

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 107 (1989)
Heft: 12

Artikel: Deponiesickerwasser-Reinigung
Autor: Ritz, Walter K.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-77074>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Deponiesickerwasser-Reinigung

Die verschärfte Handhabung gesetzlicher Bestimmungen wird dazu führen, dass Deponiesickerwässer ohne Vorbehandlung nicht mehr abgeleitet werden dürfen. Diese Anforderungen rufen nach Verfahren, die zu einer Neukonzeption der Sickerwasserreinigung führen.

Entstehung von Deponiesickerwasser

Auf jeder Mülldeponie entsteht Sickerwasser. Es handelt sich dabei um von der Deponie nicht aufgenommenes,

VON WALTER K. RITZ,
UTTINGEN

überschüssiges Wasser aus Niederschlägen und in den Deponiekörper eindringendes Oberflächen- und Grundwasser.

Solche Sickerwasserbildung kann durch geeignete Abdichtungsmassnahmen stark reduziert werden. Eine vollständige Abdichtung gegen Niederschläge ist jedoch nicht erwünscht, da für den biochemischen Abbau der Abfälle Feuchtigkeit notwendig ist.

Das Sickerwasser wird über ein Dränagesystem erfasst und in der Regel kommunalen biologischen Kläranlagen zugeführt oder direkt in Vorfluter abgeleitet. Nur in Einzelfällen erfolgt eine Vorbehandlung zur Vermeidung von Gerüchen und zur Neutralisation und Abtrennung von Schwermetallen und anderen ungelösten Stoffen.

Sickerwasserbeschaffenheit

Deponiesickerwässer sind in bezug auf die Inhaltstoffe und deren Konzentrationen sehr unterschiedlich und innerhalb grösserer Bandbreiten schwankend. Die löslichen Stoffe aus den Abfällen und solche aus biochemischen Umsetzungsprozessen werden vom durchsickernden Wasser aufgenommen und ausgeschwemmt.

Die Belastung des Sickerwassers hängt zudem von der Zusammensetzung des Abfalls, vom Alter, der Betriebsweise und den hydraulischen Gegebenheiten einer Deponie ab. Nach Abklingen der anfänglich aeroben Vorgänge bildet sich ein anaerobes Milieu, in dem die organische Belastung des Sickerwassers drastisch reduziert wird (es bilden sich Methan und Kohlendioxid). Durch gleichzeitige Änderung des pH-Wertes

ändern sich auch die Löslichkeiten der anorganischen Stoffe. Das Sickerwasser ist aus der ersten Deponiephase hoch organisch, in der nachfolgenden Phase jedoch stark anorganisch belastet (Bild 1). Ein Abbau solcher anorganischen Schadstoffe wie z.B. Chloride, Schwermetalle, Nitrate, Sulfate, ist in biologischen Kläranlagen nur bedingt möglich.

Anforderungen an die Sickerwasserbehandlung

Die grossräumige und unkontrollierbare Verteilung solcher Stoffe über den Ablauf der Kläranlagen oder gar Vorfluter ist aus ökologischer Sicht nicht mehr vertretbar. Bei den meisten Deponien wird dies zu einer Neukonzeption der Sickerwasserbehandlung führen, sei es als Vorbehandlung oder als Vollreinigung. Die Reinigung hat im wesentlichen die folgenden Schadstofffrachten auf die örtlichen Einleitbedingungen zu reduzieren:

- die organische Belastung (BSB⁵, CSB)
- Stickstoffverbindungen (NH₄⁺, NO₂)
- Schwermetalle
- halogenorganische Verbindungen (AOX).

Verfahren zur Reinigung von Sickerwasser

Die verfügbaren Verfahren zur Reinigung von Sickerwasser werden nachfolgend kurz beschrieben. Sie haben grundsätzlich einzeln oder kombiniert folgende Bedingungen zu erfüllen:

- keine zusätzliche Beeinträchtigung der Umwelt
- keine Emissionsverlagerungen (Rückstände)
- Abbau der Schadstoffe entsprechend den Erfordernissen
- hohe Verfügbarkeit (Betriebssicherheit)
- Kostenfreundlichkeit.

Vergleicht man die spezifischen Aufbereitungskosten der verschiedenen Verfahren, sind erhebliche Unterschiede feststellbar. Es wäre jedoch falsch, den

Kosten bei der Verfahrenswahl erste Priorität zuzuordnen.

Biologische Verfahren

Bei Sickerwässern aus der sauren Phase des Deponiekörpers lässt sich eine starke Verminderung der organischen Belastung (BSB₅) mit aerobisch-biologischen Verfahren erzielen. Der BSB₅ kann naturgemäss bei Sickerwässern aus der «Methan-Phase» nur gering abgebaut werden. In der Regel liegt in diesen Fällen das Hauptgewicht der biologischen Reinigung bei der Oxidation von Stickstoffverbindungen (Nitrifikation).

Belüftete Teiche

Für den gezielten Abbau organischer Substanzen eignen sich belüftete Teiche im Freien wegen der starken Auskühlung im Winterbetrieb in der Regel nicht. Erzielt wird eine gute Geruchsminderung des Sickerwassers, eine stabile Nitrifikation ist jedoch nicht gewährleistet.

Belebungsanlagen

Belebungsverfahren zur Reinigung von Sickerwässern lassen sich nur bedingt einsetzen. Die Elimination organischer Stoffe und von Stickstoffverbindungen ist unter bestimmten Bedingungen befriedigend. Zur Aufrechterhaltung eines guten Wirkungsgrades und eines sicheren Betriebes sind folgende Voraussetzungen notwendig:

- die Belüftungssysteme dürfen nicht schlamm- und verkrustungsanfällig sein;
- eine Auskühlung unter 10 °C im Winter ist zu vermeiden;
- Möglichkeit zur Dosierung verschiedener Chemikalien;
- Möglichkeit zur Schaumbekämpfung durch Besprühen oder Zudosieren von Entschäumern.

Festbettanlagen

Tauchtropfkörper-Anlagen eignen sich gut zum Aufbau nitrifizierender Bakterien. Ihr Einsatz für Sickerwässer aus der Methanphase mit geringen organischen und hohen Stickstoff-Belastungen wird zurzeit in Kombination mit Umkehrosmose-Verfahren getestet.

Chemisch-physikalische Verfahren

Chemisch-physikalische Verfahren werden in der Regel in Kombination mit biologischen Verfahren zur Nachreinigung der biologischen Stufe eingesetzt.

Flockung/Fällung

Wegen der aufwendigen Verfahrensführung und der Reststoffproblematik kommen diese Verfahren zur Sickerwasserreinigung nur selten zur Anwendung. Im Vordergrund steht die Entfernung biologisch nicht abbaubarer organischer Reststoffe und die Reduktion von Schwermetallen.

Membrantrennverfahren

Zu den Membrantrennverfahren werden die Umkehrosmose und die Ultrafiltration gezählt.

Die *Ultrafiltration* basiert auf einem Siebverfahren. Die gelösten Stoffe mit hohem Molekulargewicht werden von den Membranen zurückgehalten, während Stoffe mit geringem Molekulargewicht zusammen mit dem Wasser die Membrane passieren. Der Arbeitsdruck beträgt 2 bis 10 bar. Eine Trennung verschiedener Substanzen ist mittels Einsatz verschiedener Membrantypen möglich, d.h. man kann durch Wahl der geeigneten Membrane den Aufbereitungseffekt der Ultrafiltration wählen. So liessen sich z.B. die organischen Anteile des Sickerwassers von den anorganischen abtrennen und die Reststoffe der beiden Phasen getrennt weiter aufkonzentrieren.

Der Einsatz einer Ultrafiltration zur Selektierung und Vorreinigung kann die nachgeschalteten Hauptreinigungsverfahren wesentlich entlasten und effektiver machen.

Mit der *Umkehrosmose* trennt man Wasser von allen anderen Stoffen einer Lösung ab, um entweder die Lösung zu konzentrieren oder weitgehend salzfreies Wasser herzustellen. Um den natürlichen osmotischen Druck zu überwinden, muss der Filtrationsdruck auf der Konzentratseite künstlich auf 40–45 bar erhöht werden.

Eine nähere Beschreibung des Umkehrosmose-Verfahrens mit seinen Vorteilen und der Problematik der Reststoff-Entsorgung erfolgt in nachfolgenden Kapiteln.

Weitere Verfahren

Zur Sickerwasserreinigung sind weitere Verfahren anwendbar:

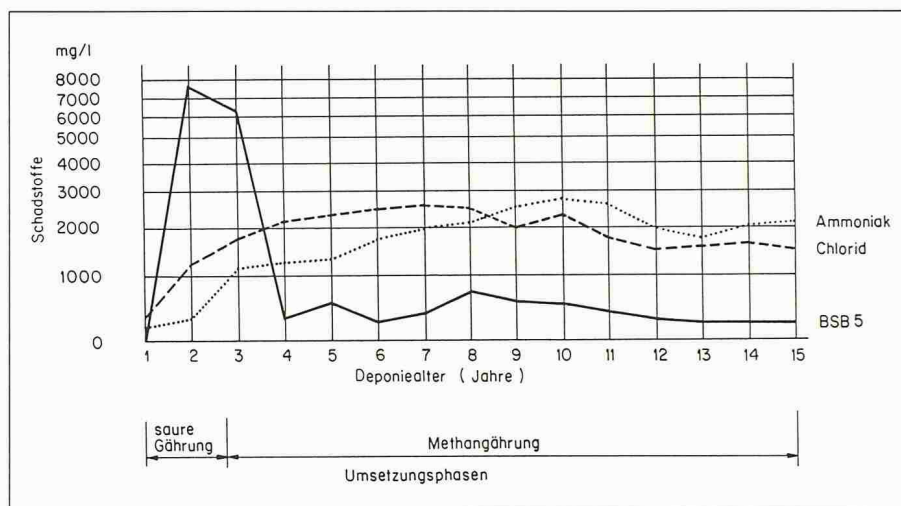


Bild 1. Sickerwasserbelastung

- Aktivkohleabsorption
- Verbrennung
- Eindampfung
- Chemische Oxidation
- Ionenaustausch.

Sie sind in Kombination mit anderen Verfahren interessant und zur Reinigung von Sickerwässern aus Sondermülldeponien oder von Reststoffen aus anderen Verfahren prüfenswert.

Reinigung von Deponiesickerwasser durch Umkehrosmose

Verfahren

Bei den zum Einsatz gelangenden semipermeablen Membranen handelt es sich um dünne Filterschichten aus Zelluloseazetat oder Polyamiden. Membranen werden in drei verschiedenen Ausführungen hergestellt und in den folgenden vier Modultypen eingesetzt:

- Flachmembranen als Wickelmodule oder Plattenmodule
- Hohlfasermembranen als Hohlfasermodule
- Tubularmembranen als Tubularmodule.

Die Wahl der geeigneten Module wird von der Verschmutzung des zu reinigenden Wassers und vom geforderten

Reinigungsgrad bestimmt. Zur Sickerwasserreinigung werden in der ersten Stufe Tubularmembranen und in einer zweiten Reinigungsstufe Wickelmodule eingesetzt.

Das Anforderungsprofil solcher Membranen ist:

- grosses Rückhaltevermögen
- gute Selektivität
- chemische Beständigkeit und bakterielle Resistenz
- hohes Durchflussvermögen (Durchflussgeschwindigkeit)
- hohe mechanische Festigkeit
- lange Lebensdauer
- geringe Kosten.

Der Aufbau einer *Rohrmembrane* (Bild 2) besteht aus einem rohrförmigen Träger aus Polyester-Fließstoff, auf dessen Innenseite eine Membranschicht aufgetragen ist. Diese Membranen werden in perforierte Stützrohre eingezogen. Sie sind auswechselbar.

Diese einzelnen Rohre werden bündelweise in Kunststoff- oder Edelstahlmodule zusammengefasst. Vorteile solcher Membranen:

- hohe Fließgeschwindigkeit
- geringe Verschmutzungsgefahren
- einfache Reinigung
- keine «toten» Ecken
- gutes Rückhaltevermögen gelöster und ungelöster Stoffe.

Beim *Wickelmodul* sind entsprechend der verlangten Leistung mehrere Mem-

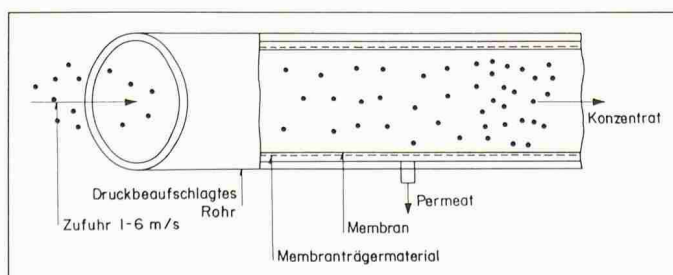


Bild 2. Rohrmembrane

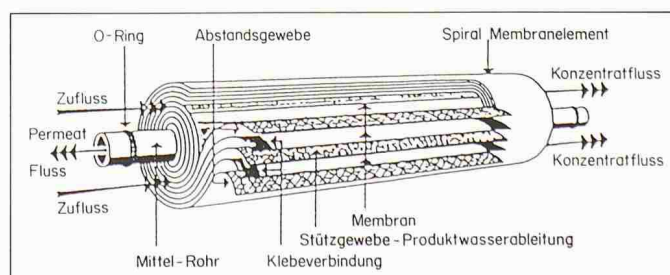


Bild 3. Wickelmodul

	Sickerwasser- zulauf Methanphase	1. Stufe		2. Stufe	
		Permeat	Reinigungs- leistung %	Permeat	Reinigungs- leistung %
Leitfähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$	15 000	1 500		15	
BSB5 mg/l	800	80	90	8	99,0
NH_4^+ mg/l	1 500	600	60	120	80,0
Chlorid mg/l	1 900	380	80	20	99,0
Sulfat mg/l	210	20	90	1	99,5
Schwermetalle mg/l	130	3	98	0,01	99,9
AOX mg/l	25	2	92	0,02	99,2

Tabelle 1. Reinigungsleistung

braneinheiten in ein Druckrohr eingebaut. Der eigentliche Membrankörper ist so konstruiert, dass Membranen und poröses Stützmaterial wechselweise aufeinandergeschichtet und spiralförmig um ein perforiertes Rohr aufgewickelt werden. Stützmaterial und Membranen sind an drei Seiten miteinander verschweisst. Das Konzentrat tritt auf der dem Rohwasserzulauf entgegengesetzten Seite aus. Das Permeat wird über die Stützschicht und das perforierte Rohr abgeführt (Bild 3).

Vorteile dieses Modultyps:

- kompakte Bauweise
- hohes Rückhaltevermögen gelöster und ungelöster Stoffe.

Reinigungsgrade und Rückhaltevermögen

Wie weit die Reinigung des Sickerwassers als Vorbehandlung zur Einleitung in eine öffentliche Kläranlage durchzuführen ist oder ob die Einleitbedingungen von Vorflutern erfüllt werden müssen, ist von Fall zu Fall festzulegen. Das Umkehrosmose-Verfahren kann individuell den Bedürfnissen durch Zuschalten weiterer Reinigungsstufen, mit oder ohne Nitrifikation, angepasst werden. In Tabelle 1 sind in einem Beispiel die erreichbaren Werte zusammengestellt. Daraus ist ersichtlich, dass die Ammonium-Konzentration (NH_4^+), im Gegensatz zu den anderen Verunreinigungen, immer noch über den Einleitbedingungen liegt.

Leistungsfähigkeit und Betriebssicherheit werden durch folgende Parameter der Prozessführung beeinflusst:

- Temperatur
- Druck
- Strömungsgeschwindigkeit an der Membranoberfläche
- Konzentration der Schadstoffe in der Anströmflüssigkeit
- pH-Wert.

Die enge Korrelation zwischen Sickerwasser, Permeat und Konzentrat erfordert eine auf die Betriebsverhältnisse abgestimmte Verfahrensweise. Mit steigender Konzentration sinkt gleichzeitig die Durchflussrate (Permeatstrom) und das Rückhaltevermögen (Schadstoffe der Membranen). Der Aufkonzentration der Abwasserinhaltsstoffe sind deshalb Grenzen gesetzt. Eine fünffache Aufkonzentration sollte nicht nur aus wirtschaftlichen, sondern auch aus technischen Gründen nicht überschritten werden, da sonst mit Verblockungen und Verkrustungen in der Anlage zu rechnen ist.

Entsorgung der Rückstände

Die Rückführung des Konzentrates auf den Deponiekörper ist heute eine gängige Methode zur Entsorgung der Reststoffe aus Membrantrennanlagen. Dabei gelangen etwa 20% des Sickerwassers (Konzentrat) mit 60–99% der Schadstoffe wieder an ihren Ausgangspunkt zurück. Das Konzentrat ist im Deponiekörper theoretisch folgenden Einflüssen unterworfen:

- Abbau der organischen Schadstoffe durch biochemische Prozesse
- Ausfällung anorganischer Schadstoffe durch Übersättigung und chemische Reaktion
- Speicherung von Konzentrat in Poren
- Durchlauf von Konzentrat.

Werden diese Stoffe in der Deponie nicht abgebaut, ausgefällt oder gespeichert, ist mit einer Konzentrationserhöhung im Sickerwasser zu rechnen. Zu erwarten wäre zudem durch die Konzentratrückgabe eine Sickerwasserabflusserhöhung. Tatsächlich wurden bei Anlagen, die seit mehreren Jahren in Betrieb sind, keine messbaren oder eindeutig auf der Konzentratrückführung beruhende Änderungen im Sickerwasser der Deponien festgestellt.

Dabei darf nicht ausser Betracht gelassen werden, dass diese Deponien durchweg folgende Merkmale aufweisen:

- das Speichervolumen ist nicht erschöpft;
- laufende Oberflächenabdichtung reduziert die Wassereinsickermengen aus Niederschlägen;
- der eingebrachte Müll wird gleichmässig und stark verdichtet;
- die Deponien sind immer noch in Betrieb.

Es ist zu erwarten, dass nach Erreichen der Speicherkapazität respektive nach Schliessung der Deponie kein Konzentrat mehr rückgeführt werden kann. Das System stellt somit eine zeitlich begrenzte Lösung für die Beseitigung der Reststoffe dar.

Zur Lösung dieser Rückstandproblematik müssen in Kombination mit Umkehrosmose-Anlagen, Eindampf- und Trocknungsanlagen eingesetzt werden. Damit wäre es möglich, ein minimales Reststoffvolumen herzustellen. Wünschenswert wäre zudem, frühzeitig die organischen und anorganischen Schadstoffe zu trennen, um so die Endkonzentrierung zu vereinfachen. Eine Immobilisierung oder Verwertung der Stoffe würde damit ebenfalls erleichtert.

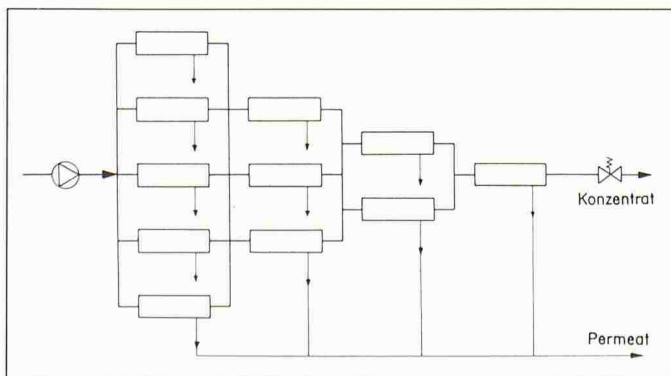


Bild 4. Reihenschaltung

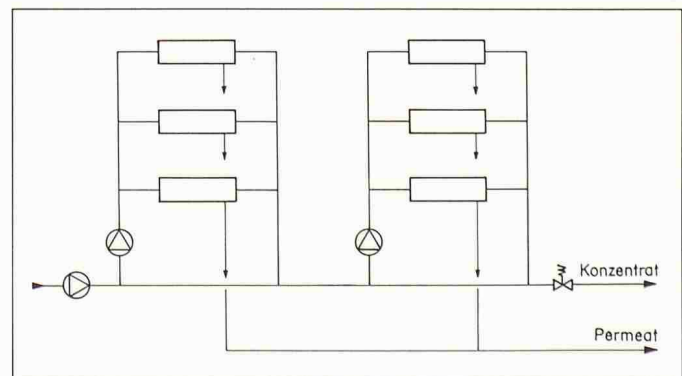


Bild 5. Rezirkulationsschaltung

Anlagen

Bei der Auslegung einer Membranfiltrationsanlage muss grundsätzlich zwischen zwei Systemen gewählt werden, der Reihenschaltung und der Rezirkulation.

Bei der *Reihenschaltung* durchfließt die zugeführte Flüssigkeit die Module nur einmal (Bild 4). Die parallel geschalteten Module nehmen vom Zulauf bis zur Konzentratsseite ab. Diese Bauweise gleicht bei ansteigender Konzentration die Volumenverringering aus.

Die Durchflussgeschwindigkeit ist an jeder Stelle im System etwa gleich. Die erreichbare Konzentration wird durch die Auslegung der Anlage bestimmt. Damit liegen jedoch einige sehr wichtige Prozessparameter fest und können bei quantitativen oder qualitativen Schwankungen des Zulaufs erhebliche Abweichungen vom idealen Zustand hervorrufen.

Im *Rezirkulationsverfahren* wird die zugeführte Flüssigkeit mehrfach im Kreislauf durch jede Stufe geführt (Bild 5). Ausser der üblichen Druckpumpe enthält dieses System eine Kreislaufröhre, welche optimale hydrodynamische Bedingungen an der Membranoberfläche, unabhängig der Schwankungen des Zulaufes, ermöglicht. Die Druckdifferenz über jede Stufe ist gering und erlaubt den Betrieb unter sehr niedrigem Druck, was bei der Reinigung von grosser Bedeutung ist.

Die Rezirkulationsanlagen werden meistens als mehrstufige Anlagen ausgelegt und wegen ihrer Flexibilität für die Sickerwasserreinigung bevorzugt.

Bei einer solchen Anlage wurde wegen der ausserordentlich hohen Anforderungen an den Reinigungsgrad (Vorfluterqualität) ein mehrstufiges Verfahren gewählt, bei dem zwei verschiedene Modultypen kombiniert sind (Bild 6).

Die erste Stufe ist mit Tubularmembranen ausgestattet, die alle Feststoffe und einen Grossteil der gelösten Stoffe abtrennt. Bei der zweiten Stufe, welche nicht der starken Verschmutzung des

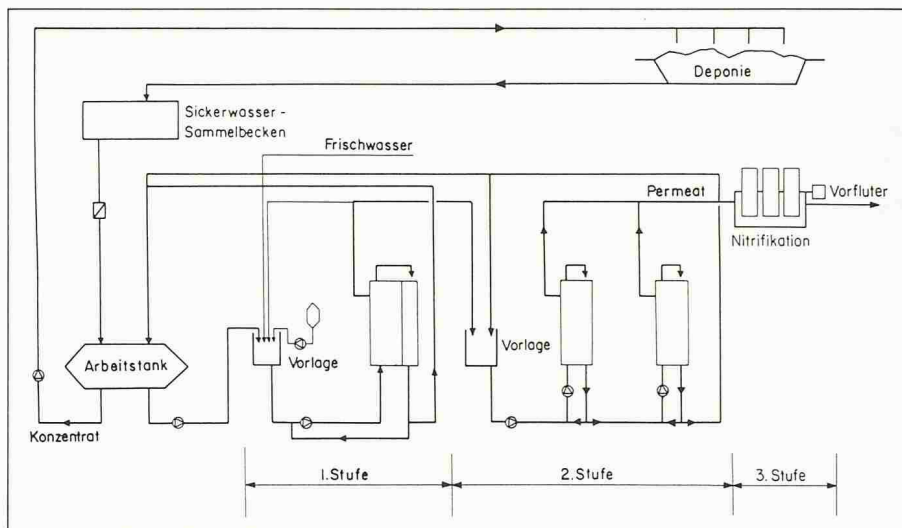


Bild 6. Schema Umkehrosmose-Anlage mit Nitrifikation

rohen Sickerwassers ausgesetzt ist, werden Flachmembranen (Wickelmodule) eingesetzt.

Sowohl die erste als auch die zweite Stufe sind Rezirkulationsstufen, in denen das Wasser unter genau beherrschten Verfahrensbedingungen (Druck, Durchflussgeschwindigkeit usw.) zirkuliert. Die gewählte Schaltung der unterschiedlichen Modulstufen bewirkt, dass die Konzentration von Anfang bis Ende einer Hauptstufe pro Modulstufe stetig zunimmt. Damit wird eine optimale Permeatqualität und ein hoher durchschnittlicher Permeatvolumenstrom erreicht. Durch Rezirkulation wird auf einfache Weise ein flexibles Verfahren realisiert, welches sich den schwankenden Zulaufmengen und den Konzentrationen anpassen kann.

In einer dritten Stufe, einer Tauchkörperanlage, erfolgt die Nitrifikation der restlichen Stickstoffverbindungen. Es werden bei Flächenbelastungen von 1–2 gN/m²/d Werte von NH₄-N < 3 mg/l erreicht.

Die Permeatqualität entspricht damit in jeder Beziehung den Einleitbedingungen für Vorfluter.

Das Konzentrat, etwa 20% des behandelten Sickerwassers, wird auf die Deponie zurückgeführt. Eine Aufbereitung ist zurzeit nicht notwendig. Als Option wird eine weitgehende thermische Volumenreduktion des Konzentrates vorgesehen.

Zusammenfassung

Die in grosser Bandbreite schwankenden und von Deponie zu Deponie un-

terschiedlichen Schadstoffe in Sickerwässern erfordern eine Reinigungstechnik, die in der Regel nur durch Kombination verschiedener Verfahren zum Erfolg führt. Bei der Auswahl der Verfahren darf die Problematik der Rückstandsbeseitigung nicht vernachlässigt werden, da alle Verfahren feste, flüssige und gasförmige Reststoffe produzieren.

Der technische und finanzielle Aufwand zur Aufarbeitung dieser Rückstände in «Reststoffdeponie-Qualität» ist gross.

Mehrere Verfahren werden derzeit verbessert und erprobt.

Die Membrantechnik in Kombination mit biologischer Teilreinigung ist ein erprobter Baustein in der Verfahrenskette zur Behandlung von Deponiesickerwässern.

Die Vorteile des Verfahrens sind:

- Das Sickerwasser kann trotz Feststoffanteilen ohne Vorbehandlung direkt der Anlage zugeführt werden;
- Das System ist flexibel gegenüber schwankenden Inhaltsstoffen und schwankenden Zulaufmengen;
- Mit der Aufkonzentration der Schadstoffe wird eine Volumenstromreduktion von etwa 80% erreicht;
- Kleiner Platz- und Raumbedarf.

Die Betriebskosten solcher Anlagen können durch Verstromung und/oder Nutzung der Wärmeenergie des vorhandenen Deponiegases gesenkt werden.

Literatur

Marquardt K.: Mülldeponie-Sickerwasseraufbereitung unter Anwendung der Membrantechnik. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft «Zeitgemässe Deponietechnik», 1986.

Roth J.: Kritische Betrachtung der Konzentratrückführung auf den Deponiekörper. Tagung Sickerwasserreinigung, D-Esslingen, 1988.

Adresse des Verfassers: W. K. Ritz, Ing. HTL, Büro für Kies + Abfall AG, Aabord 32, 3118 Uttingen.