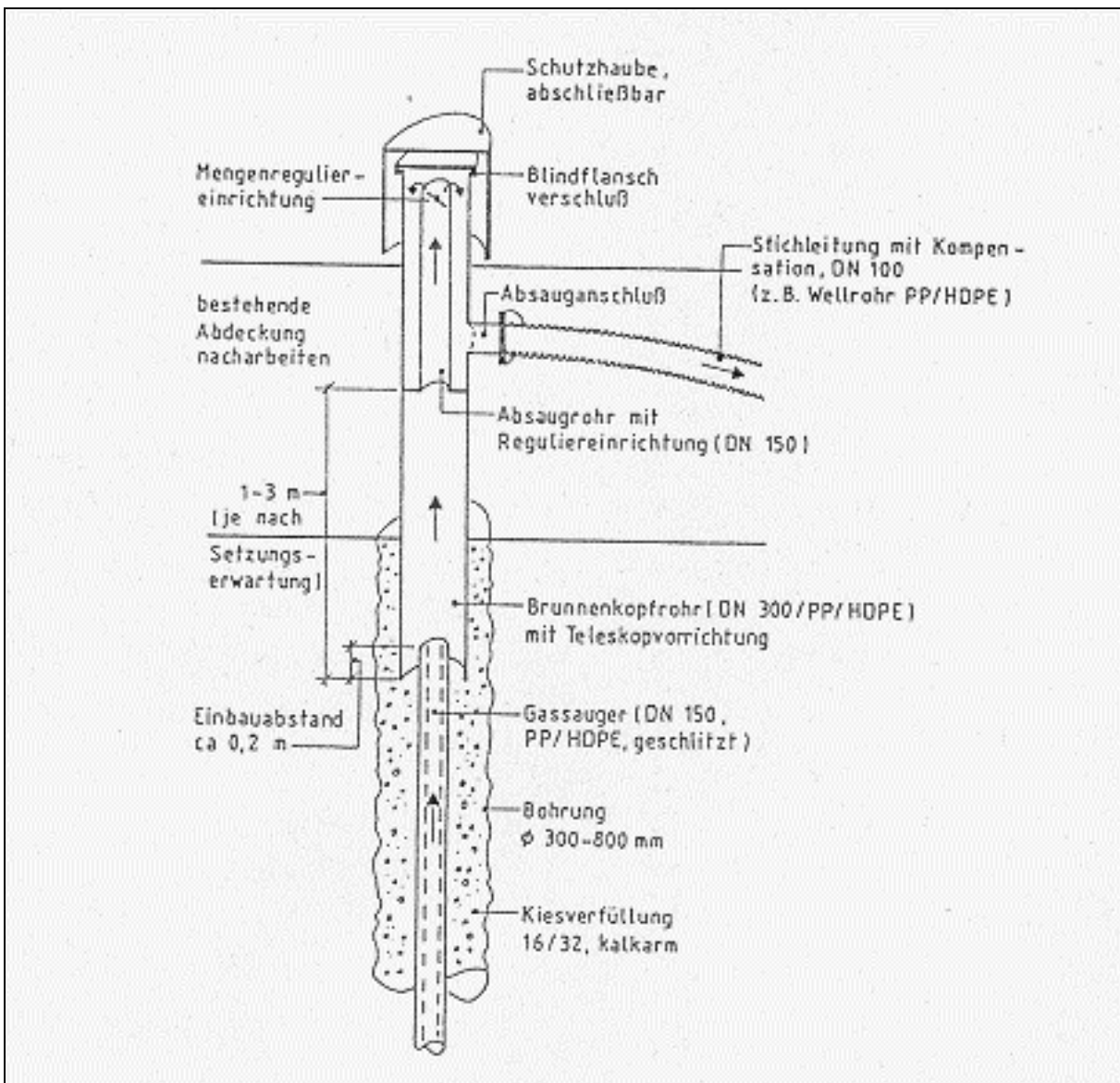
a) Atlastensonde System HGG

- Rammsonde
- Sondendurchmesser ca. 400 mm
- mit Pumpensumpf
- mit Teleskopanschluß
- patentrechtlich geschützt
- Bezug über Holsteiner Gas-Gesellschaft mbH, Hamburg



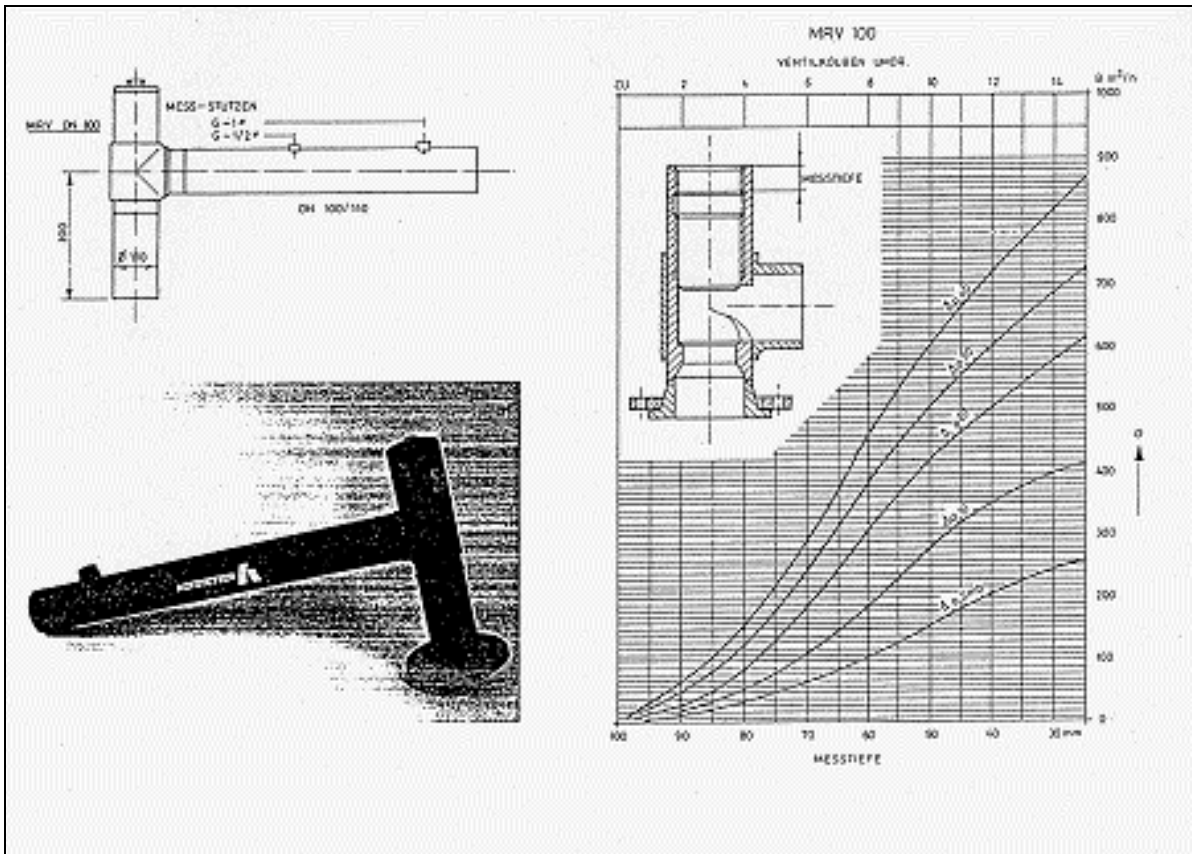
b) Gaskollektor Bauart "Hofstetter"

- aus HDPE
- mit Mengenregulierung
- mit Meßstutzen
- mit Kondensatableitung
- mit Setzungsausgleich
- abschließbar
- mit Gasleitungsanschluß
- Bezug über Hofstetter GmbH, Lambrecht



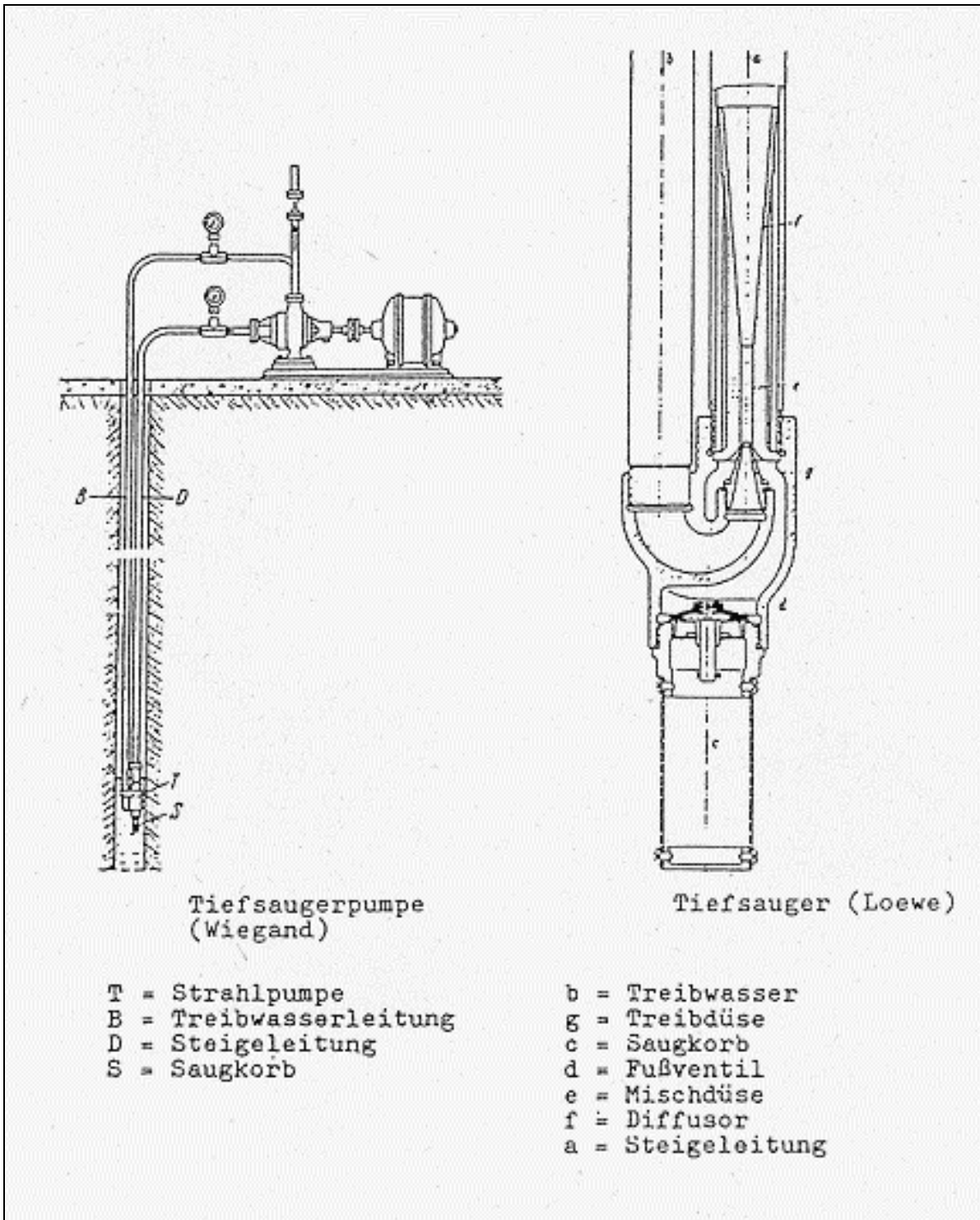
c) Mengenreguliertventil Typ MRV

- aus HDPE
- mit Meßstutzen
- einfache Mechanik
- Bezug über Hofstetter GmbH, Lambrecht



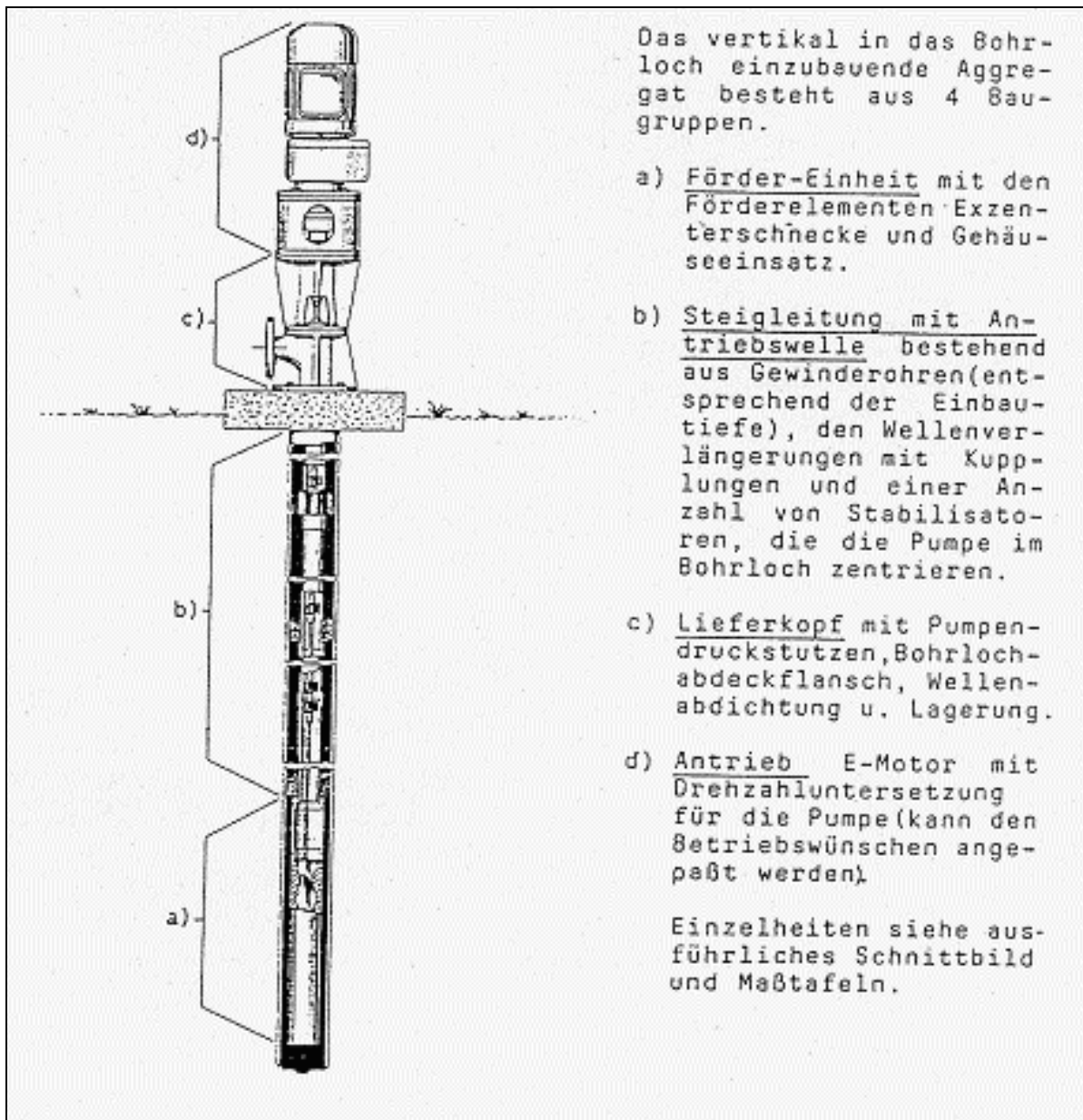
d) Tiefsaugeranlage

- Antrieb außerhalb des Brunnens
- ein Antrieb für mehrere Brunnen
- nahezu unbegrenzte Fördertiefe
- Brunnenrohrdurchmesser ab 75 mm
- kurze Baulänge (200-700 mm)
- Bezug über O. Rimmelsbacher GmbH, Karlsruhe



e) *Exzentrerschneckenpumpe*

- Antrieb außerhalb des Brunnens
- Tauchtiefe bis 80 m
- Brunnenrohrdurchmesser ab 4"
- Bezug über Bornemann GmbH, Obernkirchen

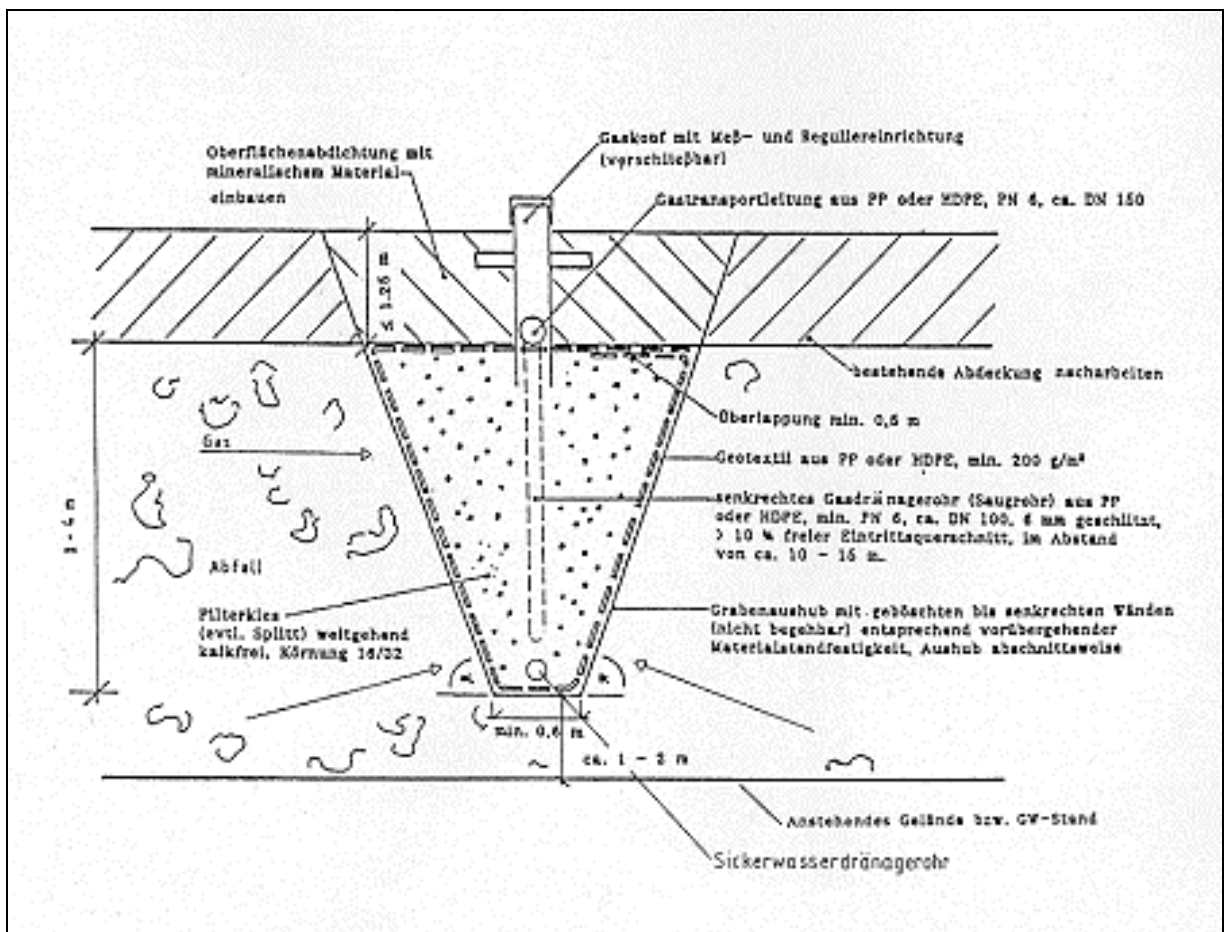


Anhang 1.2 Drainagegrabenausführung

(zu Kap. 4.1.3)

a) Drainagegrabenaufbau

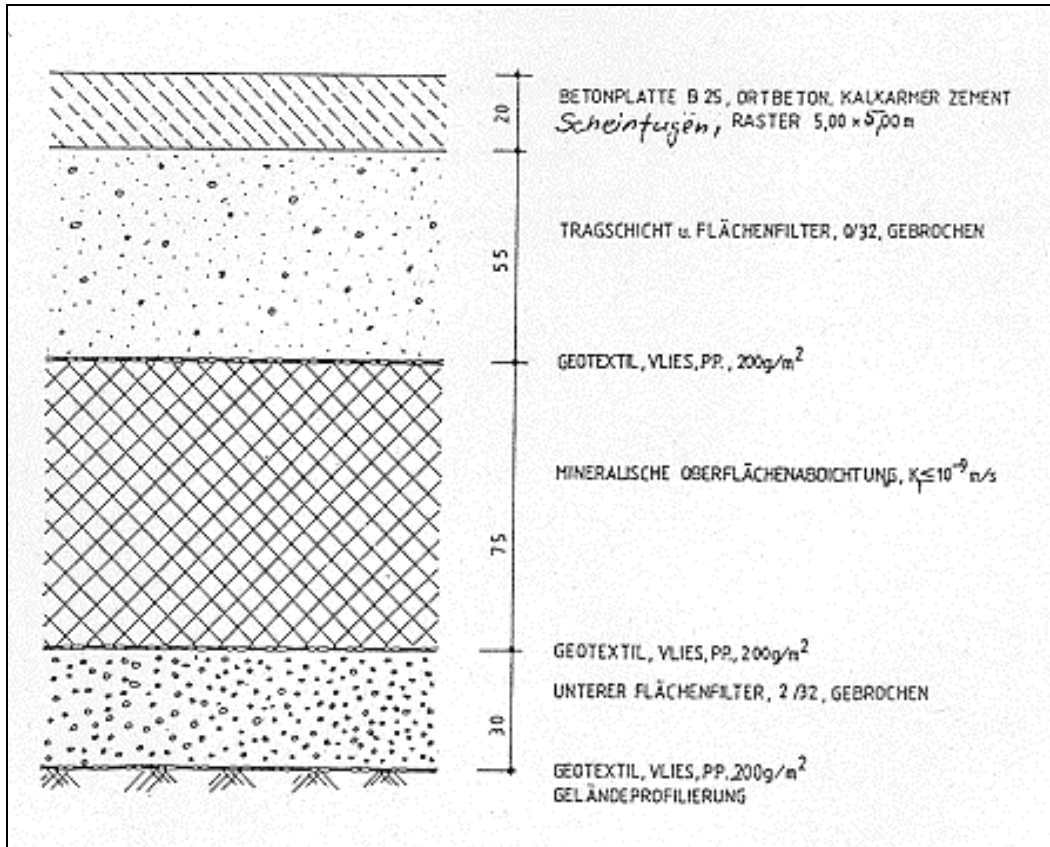
- mit Verfilterung
- mit vertikal eingestellten Gaskollektoren, einzeln regulierbar
- mit Sohlewässerung



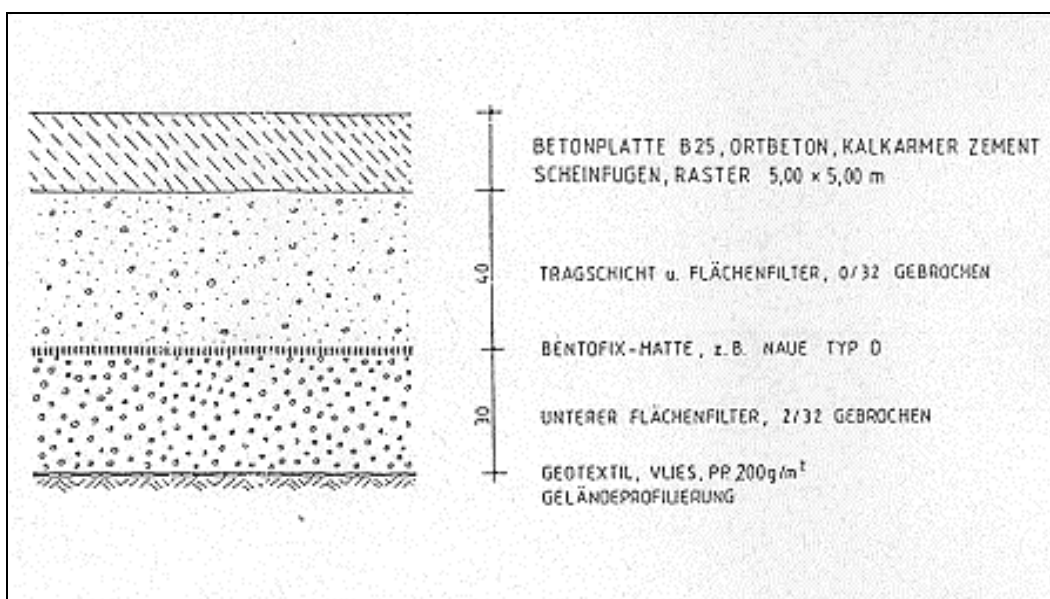
Anhang 1.3 Gassperren an der Oberfläche von Altablagerungen

(zu Kap. 4.2.1)

a) Mineralische Oberflächenabdichtung mit Betonbefestigung



b) Bentonitbahn-Abdichtung mit Betonbefestigung

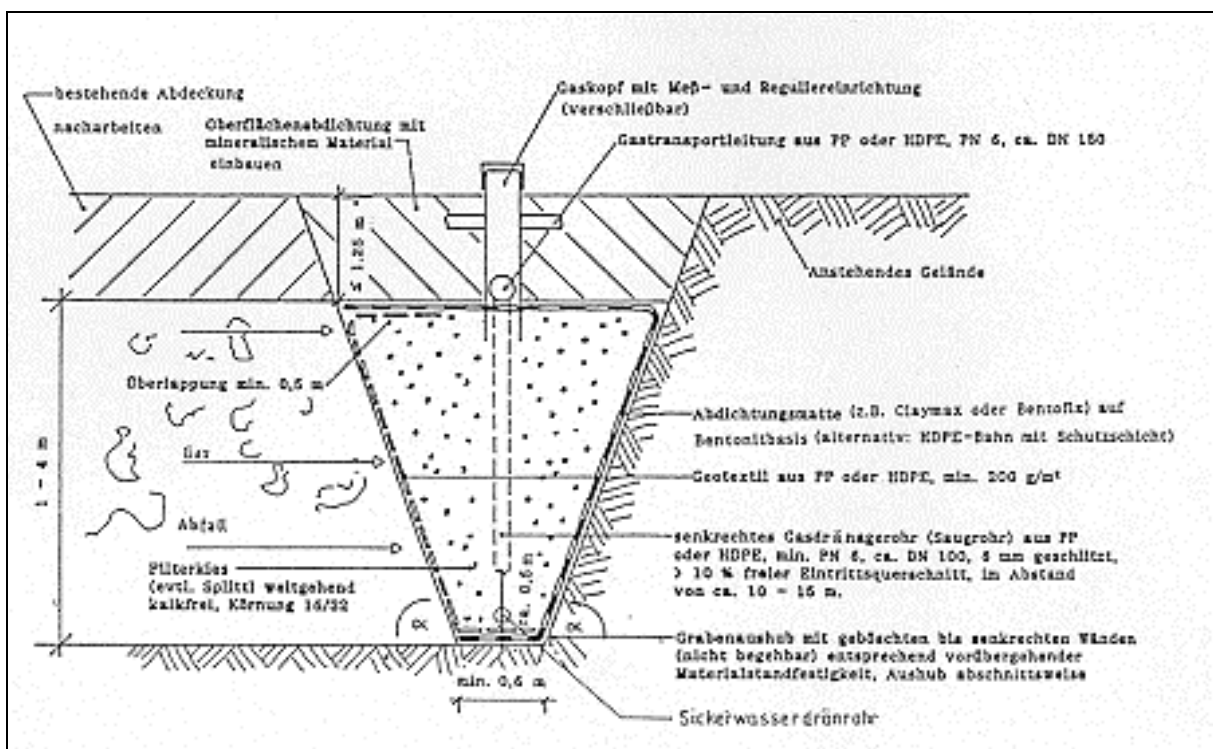


Anhang 1.4 Senkrechte Gassperre an der Ablagerungsflanken

(zu . Kap. 4.2.2)

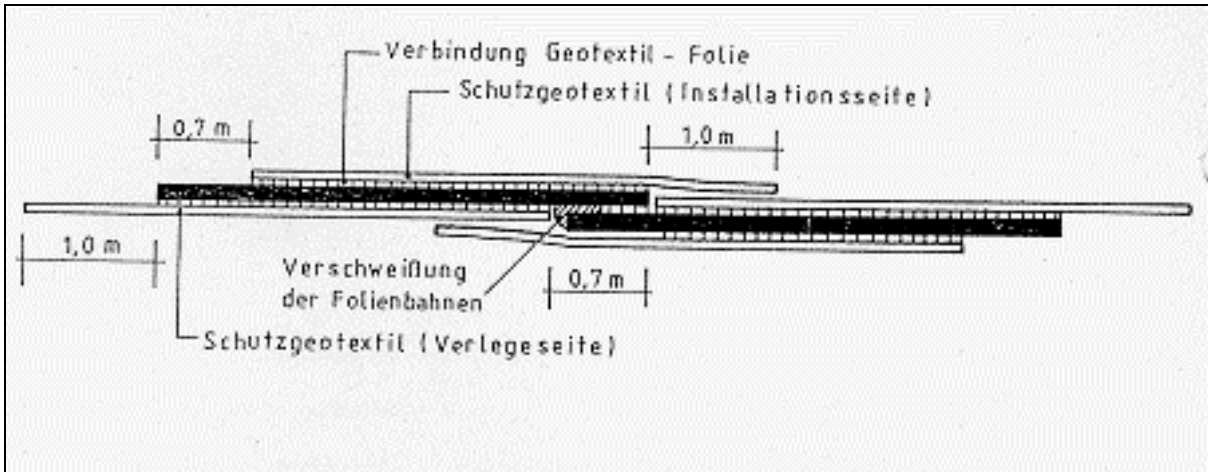
a) Dränagegraben mit Bentonitbahn-Abdichtung

- mit Verfilterung
- mit vertikal eingestellten Gaskollektoren
- mit vertikaler und horizontaler Bentonitbahn-Abdichtung



b) Schutz von Kunststoffdichtungsbahnen

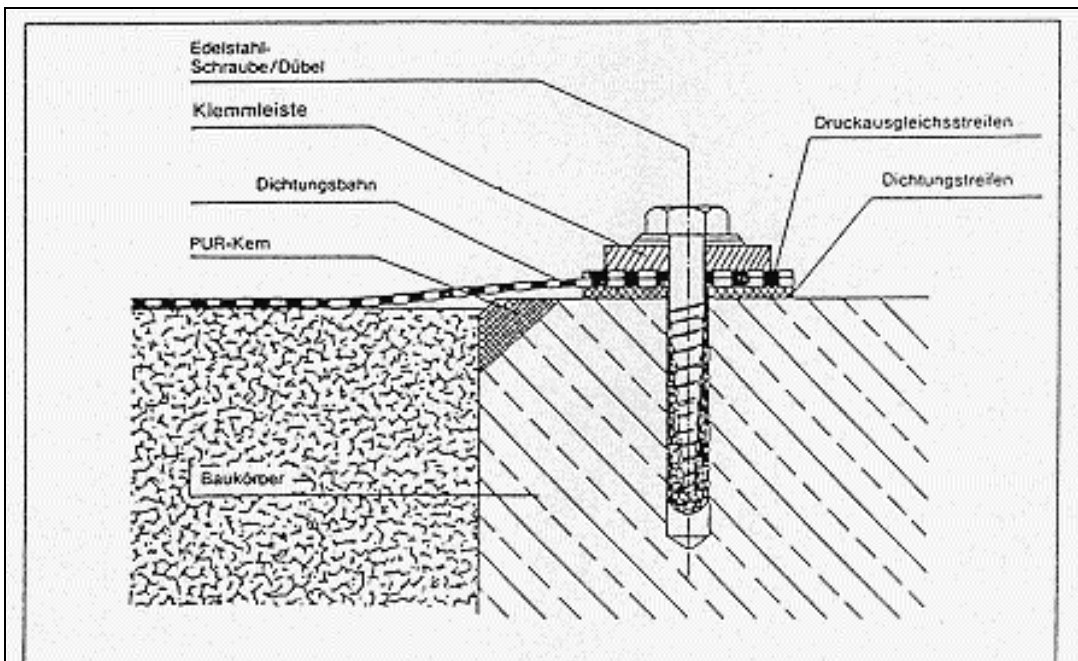
- auf KDB kaschierte Geotextilien
- unterschiedliche Schutzqualitäten je nach Geotextilart und -grammage möglich



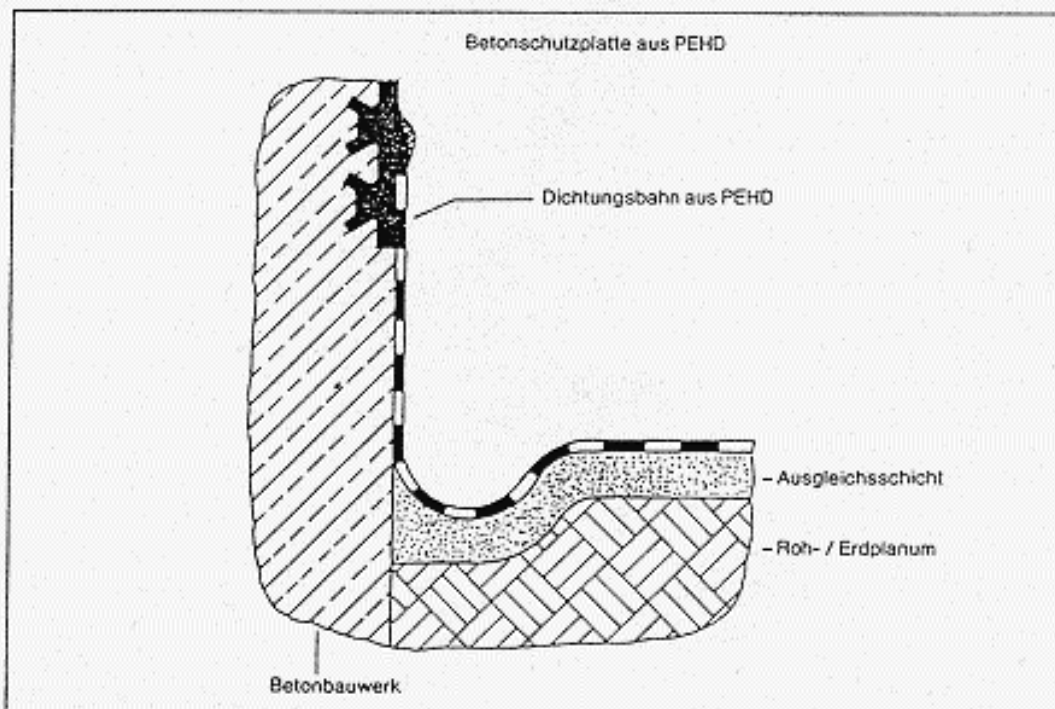
Anhang 1.5 Wand- und Bodenschutz bei Gebäuden

(zu Kap. 4.3.1, 4.3.2)

a) Randbefestigung von Kunststoffdichtungsbahnen

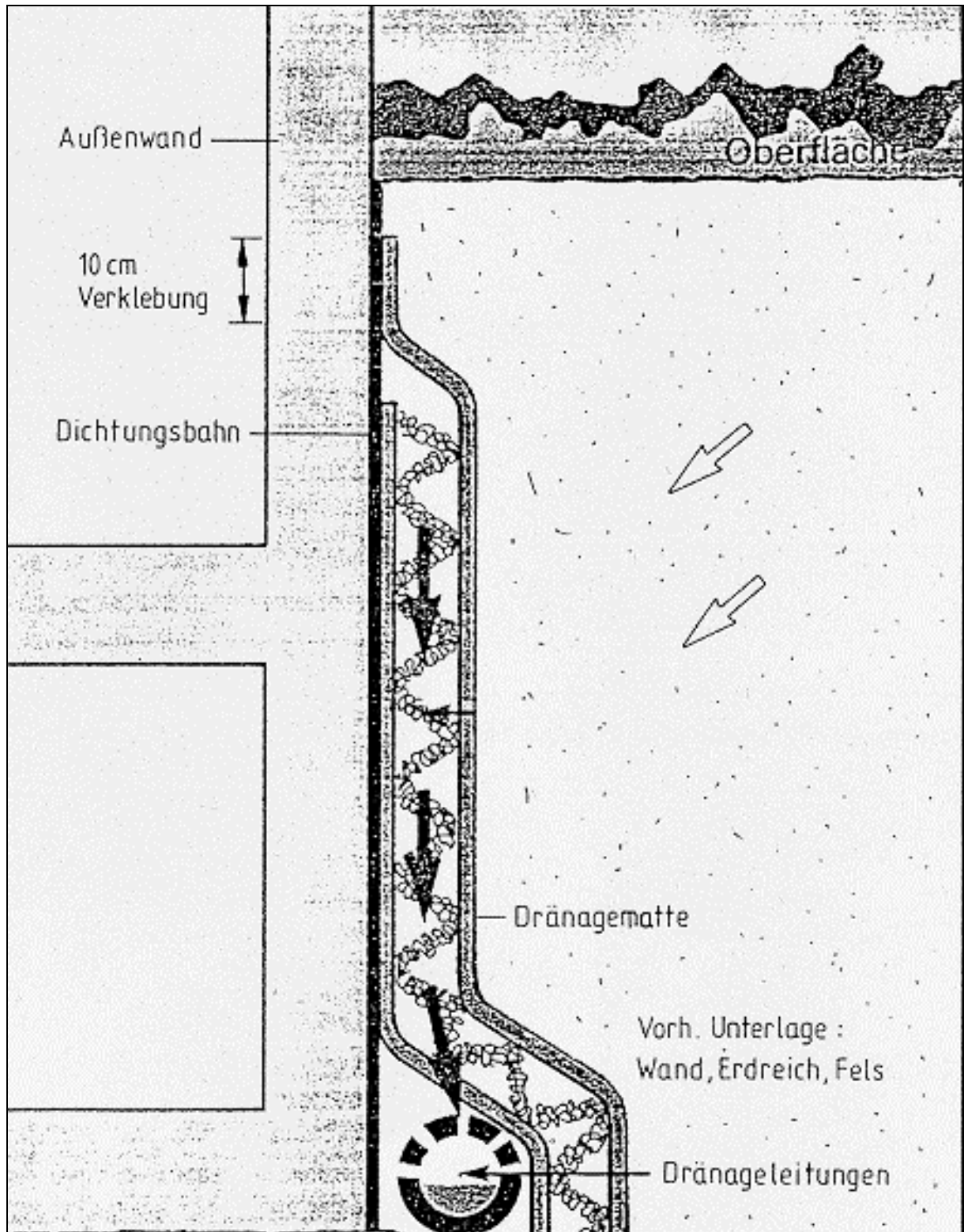


Anbindung der Dichtungsbahn an Betonbauwerke mit Klemmleiste

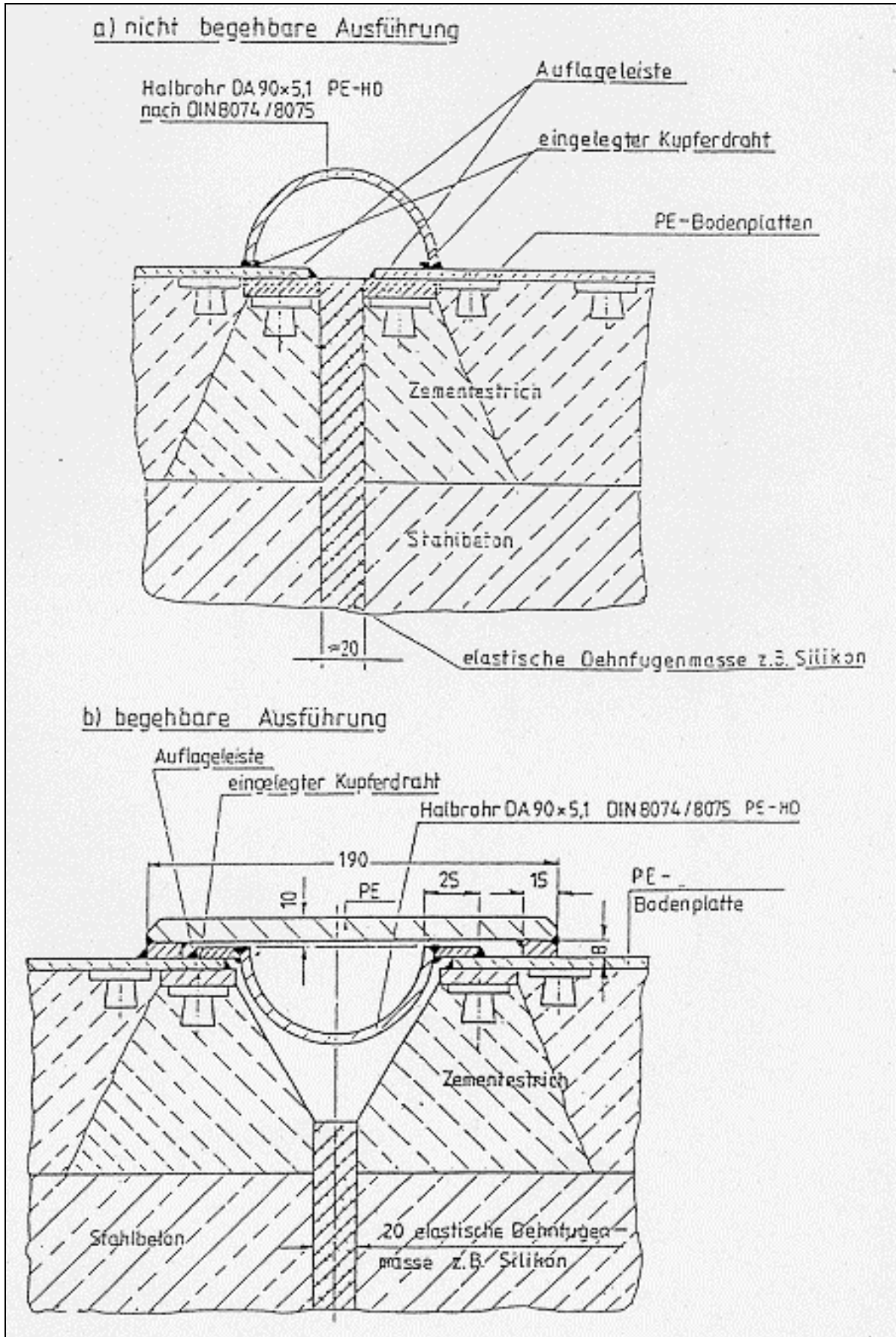


Bauwerksanschluß der Dichtungsbahn an Betonbauwerke mit Betonschutzplatte aus PEHD

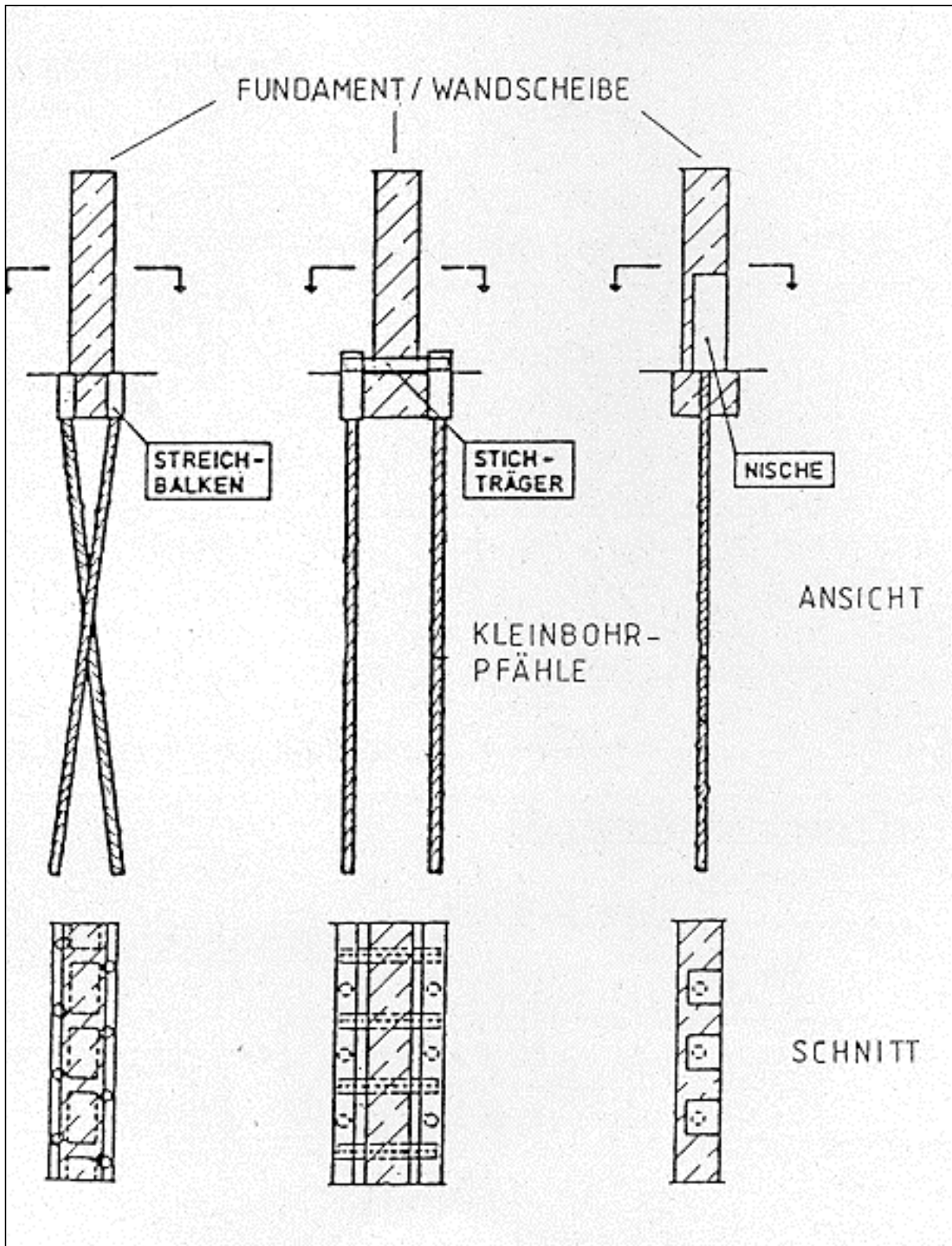
b) Dränagematte vor KDB



c) KDB-Verbindung an Dehnungsfugen



d) Möglichkeiten für die Abtragung von Wänden mit Kleinbohrpfählen

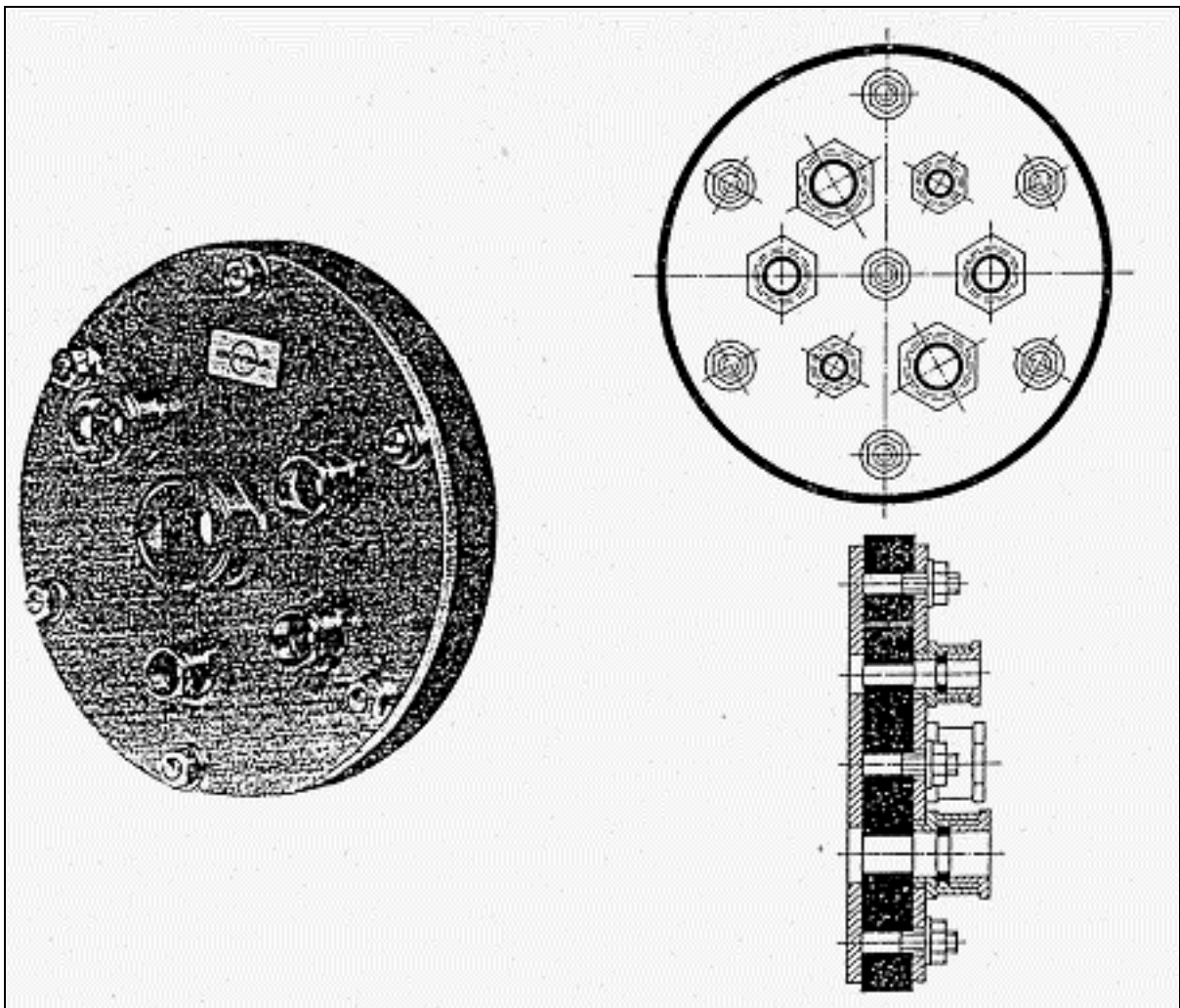


Anhang 1.6 Sicherung von Ver- und Entsorgungseinrichtungen

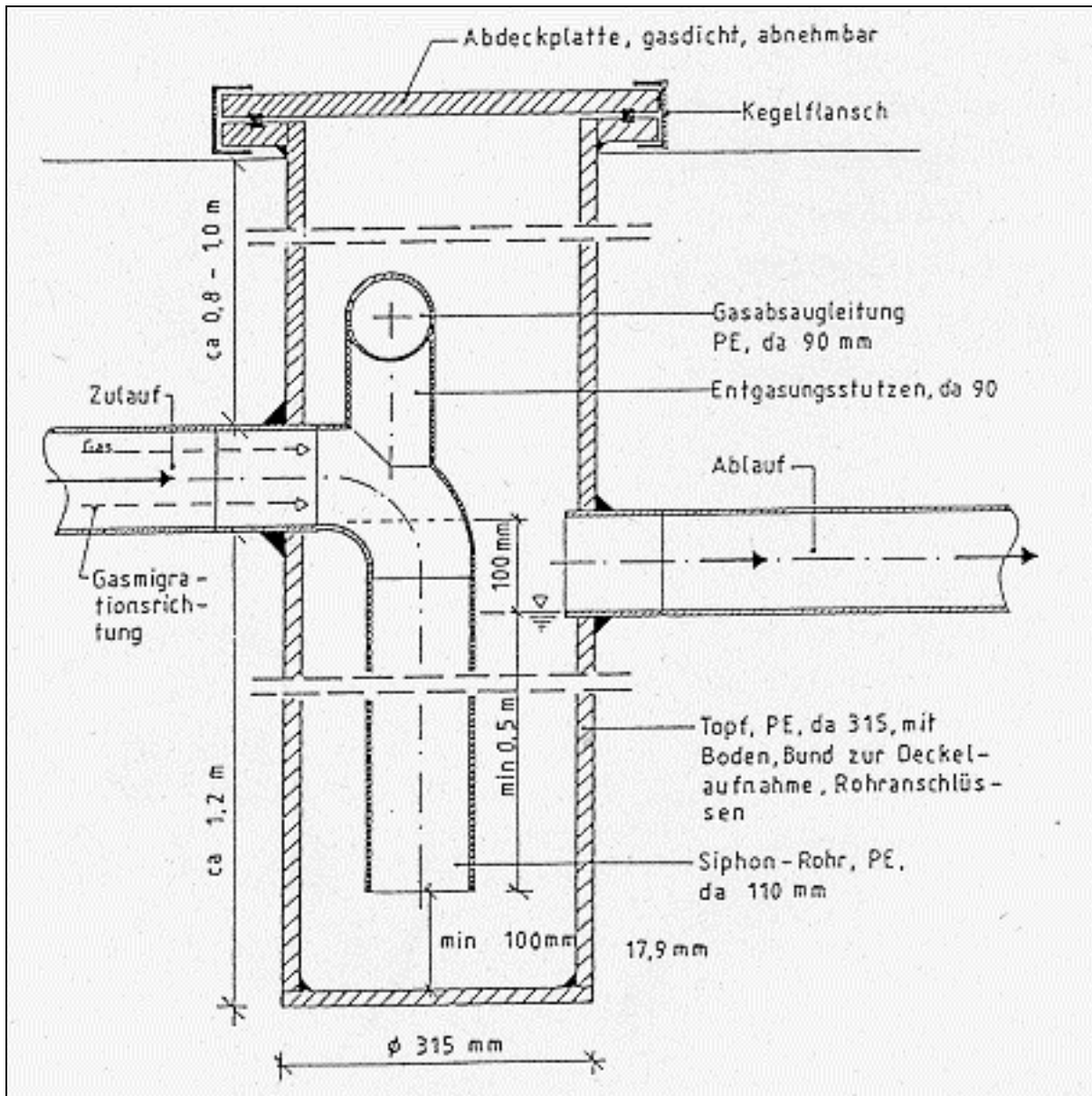
(zu Kap. 4.3.3)

a) Ringraumdichtung für Kabeldurchführung

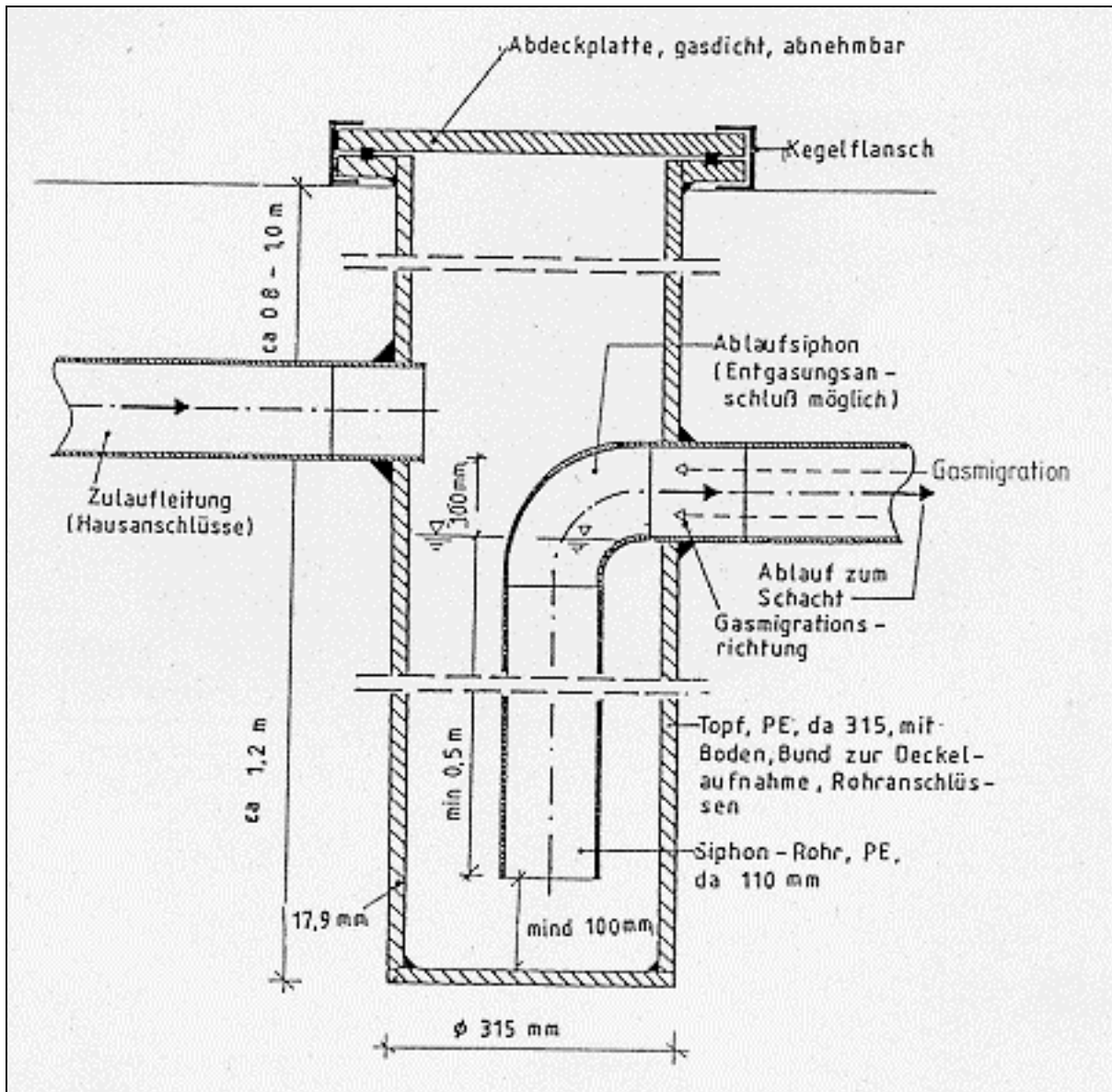
- gasdicht
- nachträglich einbaubar (geteilt)
- keine Kernbohrung erforderlich
- Einbau vor der Wand
- einsetzbar für Kabelbündel
- Anordnung nach Bedarf
- Bezug über Doyma, Oyten



b) Siphonschacht für Zulauf mit Gasmigrationsgefahr



c) Siphonschacht für Ablauf mit Gasmigrationsgefahr

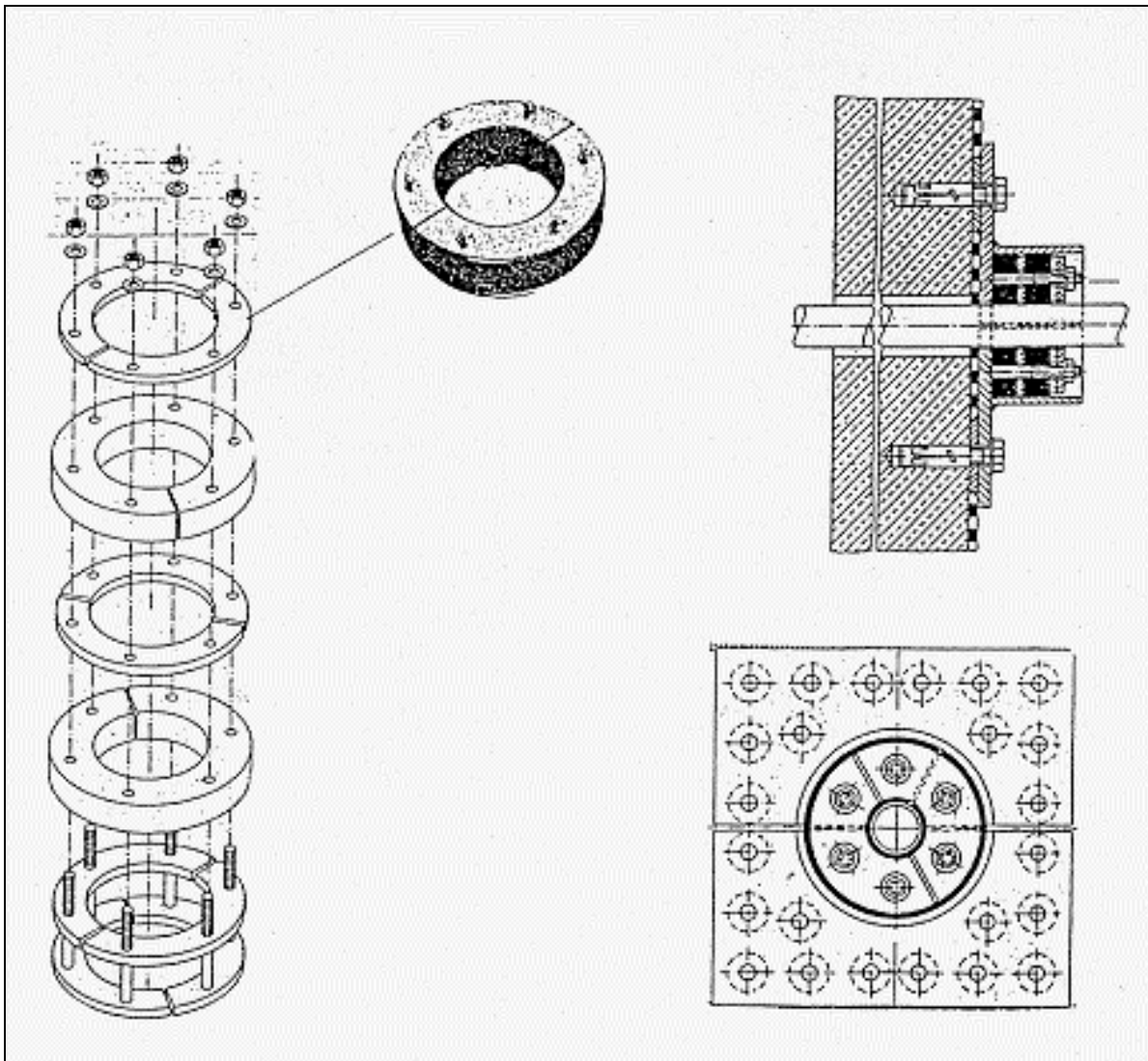


Anhang 1.7 Sicherung von Leitungsdurchführungen bei Bauwerken

(zu Kap. 4.3.3)

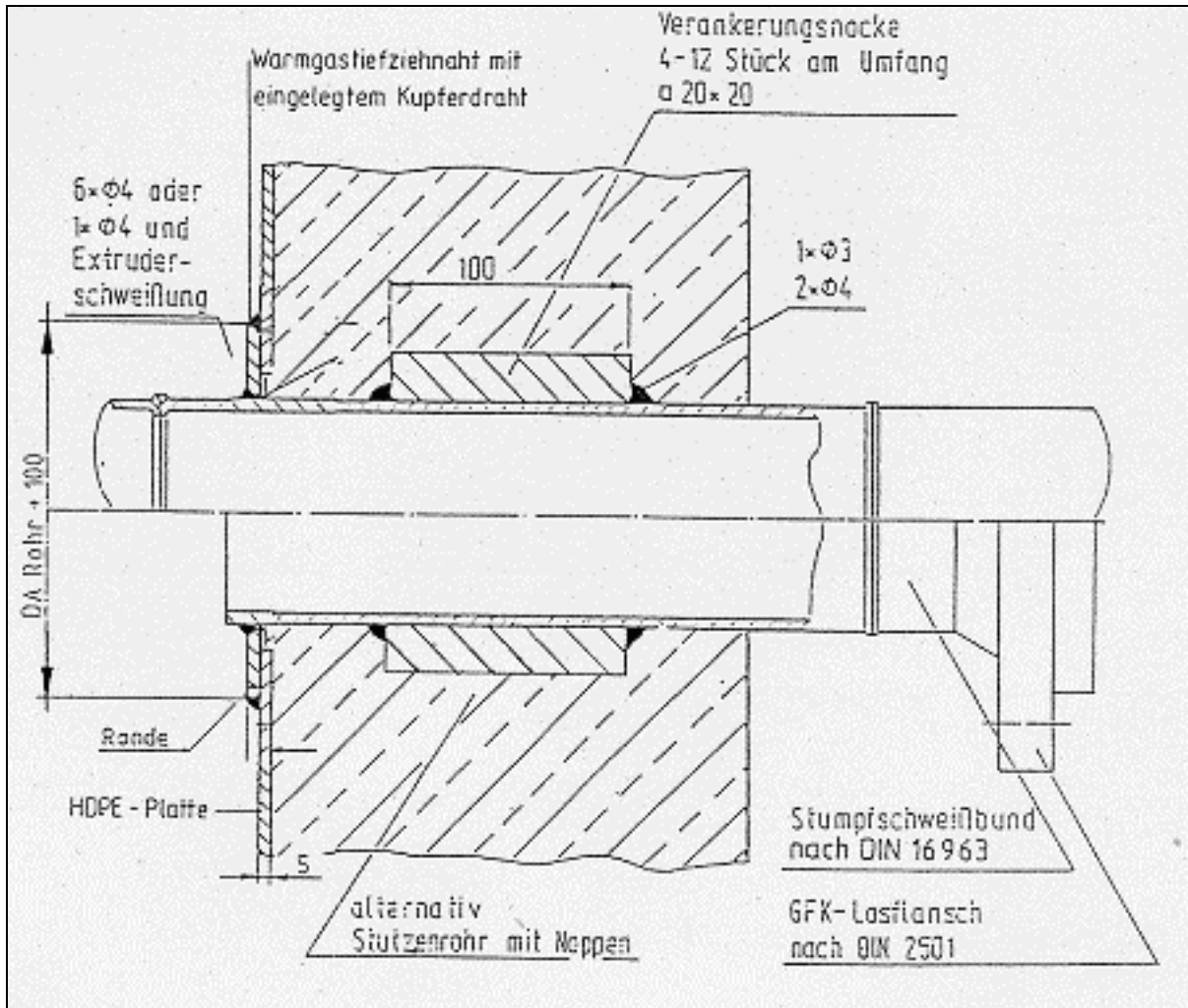
a) Ringraumdichtung vor Wand, zum nachträglichen Einbau

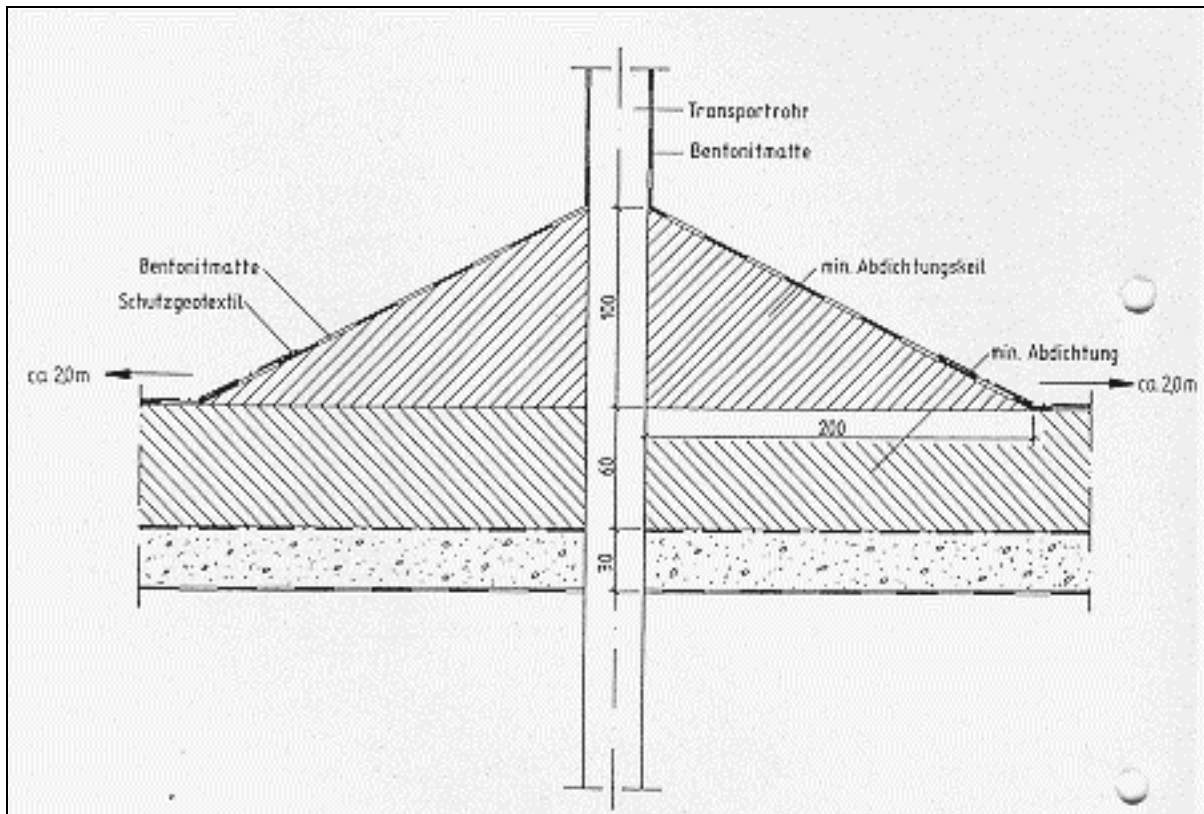
- gasdicht
- nachträglich einbaubar (geteilt)
- keine Kernbohrung erforderlich
- Einbau vor Wand
- Bezug über Doyma, Oytan



b) Rohrdurchführung in Kunststoffdichtungsbahn

- eingeschweißter Rohrstützen aus HDPE
- mit Schweißanschluß, Muffe oder Flansch
- Rohrstützen verdrehsicher



c) Rohreindichtung in mineralische Abdichtung

Anhang 2: Sanierungsbeispiele

Die aufgeführten **Sanierungsbeispiele** sind eine Auswahl der in der Praxis vorkommenden Fälle.

Sie sollen eine Entscheidungshilfe und Anregung bei der Planung von Sanierungsmaßnahmen bei Deponiegasgefahr auf Altablagerungen sein.

Anhang 2.1 Sanierungsbeispiel 1 - Gasphase IV, Kleingartenanlage auf Altablagerung

Ablagerung	Bauschuttablagerung mit organischem Anteil (30 Vol. %), teilweise auch Hausmüll. Grubendeponie, lockere, gasdurchlässige Abdeckung. Örtliche Senkungsmulden mit Rissen am Rande. Ablagerungsalter 20 Jahre, Volumen 70.000 m ³ , Höhe ca. 12 m.
Schutzgut	Schrebergärten mit Geräteschuppen und Schrebergärtenhäuschen auf der Altablagerung. Sämtliche Bebauung ist ebenerdig aufgestellt. Einzelne Besitzer haben innerhalb ihrer Häuschen Vertiefungen bis ca. 1 m unter Geländeoberkante als "Kühlager" ausgehoben. Eine Elektroinstallation ist auf dem Gelände nicht vorhanden.
Gasgefahr	Gasphase IV auf Basis der Historischen Erkundung, durch die Technische Erkundung bestätigt. In einzelnen Häuschen und Geräteschuppen wurden zeitweise Gaskonzentrationen gemessen, die jedoch unterhalb der unteren Explosionsgrenze lagen. Die Messungen erfolgten grundsätzlich nachdem das jeweilige Gebäude längere Zeit verschlossen war. Messungen bei zur Zeit benutzten Gebäuden zeigten keine Gasgefahr. Gasmigrationen wurden über die "Kühlager" sowie großflächig über den Boden festgestellt.
Sofort-Maßnahme	Information und Belehrung der Besitzer über die bestehenden Gefahren sowie über die Erfordernis einer ständig ausreichenden Lüftung, insbesondere vor Betreten der Gebäude. Sofortige Auffüllung der Vertiefungen.
Sanierung	Einbau von wirksamen Querlüftungen in den Schuppen und Häuschen, die nicht verschlossen werden können. Aufständerrung der Fußböden mit freier Belüftung unter dem Boden. Verfüllung sämtlicher Vertiefungen, Verschließen von Versickerungen und Abtrennen von Ablaufanschlüssen in den Untergrund.
Kontrolle und Wartung	<ul style="list-style-type: none"> * Kontrolle der Wirksamkeit der natürlichen Lüftung (Luftzirkulation, freie Querschnitte, Gaskonzentration bei längerem Verschuß der Gebäude). * Nachkontrolle in kürzeren und später längeren Abständen auf die Funktionstüchtigkeit der Lüftung sowie die Einhaltung der Maßnahmen, einschließlich einer Gaskonzentrationsmessung.
Anordnung	<ul style="list-style-type: none"> * Verbot der Versiegelung auf dem Gelände * Verbot von Gründungen direkt auf Oberkante des Geländes bzw. unter Geländeoberkante. * Anordnung von Gebäudeunterlüftung * Keine Zeltaufstellung * Gesundheitsamt ist einzuschalten

Anhang 2.2 Sanierungsbeispiel 2 - Gasphase IV, Halle ohne Keller auf Altablagerung

Ablagerung	Hausmüllablagerung (ca. 50 % Hausmüll), Mächtigkeit bis zu 20 m, Muldendeponie. Abdeckung aus bindigen Materialien (1-2 m). Teilweise in horizontalen Schichten wurde Erdaushub mit eingebaut. Setzungsrisse sind festzustellen. Ablagerungsalter 20 Jahre, Volumen ca. 100.000 m ³ .
Schutzgut	Freistehende Werkhalle (einzige Bebauung auf Ablagerung) auf der Ablagerung. Flachgründung (Streifenfundament) auf der Ablagerung mit einem Unterbau von ca. 1 m Mineralbeton. Dränagen um das Gebäude sowie Hallenentwässerung münden in einen gemeinsamen Zentralschacht, der an einem Ablaufkanal (Betonmuffenrohre) angeschlossen ist, der teilweise durch die Altablagerung führt. Im Hallenboden sind großflächig Risse vorhanden. Die Fugendichtungen sind teilweise zerstört.
Gasgefahr	Gasphase IV auf Basis der Historischen Erkundung, durch die Technische Erkundung bestätigt. Durch Gasmessungen wurde festgestellt: Gas tritt in die Halle über Bodenabläufe, Ausflußöffnungen, sowie über Risse und Fugen im Hallenboden ein und führt zeitweise zu explosionsfähiger Atmosphäre.
Erst-Maßnahme	Schließung der Werkhalle und Abschalten sämtlicher elektrischer Einrichtungen bis nach Ausführung der Schutzmaßnahmen.
Sanierung	<ul style="list-style-type: none">* Anschluß der Dränagen und der Hallenentwässerung über einen Siphon an Zentralschacht. Entlüftung der Dränagen über ein senkrechtes Rohr bis über Hallendach. Der Siphon erhält eine Wasservorlage entsprechend dem beim Absaugversuch festgestellten Eigendruck des Deponiegases zusätzlich eines Sicherheitszuschlags. An den Siphon wird eine Frischwasserzufuhr über einen Schwimmerschalter angeschlossen. Die Funktionstüchtigkeit der Installation wird über eine Kontrollmessung überprüft.* Neugründung des Hallenbodens auf Pfählen mit einem Tragrost, neuer Hallenbodenaufbau mit Gassperrfolie. Dabei Verfüllung der entstehenden Hohlräume unter Boden mit Drainagekies.* Bau eines Gasentlüftungsgrabens um die Halle bis ca. 1 m unter Hallenbodenunterkante. Einbringen von Belüftungsanlagen unter den Hallenboden. Der Gasentlüftungsgraben und die Belüftungssonden werden mit einem Gebläse belüftet. Der Luftaustritt wird über Dach geführt.* Verbesserung der natürlichen Durchlüftung der Halle durch Einbau von Lüftungsöffnungen in den Außenwänden.* Einrichtung einer kontinuierlichen Gaskonzentrationsmessung (explosible Gase) mit Alarmmeldung in der Halle.

Kontrolle und Wartung

- * Funktionskontrolle der Maßnahme nach Fertigstellung, Durchspielen von möglichen Extremsituationen (z. B. Ausfall der Gebläsestation).
- * Regelmäßige Kontrolle der Gaskonzentration in der Belüftungsanlage.
- * Kontinuierliche Überwachung des Gebläsebetriebes. Meldung in die Werkhalle. Betriebsausfallmeldung mit Warneinrichtung vor der Werkhalle.
- * Halbjährliche Gesamtüberprüfung der Anlage mit Meßprogramm um und in der Halle.

Anhang 2.3 Sanierungsbeispiel 3 - Gasphase III, Gebäude mit Unterkellerung neben Altablagerung -

Ablagerung	Hausmüllablagerung (ca. 60 % Hausmüll) mit einzelnen Schüttbereichen aus Erdmaterial oder aus Schlamm, die sich oft bis über die gesamte Auffüllhöhe erstrecken. Mächtigkeit ca. 10 m, Hangdeponie. Setzungsrisse vor allem im Bereich des Verschnitts mit dem anstehenden Hang. Ablagerungsalter ca. 15 Jahre, Volumen ca. 150.000 m ³ .
Schutzgut	Mehrere Wohngebäude in unmittelbarer Nähe (5 - 10m Abstand) der Verschnittkante zwischen Ablagerung und anstehendem Hang. Gebäude teilweise mit Keller (Streifenfundamente). Entwässerungseinrichtungen der Gebäude haben keine Verbindung zur Ablagerung. Gasphase III auf Basis der Historischen Erkundung, durch Technische Erkundung bestätigt.
Gasgefahr	Unterschiedliche Gaswege in die einzelnen Wohngebäude (Mauerwerk der Kellerwände, Rohrdurchführungen, Entwässerungsanlage usw.). Gasmessungen wiesen in mehreren Gebäuden (Keller) Explosionsgefahr nach. In den ebenerdigen Wohnräumen konnte kein Gas nachgewiesen werden. Durch Absaugversuche im Randbereich zur Ablagerung wurden starke Gasmigrationen nachgewiesen.
Erst-Maßnahme	Sperren der gefährdeten Kellerräume, Erhöhung der natürlichen Lüftung durch ständiges Öffnen der Kellerfenster. Entlüftung der Entwässerungseinrichtungen über das Gebäudedach, Abschalten der Elektroanlage im explosionsgefährdeten Bereich.
Sanierung	<ul style="list-style-type: none">* Bau eines Randgrabens am Rand der Ablagerung zur anstehenden Böschung hin mit Gasdrainage, Entwässerung und Abdichtung zur anstehenden Böschung und Sohle. Absaugen des Grabens mit senkrecht eingestellten Saugern, die über Kollektorköpfe einzeln reguliert werden können. Abdichtung mit einer Bentonitmatte, Grabenverfüllung mit Dränagematerial. Die Grabenoberfläche und die Grabenumgebung wird mineralisch abgedichtet bzw. nachverdichtet. Als Kontrollrichtung werden in einem Abstand von 5 m zur Abdichtung (auf dem anstehenden Gelände) Gassonden eingebracht.* Das Gas wird mit einem zentralen Gebläse abgesaugt und abgefackelt (CH₄ ca. 30 Vol. %).* Kondensat und Dränagewasser aus dem Graben werden in einem doppelwandigen Behälter gesammelt und chargenweise zur Behandlung abgefahren.* Sämtliche Installation, außer den Kollektorköpfen und der Gebläse-Fackel-Station, sind unterirdisch verlegt. Die oberirdischen Installationen sind entsprechend den Vorschriften in einem ausreichenden Abstand umzäunt.

Kontrolle und Wartung

- * Funktionskontrolle der Maßnahme nach Fertigstellung, Durchspielen von möglichen Extremsituationen (z.B. Ausfall der Absaugung).
- * Einstellen der Kollektorköpfe bei Inbetriebnahme und bei den regelmäßigen Kontrollen auf eine gleichmäßige und möglichst luftfreie Absaugung.
- * Regelmäßige Kontrolle (wöchentlich) der Gaskonzentration in der Absauganlage (bei Unterschreitung der minimalen Verbrennungskonzentration muß eine geregelte Verdünnung bis unter die Explosionsgrenze erfolgen. Das Gas wird dann 'kalt' über die Fackel abgeblasen). Regelmäßige Gaskonzentrationsmessung an den Kontrollsonden im ersten Betriebsjahr.
- * Halb- bis ganzjährliche Gesamtüberprüfung der Anlage mit Meßprogramm an den Kontrollsonden und in den Gebäuden.

Anhang 2.4 Sanierungsbeispiel 4 - Gasphase II, einzelnes Gebäude neben Altablagerung -

Ablagerung	Hausmüllablagerung (überwiegender Anteil) mit einer Mächtigkeit bis über 20 m, Muldendeponie in ehemaliger Kiesgrube. Abdeckung aus lockerem, gasdurchlässigem Material. Keine Setzungsrisse mit konzentrierten Gasaustritten feststellbar. Anstehendes Gelände mit horizontalen undurchlässigen Schichten, die in Richtung Schutzgut ansteigen. Ablagerungsalter ca. 15 Jahre, Volumen ca. 200.000 m ³ .
Schutzgut	Freistehendes Wohngebäude (einzige Bebauung in näherer Umgebung) in mittlerer Entfernung (100 m) zur Ablagerung. Gründung mit Streifenfundamenten ca. 2,5 m unter Geländeoberkante. Kellerwände aus Mauerwerk, Kellerboden aus Stahlbeton. Entwässerungseinrichtungen des Gebäudes einschließlich der Geländedränage sind über einen Zentralschacht an die Kanalisation (Betonmuffenrohre) angeschlossen. Im Keller befinden sich die Reinigungsöffnung der Grundleitung sowie mehrere Bodenabläufe mit Geruchsverschluß. Rohreinführungen in der Kellerwand wurden nur mit Mörtel beigeputzt. Im Keller befinden sich zentrale Einrichtungen der Elektroinstallation.
Gasgefahr	Gasphase II auf Basis der Historischen Erkundung, durch Technische Erkundung bestätigt. Gasmigrationen durch das teilweise rissige Mauerwerk, mehrere Stellen von Rohrdurchführungen sowie über die Bodenabläufe. Gasmessungen weisen Explosionsgefahr im Keller auf.
Sofort-Maßnahme	Entlüftung des Kellers, insbesondere des Bereiches der zentralen Elektroinstallation, mit einem ex-gesicherten Gebläse. Überwachung der Gaskonzentration in der Atmosphäre über eine kontinuierliche Ex-Warneinrichtung.
Sanierung	<ul style="list-style-type: none">* Bau von vertikalen Gaskollektoren auf der Altablagerung mit besonderer Berücksichtigung potentieller Migrationsflanken. Absaugung und Verbrennung des Gases über eine zentrale Fackelanlage.* Bau eines Drainagegrabens auf der Anstromseite des Gebäudes, welcher die gasführenden Schichten aufschneidet, einschließlich einer Abdichtung der Kellerwände. Dabei wird der Drainagegraben für eine mögliche Zwangsbelüftung ausgerüstet (senkrechter Sauger mit Kollektorköpfen und Sammler). Im ersten Schritt wird der Graben jedoch natürlich über die Grabenoberfläche entgast. Hierfür wird der Graben an der Oberkante verbreitert und mit lockerem, durchlässigem Material abgedeckt.* Sämtliche Rohrdurchführungen auf der Anströmseite werden saniert (Ringraumdichtung, Einbindung in Wandabdichtung; Ummantelung mit PE-Rohr im Grabenbereich).

Kontrolle und Wartung

- * Anschluß der Kanalisation sowie der Dränage über einen Siphon an den Zentralschacht.
- * Funktionskontrolle über Gaskonzentrationsmessung am Dränagegraben sowie im Keller (speziell im Anströmbe-
reich).
- * Regelmäßige Nachkontrolle; im ersten Betriebsjahr wö-
chentlich, später in sich vergrößernden Abständen bis zu
vierteljährlichen Kontrollen.

Anhang 2.5 Sanierungsbeispiel 5 - Gasphase IV, Straßenkörper mit Dränagen neben Altablagerung -

Ablagerung	Hausmüllablagerung (ca.30 % Hausmüllanteil), Hangdeponie, Mächtigkeit 2 - 5 m, Abdeckung aus bindigen Materialien. Setzungsrisse am Verschnitt zur ehemaligen Böschung, Rutschungsrisse am Deponiefuß, der entlang einer bituminös befestigten Straße verläuft. (Ablagerung erfolgte in einem ehemaligen Tonabbau), Untergrund und anstehende Böschung schwer gasdurchlässig. Ablagerungsalter 10 Jahre, Volumen ca. 50.000 m ³ .
Schutzgut	Bituminös befestigte Straße mit Unterbau auf einer Dammschüttung von 1 - 3 m Höhe gegen Böschungsfuß der Ablagerung. Dammschüttung aus kiesig-sandigen Materialien mit bindigen Beimengungen. Frostschutzschicht aus Kies 0/32 mm. Straßendränge mit Anschluß an Kanalisationschächte Kanalisation hat Verbindung mit naheliegenden (20 m) Gebäudeentwässerungsanlagen. Die Straßendränge ist mit bindigem Material abgedeckt.
Gasgefahr	Gasphase IV auf Basis der Historischen Erkundung, durch Technische Erkundung bestätigt. Gasmigration in die Frostschutzschicht der Straße und weiter in Straßendränge, Kanal und Gebäudeentwässerungsanlage. Durch Sondenmessungen konnten keine Gasmigrationen im Boden über den Straßendamm hinaus festgestellt werden.
Erst-Maßnahme	Entlüftung der Straßenschächte, die Gaskonzentrationen aufweisen, durch Abnahme der Deckel. Die Funktion wird mit Handmessgeräten (Explosimeter) überprüft.
Sanierung	<ul style="list-style-type: none">* Anschluß der Dränagen über einen Siphonschacht an den Kanal. Der Siphonschacht enthält eine Wasservorlage von 10 Liter, um auch in Extremfällen und bei sinkendem Wasserstand durch Austrocknung funktionstüchtig zu bleiben. Die Zulaufrohre zum Siphon erhalten einen Entgasungsanschluß, um notfalls eine Zwangsabsaugung des Systems vornehmen zu können.* Die Lehmabdeckung der Dränge wird entfernt und die gasdurchlässige Frostschutzschicht frei liegen gelassen, um so eine Diffusion des Gases über die Oberfläche sicherzustellen.
Kontrolle und Wartung	<ul style="list-style-type: none">* Funktionskontrolle der Maßnahme nach Fertigstellung. Kontrolle auch bei extremen Bedingungen, z.B. Niederschlag, Tiefdruck usw. Regelmäßige Kontrolle (anfangs monatlich, später jährlich) der Funktionstüchtigkeit.* Kontrolle der Siphone, insbesondere in Trockenperioden und nach Starkniederschlägen, auf ausreichende Wasservorlage und Verschlämmung.

Weitergehende Maßnahmen Führt eine Verstärkung der Gasmigration (z.B. erhöhte Gasproduktion in der Ablagerung) dazu, daß die natürliche Gasabfuhr über die Oberflächendiffusion nicht mehr ausreicht (zentrale Gaskonzentrationen an der Oberfläche, zu hoher Druck im Siphon), wird das Dränsystem zwangsabgesaugt. Aufgrund der Gasphase wird eine Gaskonzentration unter 20 % Vol. erwartet. Die Vermeidung von Geruchsbelästigungen in der nahen Bebauung macht eine Ableitung über einen Biofilter (im Container) erforderlich. Die Abluft wird dann über das Dach des Containers geführt.

Abbildungsverzeichnis

Bild 1:	Mögliche Ausbreitungswege von Deponiegas.....	6
Bild 2:	Beispiel für Entspannung bzw. Gasableitung vor Gassperre	18
Bild 3:	Gerammte Gaskollektoren	27
Bild 4:	Lage und Ausbau einer Galerie von Gaskollektoren	28
Bild 5:	Randdränagegraben, Übersicht	33
Bild 6:	Dränagegraben mit vertikaler Gassperre.....	42
Bild 7:	Schutzmaßnahmen an der Gebäudewand gegen Gasmigrationen durch Wandabdichtung mit Gasentspannung.....	46
Bild 8:	Sicherungsmaßnahmen gegen Gasmigrationen an Gebäuden auf der Ablagerung..	48
Bild 9:	Abdichtung der Gebäudebodenplatte bei einer Streifenfundamentausführung	49
Bild 10:	Straßenkörper mit Randdränagegraben.....	52
Bild 11:	Siphonschacht zum Anschluß von Dränagen an Kanäle.....	54

Tabellenverzeichnis

Tab.1:	Qualitative und monetäre Bewertung von gastechnischen Sanierungsmöglichkeiten	12
Tab.2:	Qualitative und monetäre Bewertung von Gassperren an der Oberfläche von Altablagerungen	14
Tab.3:	Qualitative und monetäre Bewertung von senkrechten Gassperren an den Ablagerungsflanken	15
Tab. 4:	Grundsituation.....	18
Tab. 4A:	Beispiele für Verbesserungen	19
Tab. 4B:	Beispiele für Verbesserungen	19
Tab. 4C:	Beispiele für Verschlechterungen	20
Tab. 5:	Generelle Eigenschaften von Oberflächenabdichtungen.	37

Indexverzeichnis

D

Deponiegas

Abdichtung der Gebäudebodenplatte .	49
Ausbreitungswege.....	5
Ausführungsdetails	67
Ausschließen von Zündquellen	60
Bewertung von Gassperren.....	15
Dekontaminationsverfahren.....	11
Dränagegraben mit vertikaler Gassperre	42
Entgasung	22
Entgasung, passive.....	22
Erkundung und Bewertung	5
Gasdränagegraben.....	32
Gasentlüftung, Gasabsaugung	17
Gasentsorgung, Gasbehandlung	60
Gasentspannung bzw. Gasableitung vor Gassperre	18
Gasfenster	22
Gaskollektor.....	24, 27
Gaskonzentrationsmeßgerät.....	57
Gassperre	13, 16, 36
Gassperre - Oberflächenabdichtungen	36
Gassperre, senkrechte	40
gastechische Sanierung.....	11, 12
Gaswarngerät	56
gefährdete Objekte und Nutzungen	6
Gefährdungsabschätzung	7
Gefahren	4
Kontrollmaßnahmen	20, 55
Kontrollsonden	55
Literatur	64
Lüftungsmaßnahmen	59
passive Entgasung.....	22
Sanierungsbeispiele	86
Sanierungsgrundsätze	10
Sanierungskonzepte	11
Sanierungsmaßnahmen	22
Sanierungsvorschlag	10
Sanierungsziele	10
Schutzmaßnahmen.....	16
Schutzmaßnahmen im Objekt.....	58
senkrechte Gassperre	40
Sicherheitsmaßnahmen beim Bau	62
Sicherheitsmaßnahmen beim Betrieb .	62
sicherheitstechnisches Gutachten	7

Sicherheitsvorkehrungen.....	62
Sicherung	20
Sicherung von Leitungsdurchführungen	54
Sicherung von Straßenkörpern.....	52
Sicherung von Ver- und Entsorgungseinrichtungen.....	50
Sicherungsmaßnahmen	18, 36, 45
Sicherungsmaßnahmen gegen Gasmigrationen	48
Sicherungsverfahren.....	11
Siphonschacht	53
Straßenkörper mit Randdränagegraben	52
technische Kontrolle	57
Transportwege.....	5
Wand- und Bodenschutz bei Gebäuden	48
Wandabdichtung mit Gasentspannung	46
Wandaußenschutz bei Gebäuden	46
Zwangsentgasung.....	24
Zwangsentgasung über Dränagegraben	31
Deponiegaspotential.....	5
E	
Entgasung	
Altablagerung.....	22
passive.....	22
F	
Fallbeispiele	
Objektschutz - Deponiegas	67
G	
Gasdränagegraben	32
Gasentlüftung, Gasabsaugung.....	17
Gasentsorgung, Gasbehandlung.....	60
Gasfenster.....	22
Gaskollektor	24, 27
Gaskonzentrationsmeßgerät	57
Gassperre	
Allgemeines	13, 16, 36
Oberflächenabdichtung	36
senkrechte.....	40
Gaswarngerät	56
L	
Literatur	
Deponiegas.....	64

Objektschutz - Deponiegas	64	Schutzmaßnahmen im Objekt	58
O		senkrechte Gassperre.....	40
Objektschutz - Deponiegas		Sicherheitsmaßnahmen beim Bau	62
Abdichtung der Gebäudebodenplatte .	49	Sicherheitsmaßnahmen beim Betrieb..	62
Allgemeines	3	Sicherheitsvorkehrungen.....	62
Ausführungsdetails	67	Sicherung	20
Ausschließen von Zündquellen	60	Sicherung von Leitungsdurchführungen	
Dränagegraben mit vertikaler Gassperre		54
.....	42	Sicherung von Straßenkörpern.....	52
Entgasung	22	Sicherung von Ver- und	
Entgasung, passive.....	22	Entsorgungseinrichtungen.....	50
Fallbeispiele.....	67	Sicherungsmaßnahmen	36, 45
Gasdränagegraben.....	32	Sicherungsmaßnahmen gegen	
Gasentlüftung, Gasabsaugung	17	Gasmigrationen	48
Gasentsorgung, Gasbehandlung	60	Siphonschacht	53
Gasentspannung bzw. Gasableitung vor		Straßenkörper mit Randdränagegraben	
Gassperre	18	52
Gasfenster	22	technische Kontrolle	57
Gaskollektor.....	24, 27	Wand- und Bodenschutz bei Gebäuden	
Gaskonzentrationsmeßgerät.....	57	48
Gassperre	16, 36	Wandabdichtung mit Gasentspannung	46
Gassperre - Oberflächenabdichtungen	36	Wandaußenschutz bei Gebäuden	46
Gaswarngerät	56	Zwangsentgasung.....	24
Kontrollmaßnahmen	20, 55	Zwangsentgasung über Dränagegraben	
Kontrollsonden	55	31
Literatur	64	S	
Lüftungsmaßnahmen	59	Sanierungsmaßnahmen	
passive Entgasung.....	22	Deponiegas.....	22
Sanierungsbeispiele	86	Sicherung und Sanierung von Altlasten	
Schutzmaßnahmen.....	16	Maßnahmen Deponiegas.....	45, 48