

25 Jahre Innovation und Entwicklung von Kunststoffbauteilen für die Fassung und Ableitung von Sickerwasser und Gasen in Deponien

Dipl. Ing. Philipp Frank

Dipl. Ing. Heike Frank

1. Allgemeines

„Deponietechnik ist die Beherrschung der Stoffströme in Deponien.

Die Stoffe, die es zu beherrschen gilt, sind Flüssigkeiten und Gase.“

Diese Feststellung war bereits vor 25 Jahren das Dogma der Deponietechnik und bestimmt auch heute noch alle Deponiebaumaßnahmen.

Durch eine komplette Abdichtung des Deponiekörpers wird vermieden, dass die Stoffströme unkontrolliert aus der Deponie entweichen. Aber erst eine sinnvolle Anordnung und Ausführung von Rohrsystemen mit Bauwerken ermöglichte die kontrollierte Erfassung und Ableitung der Flüssigkeiten und Gase.

2. Sickerwasserrohre

Die ersten Bemühungen, Deponiesickerwasser zu erfassen, stammen aus Ende der 60 er Jahre. Zum Einsatz kamen zunächst Rohre aus Beton, Ton und Steinzeug, vereinzelt auch PVC. Die Steinzeugindustrie hatte den Markt erkannt und ein perforiertes Deponie-Sickerwasser-Dränrohr aus Steinzeug auf den Markt gebracht. Mit einer „Flexocrest“-Last-Verteilungsmatte wurden für 30 m Müllauflast bei vorgegebenen Temperaturen von 50°C rechnerische Standsicherheiten nachgewiesen. Wegen der vorgegebenen hohen Temperaturen konnten für PE-Rohre keine ausreichenden Nachweise erzielt werden.

Steinzeug-Sickerwasserrohre waren für eine kurze Zeit der Favorit – bis sich Schadensmeldungen häuften.

Parallel dazu brachten Temperaturmessungen die Erkenntnis, dass bei steigender Müllauflast die Temperatur des Sickerwassers im Bereich der Dränrohre fällt. Die damals gemessenen Sickerwassertemperaturen lagen alle unter 35°C.

Anfang der 70er Jahre wurden auf den Deponien Asslar und Wicker die ersten PE-Rohre zur Sickerwasseraufnahme und -ableitung eingesetzt. Bei der ursprünglichen Anordnung der Sickerwasserstränge im Fischgrätmuster mit relativ engen Strangabständen war ein Sickerwasserrohr mit 100 mm Innendurchmesser ausreichend dimensioniert. Nachdem Fischgrätanordnungen der Sickerwasserleitungen nicht gespült werden konnten, wurden strangweise Sickerwasserleitungen mit größeren spül- und kamerabefahrbaren Durchmessern eingesetzt. Aktuell fordert die DIN 4266-1 – Sickerrohre in Deponien – Teil 1, Stand 2011 [1] – einen Mindestinnendurchmesser 250 mm. Da bei der statischen Auslegung der Sickerrohre eine Verformung bis maximal 6 % zulässig ist, wurde in der SKZ/TÜV-LGA Güterrichtlinie ein Innendurchmesser von ca. 300 mm empfohlen.

Die Standfestigkeit der ersten PE-Sickerwasserrohre wurde nach Gaube (Höchst AG) berechnet.

Seit spätestens 1988 existieren anerkannte Berechnungsgrundlagen für PE-Rohre nach ATV A 127. Für die deponiespezifischen Belastungen werden die Nachweise der PE-Rohre ab März 1996 nach ATV M 127 geführt.

Trotz der hohen statischen Anforderungen wurden verschiedenste Kunststoffrohrtypen für den Einsatz in Deponien vorgeschlagen.

Als Beispiel für viele Ideen sei auf eine Patentanmeldung aus 1993 [2] zu einem Dreischicht Korrugatorrohr hingewiesen:

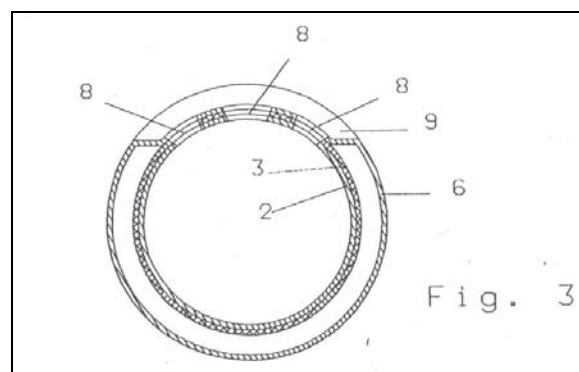


Abb. 1: Dreischicht Korrugatorrohr Patentanmeldung Drossbach 1993

Gerade bei hohen Auflasten ist eine einwandfreie Bettung ein wichtiger Faktor zur Standstabilität. Keinesfalls darf ein Dränrohr auf eine mineralische Dichtmasse verlegt werden, wenn die Gefahr der Durchfeuchtung der Bettung zu erwarten ist. Um dies zu verhindern, hat Herr Alois Schlütter vorgeschlagen, die Kunststoffdichtungsbahn an die PE-Rohre anzuschweißen und hierzu ein Patent 1988 [2] veröffentlicht:

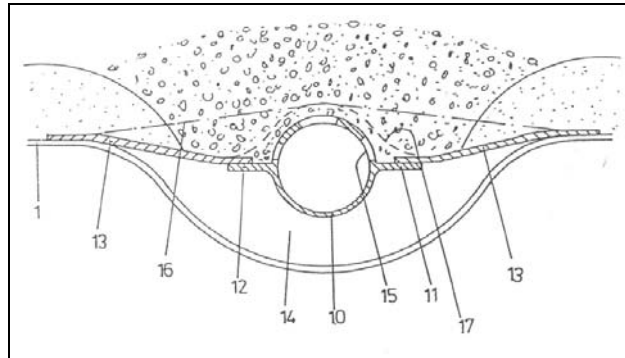


Abb. 2: Rohrausführung mit KDB Anbindung, Patentanmeldung Niederberg Chemie 1988

PE-Rohre, die den hohen Anforderungen auf Deponien gerecht werden können sind einerseits profilierte Wickelrohre nach DIN 16961 [3] sowie glattwandige Rohre nach DIN 8074/75 [4]. Diese beiden Rohrtypen werden heute ausschließlich verwendet.

Die profilierten Wickelrohre haben eine geringe Grundwanddicke im Wellental. Damit sind hydraulische Vorteile beim Sickerwassereintritt gegeben. Auf Bettung und Profilsteifigkeit ist besonders zu achten.

Die glattwandigen PE-Rohre bieten Vorteile bei der Rohrbettung. Die ersten geschlitzten Rohre wurden mit Scheibenfräser hergestellt. Durch die zum Teil hohen Wanddicken von bis zu 60 mm ergaben sich gemessene Verschwächungen von bis zu 30 % (Schulz/Schicketanz) [5] und es traten zudem Probleme durch Sickerwasserrückstau auf.

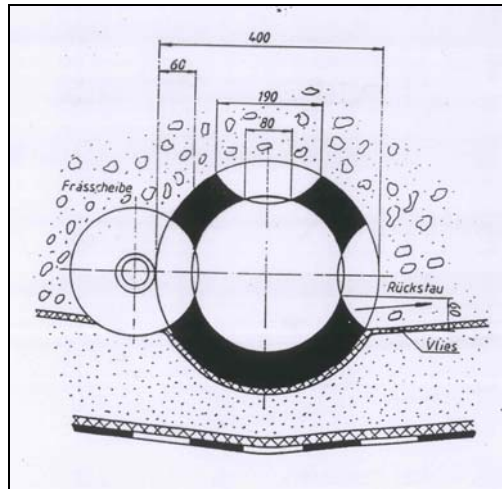


Abb. 3: mit Scheibenfräser geschlitzte Rohre

Sickerrohre sind seit 1992 in der DIN 4266 Teil 1 genau spezifiziert. Mit Überarbeitung der DIN, Stand November 2011, sind planparallele Schlitz- und Lochanordnungen mit Gefälle zur Rohrsohle gefordert. Bei dieser Ausführung ist die schlitzbedingte Schwächung nur ca. 10 – 15 %.

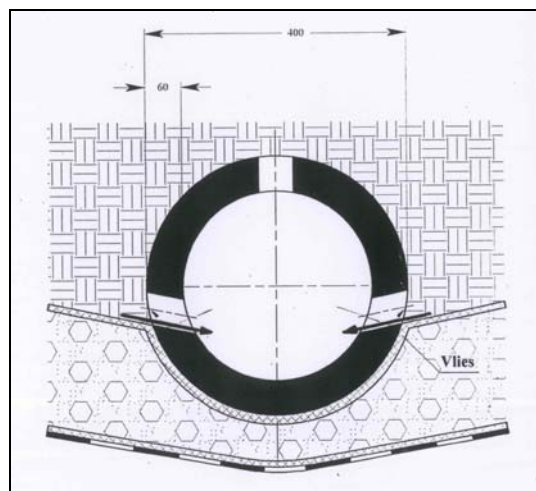


Abb. 4: planparallele Schlitz mit Neigung zur Rohrsohle

Die Verlegung der Kunststoffrohre ist in der DIN 19667 [6] erstmals seit Mai 1991 spezifiziert und liegt überarbeitet seit Oktober 2009 vor.

3. Rohrdurchführung durch die Abdichtung

In den 80er und 90er Jahren wurden Deponien auch noch mit Asphaltbelag abgedichtet. Hierzu wurde das Durchdringungsbauteil zunächst aus einem gewickelten Mehrschichtrohr mit bis zu 140°C beständigem PVDF Außenmantel gefertigt. Die Abdichtung erfolgte über ein Labyrinth.

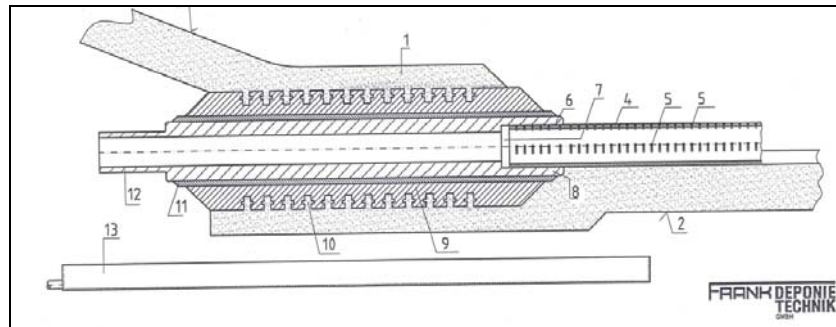


Abb. 5: Rohrdurchdringung durch Asphalt

Bei der inzwischen gegebenen Möglichkeit PE-Rohlinge im Wickelverfahren mit Wanddicken von 100 mm und mehr herzustellen, wurden diese Durchdringungsbauteile später ganz aus PE- gefertigt.

Auch wenn an der Oberfläche durch Kontakt mit dem heißen Asphalt Verformungen aufgetreten sind, bleiben die Bauteile – bedingt durch die schlechte Wärmeleitung von PE – innen unverändert. Die Asphaltabdichtung wurde immer mehr durch PE-Bahnen in der Kombiabdichtung verdrängt.

Setzungen im Müllkörper führen zu nicht vorhersehbaren Belastungen bei einer festen Anbindung der Sickerwasserrohre an die KDB. Der kritische Punkt ist die Schweißnaht. Ein aktueller Stand über Entwicklungsvorschläge ergibt sich immer aus Patentanmeldungen.

Abbildung 6 zeigt Vorschläge für direkt geschweißte Anbindungen über sogenannte Dehnmembranen.

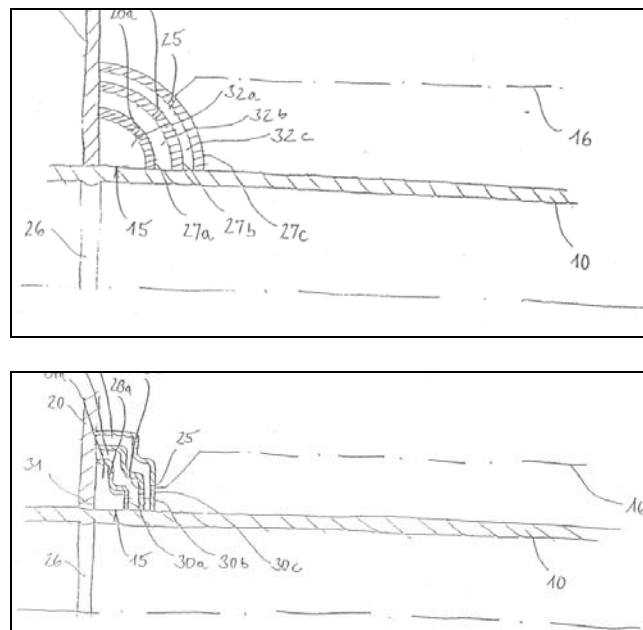


Abb. 6: Auszug von Rohranbindungen, Patentanmeldung 1991 [2]

Der Vorläufer zum heutigen Standard war eine Patentanmeldung über einen verstärkten Kragen, um eine fachgerechte verstärkte Schweißnaht herstellen zu können.

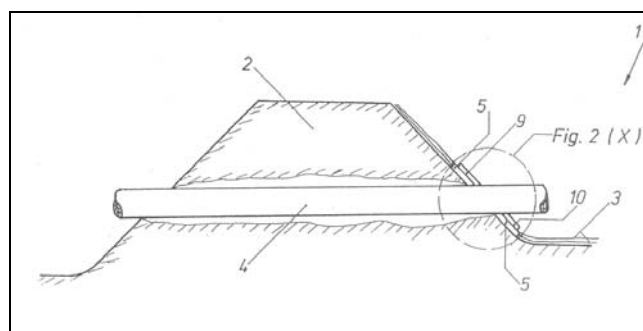


Abb. 7: Durchdringung, Patentanmeldung 1995 [2]

In einer Veröffentlichung der Zeitschrift „Entsorgungstechnik“, von 01/1993 [7] wurde eine Durchdringung vorgestellt, die auch heute noch weitestgehend dem Stand der Technik entspricht.

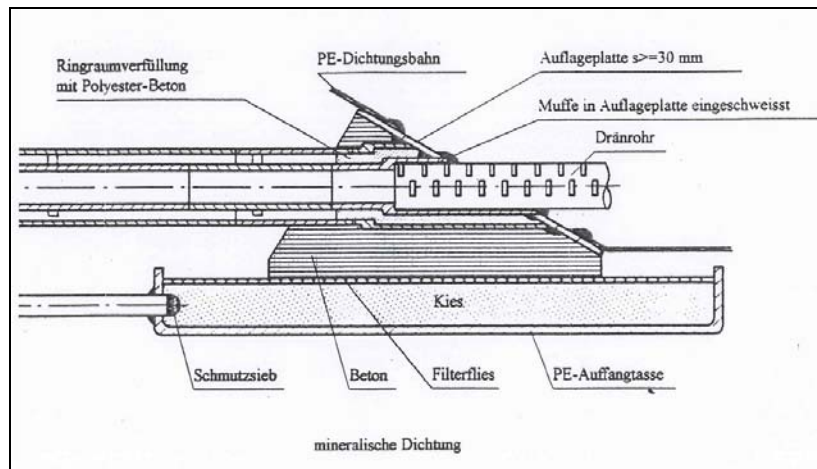


Abb. 8: Durchdringungsbauwerk mit Doppelrohranschluss und Leckageüberwachungswanne, Stand 1993

Die Herren Bräcker, Schlütter und Dr. Sänger haben 1994 in der Zeitschrift Bautechnik, Heft 5 [8], einen Schleppstreifen als „kann“-Ausführung beschrieben:

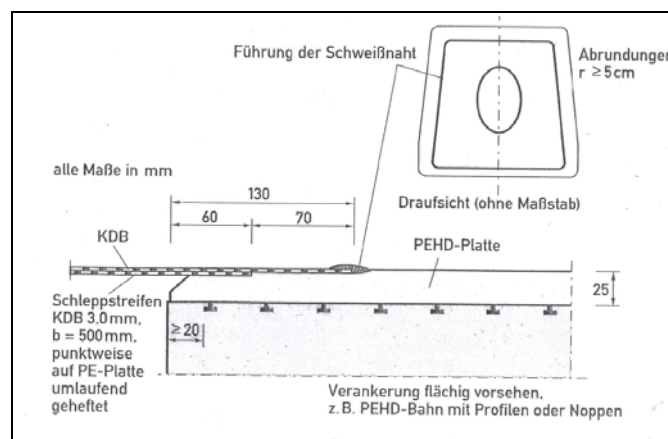


Abb. 9: Schleppstreifenanordnung unter KDB

Dieser Schleppstreifen ist zur Minderung der Scherkräfte auf die KDB erforderlich und heute Stand der Technik.

Die Standarddurchführung mit Schleppstreifen ist in der SKZ/TÜV-LGA Güterrichtlinie seit Juni 2010 [9] festgeschrieben

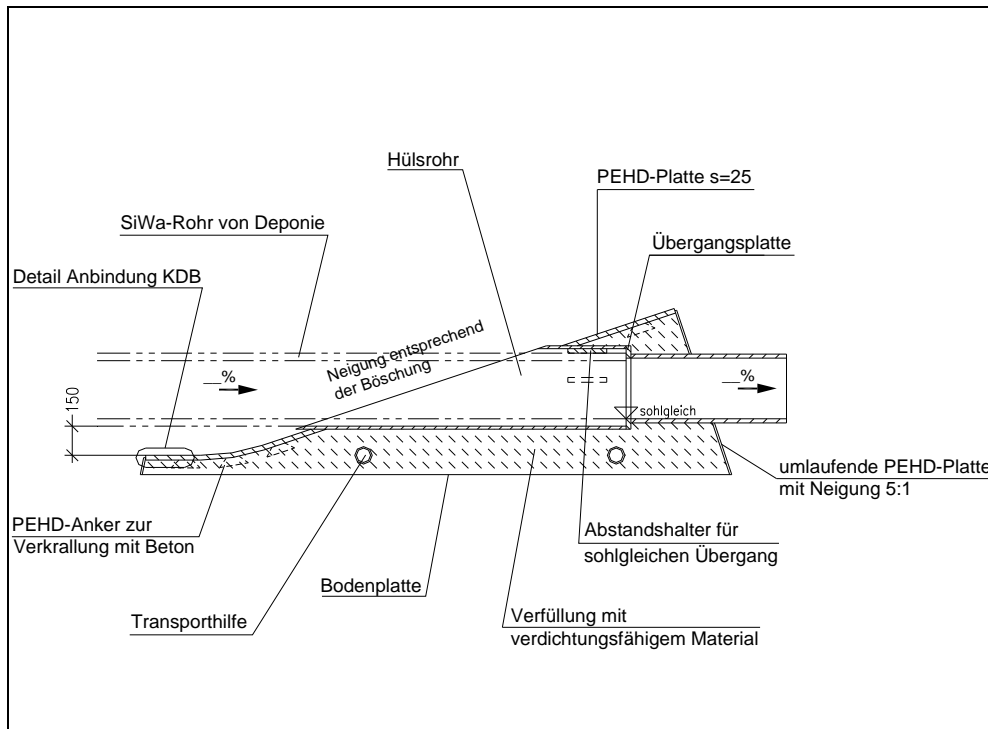


Abb. 10: Standardausführung Durchdringungsbauwerk nach SKZ/TÜV-LGA Güterrichtlinie

4. Schachtbauwerke

Schachtbauwerke dienen der Zugänglichkeit zum Zwecke der Kontrolle, Reinigung oder Wartung der Sickerwasserrohre, Armaturen oder Pumpen.

Nach Möglichkeit werden die Schächte außerhalb des Deponiekörpers platziert.

Sickerwasserkontrollschacht

Eine der ersten Erkenntnisse war, den Luft-/Sauerstoffeintritt in das Dränagesystem zu verhindern. Ocker, Bakterienschlämme und chemische Reaktionen aus dem Deponat verursachen ein vorschnelles Zuwachsen der Sickerwassereintrittsöffnungen. Aus diesem Grund ist mit einem Siphon der Lufteintritt in das Dränrohr zu verhindern. Damit wird auch erreicht, dass bei einer aktiven Entgasung, zuströmende Luft das Methan verdünnt.

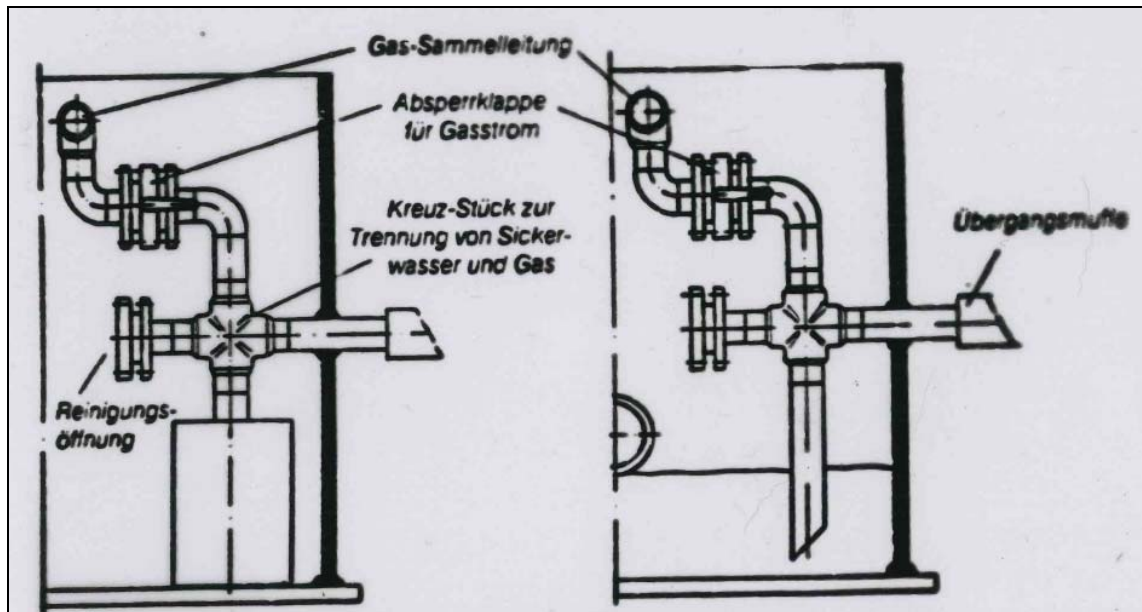


Abb. 11: Lösungsvorschläge zur Verhinderung von Lufteintritt in Rohrsysteme 1986

Bild 11 zeigt Vorschläge, über die Schachtausbildung aus einem Vortrag von 1986 an der TA Esslingen [10]. Wie daraus zu ersehen ist, gab es Überlegungen, Entwässerung und Entgasung zu kombinieren. Die o. g. Sauerstoffproblematik führte allerdings zu getrennten Erfassungssystemen für Sickerwasser und Gas.

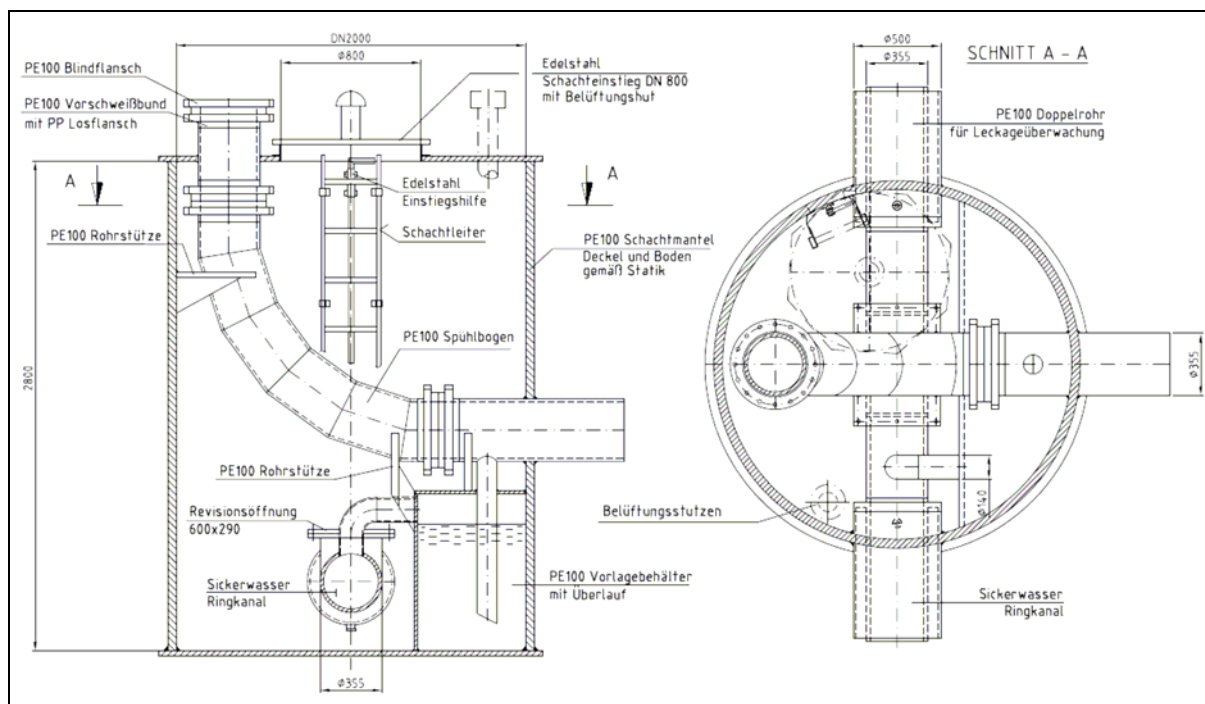


Abb. 12: Sickerwasserkontrollschacht mit Siphon und Sammelrohr

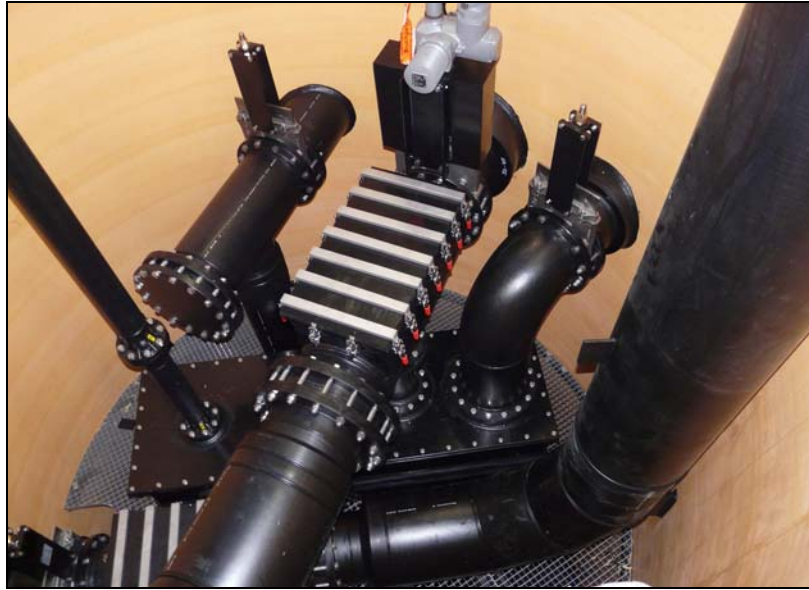


Abb. 13: Sickerwasserkontrollschacht mit Wartungsöffnungen und Vorlage

Die Notwendigkeit einen Schacht in den Müllkörper zu bauen, ist nur in einer vorhandenen Grubendeponie gegeben, da sich am Tiefpunkt der Grube das Sickerwasser sammelt. Dies bedeutet, in der Regel sind im Schacht Pumpen und Armaturen zu warten.

Bedingt durch die Setzungen des Müllkörpers sind die Anforderungen an die Schachtkonstruktion nur mit technischer Finesse lösbar.

Bei einer Müllhöhe > 20 m wäre bei voller Aufnahme und Übertragung der negativen Mantelreibung durch die Setzung ein Schachtfundament wie für einen Fernsehturm erforderlich. Auch die dann notwendigen Schachtwandungen sind aus technischer und preislicher Sicht kaum darstellbar. Zwei Lösungen kamen zur Ausführung:

Teleskopschacht:

2-3 m lange Schachtelemente mit Dehnmuffe und Spitzende werden über Abscherauflagen mit hochwachsender Bettung aufgestellt. Bei Beginn der Müllsetzungen und Übertretung einer vorbestimmten Kraft aus Mantelreibung schert der Montagering durch Überschreiten der Schweißnahtfestigkeit ab. Die einzelnen Schachtelemente werden durch die Schachtbettung gehalten und bewegen sich mit der Müllsetzung in die darunter angeordnete Muffe.

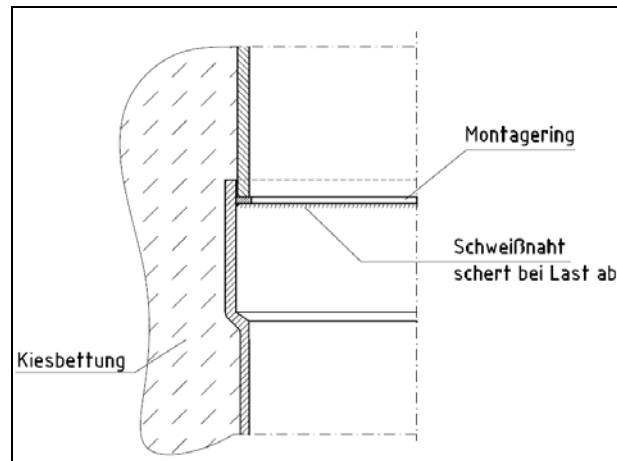


Abb. 14: Teleskopschachtskizze - Verbindungselement

Bei dieser Lösung können durch horizontale Müllverschiebungen und damit einhergehende Abwinklungen in der Schiebemuffe erhöhte Reibungskräfte wirksam werden. Durch die Ringspalte ist der Schacht nicht gasdicht. Fest installierte Leitungen zur Bewetterung und Pumpendruckleitungen sind nur mit großem technischen Aufwand auszuführen.

Gleitmanschettenschacht

Der geschlossene PE-Schachtmantel erhält an seiner Außenseite umlaufende 2,5 mm dicke und 1 m hohe PE-Bahnen, die mit der Setzung der Schachtbettung (Kiesummantelung) abgleiten können. Der Kiesmantel wird über 5 mm dicke Schalungsmanschetten vom Müll getrennt. Diese Schalungsmanschetten erleichtern das Einfüllen des Bettungsmaterials und setzen sich mit dem Müll durch Überschieben.

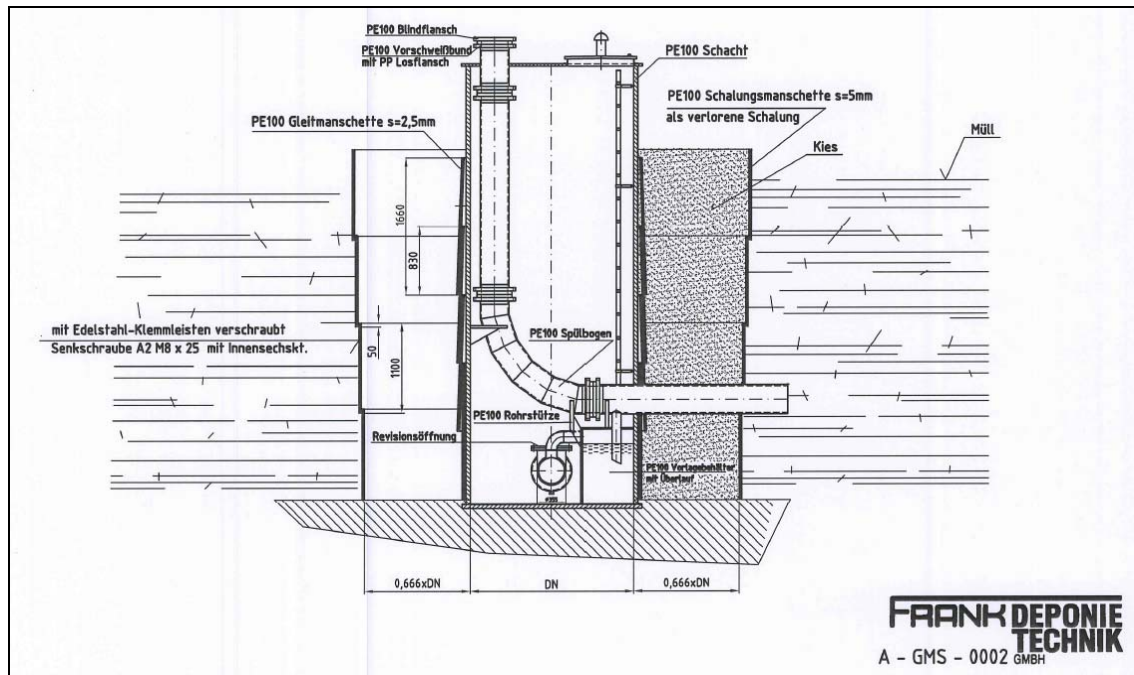


Abb. 15: Gleitmanschettenschacht mit Spülrohr

Der Schacht bleibt gasdicht, Steigerohre können problemlos eingebaut werden. Über die verbleibende Mantelreibung liegen von drei Schächten detaillierte Messungen vor.

Schrägstollenschacht

Liegt der Tiefpunkt der Deponie in der Nähe des Randwalls, bietet sich eine Lösung wie hier im Hause von der Deponie Beselich vorgestellt.

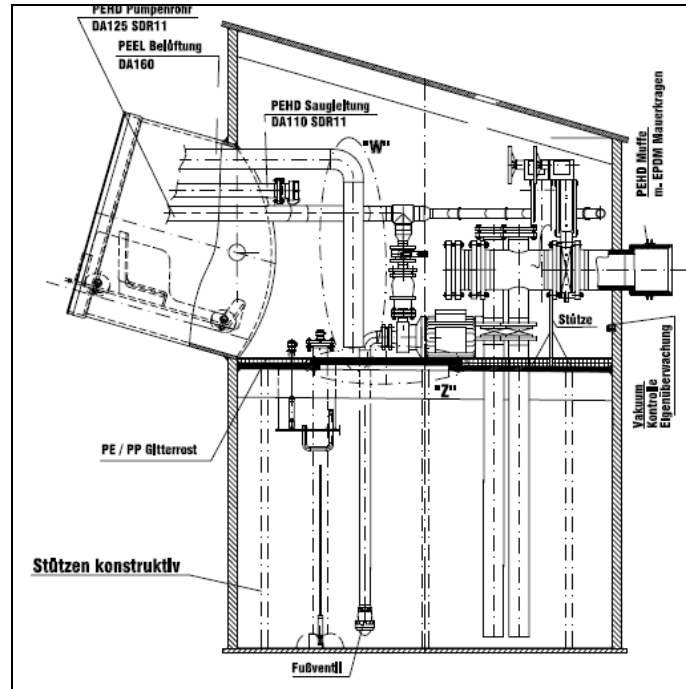


Abb. 16: Pumpschacht mit Sickerwasservorlage

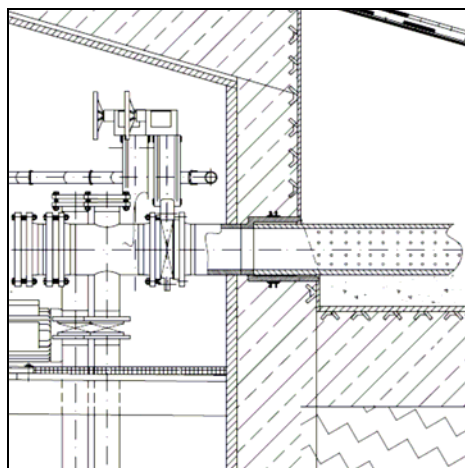


Abb. 17: Schachteinbindung mit integriertem Durchdringungsbauwerk

In Beselich sitzt der Schacht unter der Abdichtung und wird durch einen 45 m langen Stollen unter der Abdichtung befahren. Alle erforderlichen Rohrleitungen wurden werkseitig vormontiert. Der Sickerwassersammelschacht ist doppelwandig und wird mit Vakuum auf Dichtheit überwacht.

Gasdicht gehaltene Schächte können mit einer hellen Innenauskleidung inspektionsfreundlich gefertigt werden. Ist mit Gas im Schacht zu rechnen, muss die Innenoberfläche elektrisch leitfähig mit Potentialausgleich ausgerüstet werden, die Schachtinnenoberfläche ist dann schwarz.

PE ausgekleidete Betonschächte

Werden Betonschächte innerhalb einer Deponie vorgesehen, sind diese innen und außen mit PE-Betonschutzplatten zu verkleiden. Die starre Konstruktion von Betonbauwerken ist nur in konsolidierten Deponien sinnvoll.

5. Kontrollierbare Ableitungssysteme/Stauräume

Ist das erfasste Sickerwasser wirtschaftlich an eine Nachbehandlungsanlage anzuschließen, wird dies mit einem Doppelrohrsystem gewährleistet. Die Leckageüberwachung erfolgt in den Kontrollschächten.

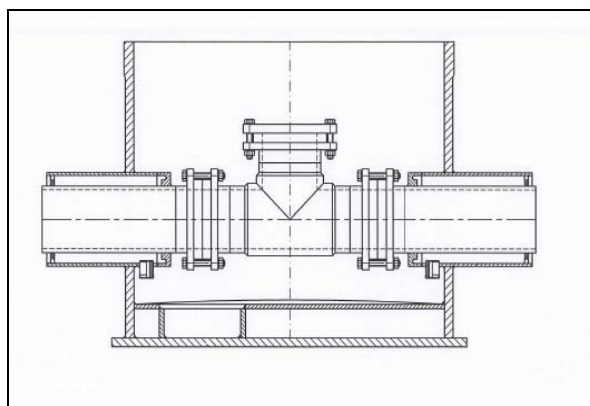


Abb. 18: Kontrollschacht für Doppelrohrsammler

Die Kontrollierbarkeit von Rohrsystemen außerhalb der Abdichtung ist im WHG [11] für grundwassergefährdende Flüssigkeiten seit 2009 amtlich gefordert.

Je nach Menge des anfallenden Sickerwassers und nach Entfernung zur Nachbehandlung kann eine Zwischenlagerung und Abtransport mit Tankwagen wirtschaftlich sein.

Zur Zwischenlagerung eignen sich erdverlegte PE-Speicherräume. Nach WHG [11] und VAUwS [12] sind diese Speicherräume mit Dichtheitskontrolle auszuführen.

Im März 1991 wurde ein 3-Schicht-PE-Bahn [2] bestehend aus zwei normalen PE-Deckschichten und einer dazwischen extrudierten elektrisch leitfähigen PE-Bahn als homogene und vollflächig kontrollierbare Abdichtungsbahn zum Patent angemeldet. Die Meßversuche im Labor waren überzeugend. Über elektrische Widerstandsmessung konnte bei 12 x 12 m Versuchsfläche eine Beschädigung auf unter 0,5 qm geortet werden.

Im Wickelverfahren können wechselweise innen PE, mittig PE-EL und außen PE aufgebracht werden. Es lag nahe auch Stauraumbehälter für Deponiesickerwasser auf diese Art mit elektrischer Dichtheitskontrolle auszurüsten. Zwei derartig konzipierte Stauräume wurden eingebaut.

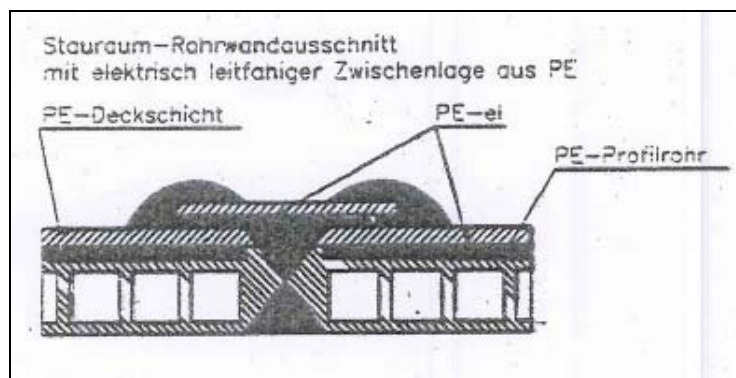


Abb. 19: Detail Schweißnahtausbildung EL 3-Schichtsystem

Es zeigte sich nach etwa einem halben Jahr, dass durch die Migration leicht flüchtiger Bestandteile durch das PE die Empfindlichkeit der elektrischen Leckageüberwachung immer weiter zurück genommen werden musste. Nachdem auch bei einer Chemikalienwanne mit 5 mm Betonschutzplattenauskleidung im 3-Schichtverfahren Fehlmeldungen durch Feuchtigkeitsanreicherung in allen PE-Schichten auftraten, wurde diese Art der Leckageüberwachung in unserem Hause eingestellt.

Die Alternative ist die klassische zweischalige Konstruktion mit Leckageüberwachung in den Zwischenräumen. Da die Sickerwasserspeicher erdverlegt sind, wird die Dichtheitskontrolle über zugängliche Anschlüsse im Dom oder im Scheitelbereich mit Vakuum vorgenommen.

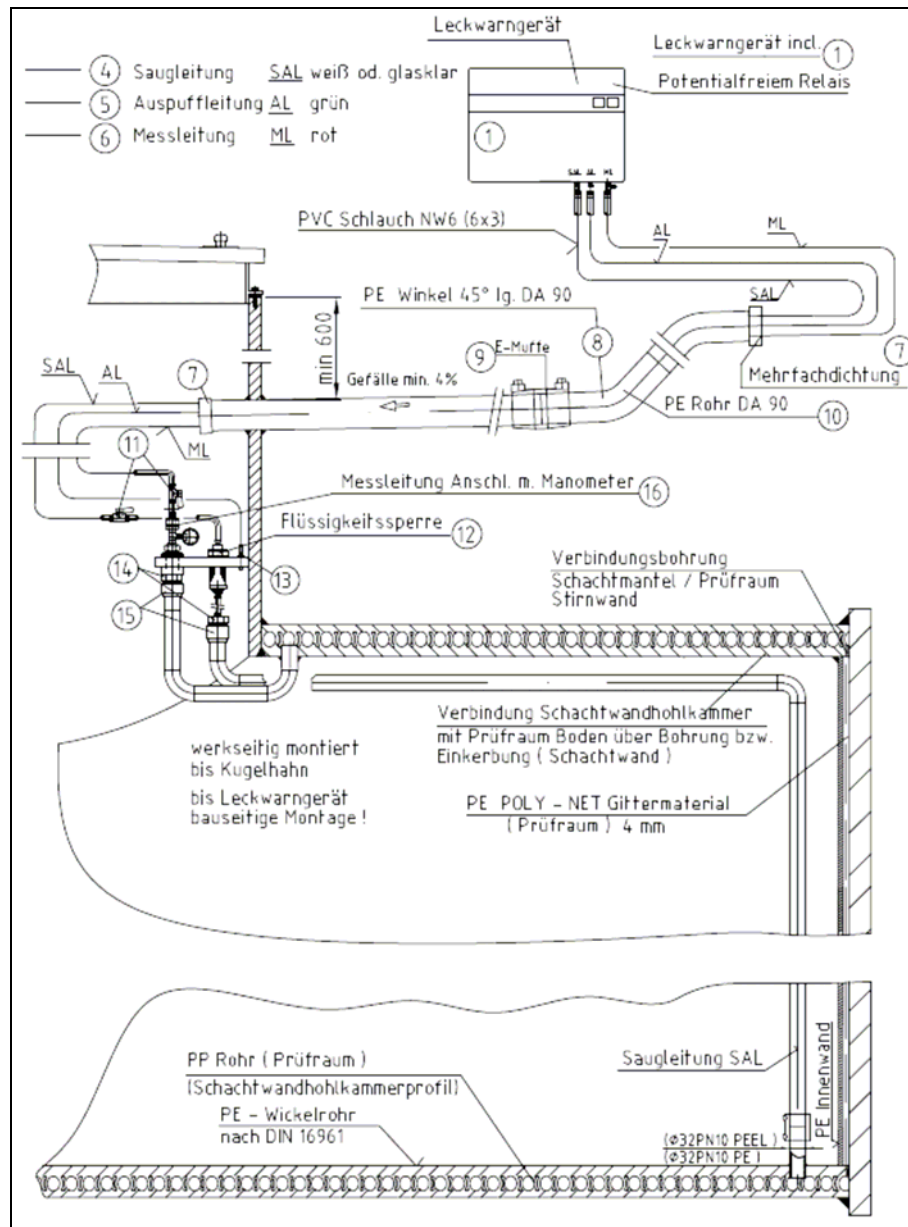


Abb. 20: Vakuumüberwachungssystem für kontrollierbaren Stauraum

Konstruktive Lösungen werden auch nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten konzipiert. Eine interessante Ausführung ist in Kombination von Kontrollschacht mit Sickerwasserspeicher und Pumpschacht.

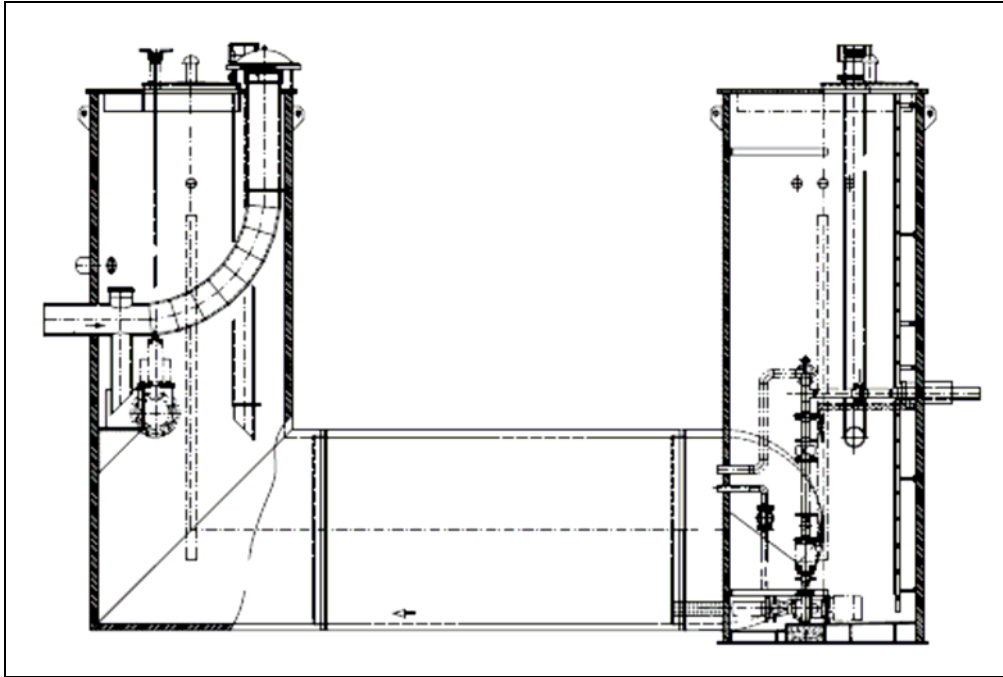


Abb. 21: Sickerwasserkontrollschacht mit Speicher und Pumpschacht

Nicht nur beim Rohr sondern auch bei den Bauwerken sind die der Statik zugrundegelegten Einbaubedingungen nach Vorgabe auszuführen.

6. Rohre und Bauteile zur Gasfassung

1976 hat Professor Tabasaran zum Thema: „Überlegungen zum Problem Deponiegas“ in der Zeitschrift Müll und Abfall [13] die Erfassung und Verwertung von Deponiegas angeregt.

An vorhandenen Deponien wurden zunächst perforierte Rohre horizontal eingebracht. Wesentlich effektiver waren jedoch horizontale Gasbrunnen.

Es wurden in den letzten 25 Jahren vorwiegend PE-Rohre zur Gaserfassung eingesetzt. Bei erwartenden Temperaturen $>40^{\circ}$ C kamen vereinzelt auch PP-Rohre zum Einsatz.

In einem Vortrag bei dem Symposium „Mülldeponie und Umwelt“ an der Universität Kaiserslautern im Oktober 1988 [14] wurden die Anforderungen an das Gasersfassungssystem vorgetragen:

- Deponiegas und Gaskondensat sind sehr aggressiv
- Durch die hohe Feuchte ist im gesamten System Kondensatbildung zu erwarten.
- Die Setzungen im Deponiekörper erfordern konstruktive Berücksichtigung.
- Das Entgasungssystem muss gegen Sauerstoffzutritt dicht sein und bleiben.

An diesen Grundsätzen hat sich in den letzten 25 Jahren nichts geändert.

Durch die gegebene Explosionsgefahr sind oberirdisch ausgeführte Rohre und Bauteile anti-statisch, d. h. elektrisch leitfähig, auszuführen.



Abb. 22: Schacht mit elektrisch leitfähiger Innenfläche und Potentialausgleichsschiene

Um das Deponiegas möglichst trocken in die Transportrohre zu leiten, sind Kondensatabscheider zweckmäßig.

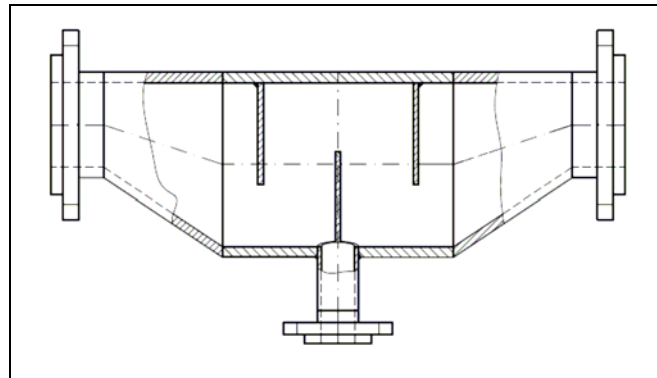


Abb. 23: Kondensatabscheider

Durch die Querschnittsvergrößerung im Abscheider entspannt das Gas. Zusätzlich wird durch die Umlenkung des Gasstromes über scharfe Kanten die Tröpfchenbildung gefördert.

Jeder Tiefpunktschacht ist mit einer Kondensatableitung zu versehen.

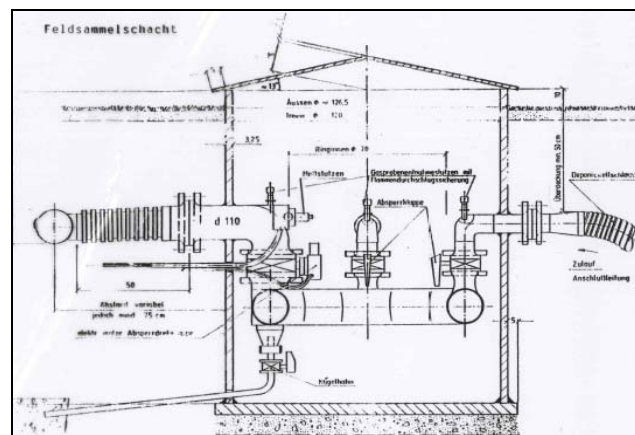


Abb. 24: Tiefpunktschacht mit Kondensatablauf

Keinesfalls dürfen in den Sammelleitungen Säcke entstehen. Bei zu erwartenden Setzungen sind bewusst Tiefpunkte mit Kondensatableitungen erforderlich.

Vertikale Gasbrunnen sind mit Schiebemuffen am oberen Ende des Gasbrunnenrohres und flexible Anschlüssen zum horizontalen Sammelrohr auszuführen, um die Setzungen aufzunehmen.

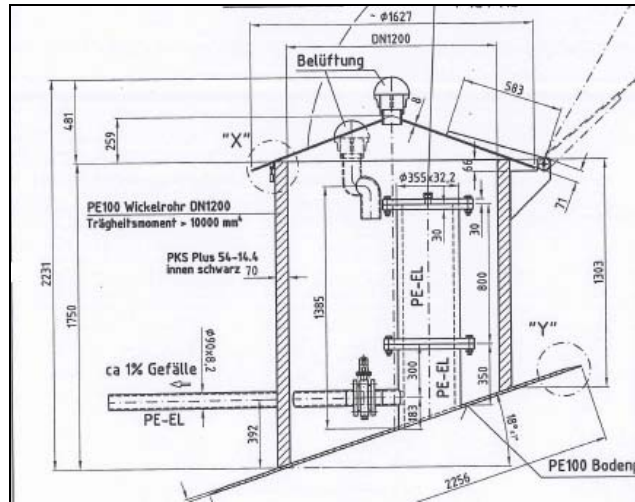


Abb. 25: PE-EL Gasbrunnenkopfschacht

Bei der Neuanlage einer geordneten Deponie wurden zum Aufbau der Gasbrunnen Zugrohre aus PE zur Aufnahme der Dränrohre und zum kontrollierten Einbau einer Filterschicht mit dem Mülleintrag stufenweise hochgezogen.

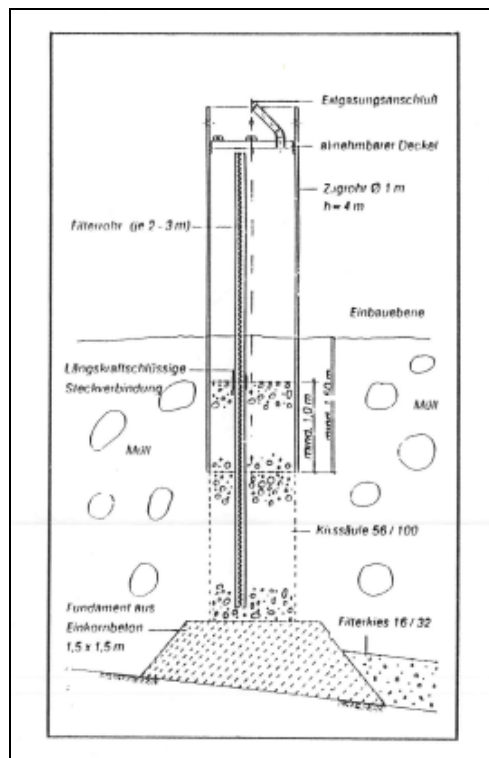


Abb. 26: Zugrohr für sukzessiven Brunnenaufbau

Anlässlich der SKZ Tagung „Die sichere Deponie“ im Jahre 2012 hat Herr Timmermans von Trisoplast [15] ein Verfahren vorgestellt, mit dem nachträglich über eine Lanze flexible Dränelemente zur Gasaufnahme in den Müllkörper eingedrückt werden.

Bei abgeschlossenen Mülldeponien geht der Gasanfall nach ca. 15 Jahren soweit zurück, dass der Methananteil nicht mehr genutzt werden kann. Fällt der CH_4 Anteil unter 25 % ist auch ein Abfackeln nicht mehr möglich. Um die aus der Deponie austretenden Restgasanteile nicht einfach entweichen zu lassen, kommen Biofilter zum Einsatz. Herr Jörg Jahn hat in 2012 in diesem Forum einen Biofilter vorgestellt, der durch geschickte Beatmungstechnik das Überleben der Bakterien sichert. Diese Bakterien bewirken über Oxidation den Zerfall der Methanmoleküle. Es entsteht Kohlendioxid und Wasser. Die Geruchsstoffe verbleiben weitestgehend in der Biomasse.

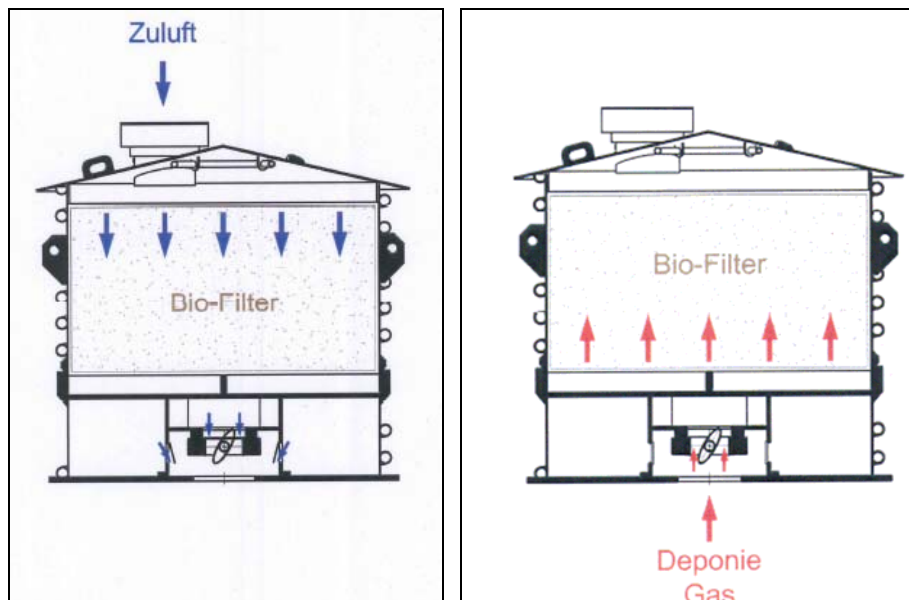


Abb. 27: Biofilter Prinzipskizze

7. Werkstoffentwicklung

Zu Beginn der Einsätze von PE-Rohren an Deponien gab es Werkstofftypen, die nach ihren Herstellungsverfahren benannt wurden. Anfang der 70er Jahre wurde diese Erstbezeichnung durch eine internationale Nomenklatur ersetzt. Hierbei war die Dichte das Unterscheidungskriterium.

NDPE – Niederdruckverfahren



Hart PE - 63



HDPE – high density Polyethylen



PEHD – PE80



PE100



PE-RC

Qualität für Rohre und Bauteile

HDPE – Hochdruckverfahren



Weich PE - 50



LDPE – low density Polyethylen



PE-LD

Qualität für Folien und Verpackungen

Bedingt durch die Entwicklung zur Kennzeichnung der Polyethylentypen ist die Bezeichnung PEHD fälschlicherweise für Rohre und Bauteile in Gebrauch. Die DIN 8075 fordert für PEHD keinerlei Langzeitwerte. In der SKZ-TÜV/LGA Güterrichtlinie wird für den PE-Werkstoff ein FNCT Wert > 1600 h gefordert. An die Fremdprüfer wird appelliert nicht nur die Dimension zu kontrollieren.

8. Zusammenfassung

Mit dem vorgetragenen „Blick zurück“ lassen sich die verschiedenen Entwicklungsstufen nur teilweise erkennen. Für alle angesprochenen Bereiche haben die gewachsenen Erkenntnisse zur rechnerischen Auslegung, die Verbesserung der Schweißverfahren und vor allem die Qualitätssteigerung der Formmassen und der Halbzeuge zu einem sehr hohen Qualitätsstandard geführt. Die Forderung nach einer Lebenserwartung von mindestens 100 Jahren wird für die Beherrschung der Stoffströme in Deponien erfüllt und dennoch ist bei diesen speziellen Anwendungen mit weiteren Innovationen zu rechnen.

Quellen- und Literaturverzeichnis

- [1] DIN 4266 -1 Sickerrohre für Deponien – Teil 1: Sickerrohre aus PE und PP“, Stand Nov. 2011
- [2] Div. Patentanmeldungen: -Drossbach aus 1993: Dreischicht Korrugatorrohr
- Niederberg Chemie 1988: Rohrausführung mit
- KDB Anbindung
- 1991: Auszug von Rohranbindungen
- 1995: Durchdringung
- März 1991: 3-Schicht-PE-Bahn
- [3] DIN 16961 Rohre und Formstücke aus thermoplastischen Kunststoffen mit profilierter Wandung und glatter Rohinnenfläche, Stand März 2010
- [4] DIN 8074/75 Rohre aus Polyethylen (PE) – PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD – Maße/Allgemeine Güteanforderungen, Prüfungen, Stand Aug. 1999
- [5] Schulz/Schicketanz: 2. Arbeitstagung BAM 1993
- [6] DIN 19667 Dränung von Deponien; Planung, Bauausführung und Betrieb, Stand Okt. 2009
- [7] Ph. Frank: Veröffentlichung der Zeitschrift „Entsorgungstechnik“ 1/93
- [8] Bräcker, Schlütter, Dr. Sänger: Veröffentlichung der Zeitschrift Bautechnik, 1994, Heft 5)
- [9] SKZ/TÜV-LGA Güterrichtlinie: Rohre, Rohrleitungsteile, Schächte und Bauteile in Deponien, Juni 2010
- [10] Ph. Frank: Entwässerung und Entgasung von Deponien, Vortrag zur Deponietagung TA Esslingen 1986
- [11] WHG (Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts – Wasserhaushaltsgesetz) v. 31. Juli 2009: Kapitel 3: Besondere Wasserwirtschaftliche Bestimmungen, §§ 62, 63
- [12] VAUwS (Verordnung über Anlagen zum Umgang mit Wassergefährdenden Stoffen) Entwurf vom 27.01.2012: § 37 Besondere Anforderungen für Biogasanlagen mit Gärsubstraten landwirtschaftlicher Herkunft.
- [13] Tabasaran: Überlegungen zum Problem Deponiegas, Müll + Abfall, 07/1976
- [14] Ph. Frank: Gasanfall in Mülldeponien, deren Fassung und Verwertung, Vortrag zum Symposium Mülldeponie und Umwelt, Kaiserslautern 1988
- [15] Hr. Timmermans von Trisoplast: Verfahren zum nachträglichen Eindrücken flexibler Dränelemente über eine Lanze in den Müllkörper. (Anlässlich der SKZ Tagung „Die sichere Deponie“ 2012)

