

Umkehrosmose-Anlagen zur Reinigung von Deponiesickerwasser (Technik, Entsorgung, Contracting)

Dr. Alexander Thrun

TDL Energie GmbH, Emil-Dittmer-Straße 4, 24539 Neumünster

1 EINLEITUNG

Abwasser aus auf Deponien abgelagerten Abfällen, das sogenannte Deponiesickerwasser, ist meist zu stark verunreinigt, um es entweder in eine kommunale Kläranlage oder eine lokales Gewässer einzuleiten, siehe Anforderungen des Anhang 51 AbwV. Daher ist eine effektive Vorbehandlung dieses Wasser unabdingbar.

Aufgrund der komplexen Zusammensetzung (u.a. hohe CSB-Konzentrationen und hohe Leitfähigkeit) reichen herkömmliche Behandlungstechnologien meist nicht aus. Aufgrund der hohen Salzfrachten, u.a. aus Härtebildnern und Chloriden, entstehen Probleme für viele Anlagenkomponenten, chemische Prozesse sind hinsichtlich der hohen Pufferkapazität unwirtschaftlich und die wirksame Reduktion des Ammoniumstickstoffs erfordert ein hohes technologisches Know-How und Erfahrung im Betrieb von Wasseraufbereitungsanlagen.

Um Wasser mit indirekter oder direkter Einleitqualität nach Abwasserverordnung (AbwV, Anhang 51) zu erzeugen, ist vor allem das Verfahren der Umkehrosmose in den Vordergrund gerückt. Die Umkehrosmose (UO) ist ein rein physikalisches Trennverfahren, welches auf der Abtrennung von gelösten Feststoffen, Molekülen und sogar Salzen bzw. Ionen mithilfe semipermeabler Membranen basiert.

Die TDL Energie GmbH baut und betreiben erfolgreich seit mehreren Jahren Umkehrosmoseanlagen zur Behandlung und Aufbereitung von Deponiesickerwasser für Standorte in Deutschland, Europa, Afrika und Südamerika, wie z. B. Brasilien. Die Umkehrosmoseanlagen von TDL Energie zeichnen sich durch eine hohe Verfügbarkeit, Bedienerfreundlichkeit und einen ausgeprägten Automatisierungsgrad aus. Die Anlagen werden im TDL-eigenen Werk in Deutschland gefertigt und durch ein erfahrenes Ingenieurteam konzipiert, gebaut und vor Ort errichtet und in Betrieb genommen. Die

Umkehrosmose-Anlagen können als modular aufgebaute Containereinheiten oder fest installiert als Skid-Anlage in einer Halle geliefert werden. Die Standardgröße einer modularen containerisierten UO-Anlage hat eine Spannbreite zwischen 30 m³/d und 300 m³/d Zulaufmenge. Aufgrund der flexiblen Größen und Ausstattungen der UO-Anlagencontainer können die Anlagen sinkenden oder steigendem Sickerwasseranfall kostengünstig und zügig angepasst werden.

2 DAS UMKEHROSMOSE-VERFAHREN

Die Umkehrosmose bedient sich der physikalischen Trennwirkung einer semipermeablen (halbdurchlässigen) Membran, welche zwei (wässrige) Phasen mit gelösten Stoffen voneinander trennt.

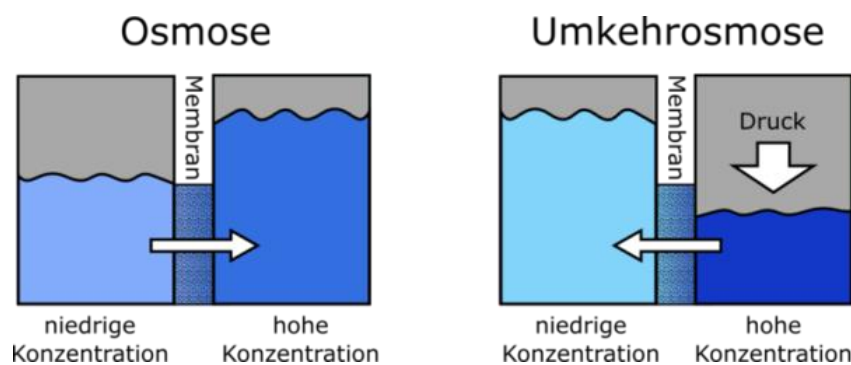


Abb. 1: Schematische Darstellung der unterschiedlichen Mechanismen von Osmose und Umkehrosmose.

Wird auf die höher konzentrierte Phase ein äußerer Druck angelegt, welcher den osmotischen Druck der Lösung übersteigt, lässt sich der bekannte Vorgang der Osmose umkehren. Das Wasser dringt durch die Membran und wird als Permeat bezeichnet, zurück bleibt eine Lösung mit hoher Konzentration und geringem Volumen, das sogenannte Konzentrat (s. Abb. 1 rechts).

Eine Umkehrosmoseanlage besteht daher im Wesentlichen aus einer Hochdruckpumpe, der Membran und einem Druckregelventil. Der Betriebsdruck erreicht bei einer Umkehrosmose bis zu 100 bar, je nach Zusammensetzung des Sickerwassers. Die Strömungsgeschwindigkeit tangential zur Membran ist so hoch gewählt, dass sich eine turbulente Strömung ausbildet, welche die sich im Laufe der Zeit ausbildende Schicht an

Konzentrat auf der Membranoberfläche (Konzentrationspolarisation) wieder ablöst. Ohne diesen Vorgang würde durch die Zunahme der Deckschicht die Anlagenleistung im Laufe der Zeit beeinträchtigt werden.

3 KONZEPTE DER BEHANDLUNG VON SICKERWASSER MIT UMKEHROSMOSE

Die Umkehrosmoseanlage besteht, je nach Anforderungen an das gereinigte Abwasser, aus mehreren Stufen, die permeatseitig in Serie geschaltet sind (s. Abb. 2). Am Eintritt in die Anlage fließt das Sickerwasser in den anlageninternen Vorlagebehälter. Aus dem Vorlagebehälter wird es mit der sogenannten Vordruckpumpe über eine zweifache Vorfiltration zur Hochdruckpumpe gefördert. Die Vorfiltration besteht aus einer Kiesfiltration mit nachgeschalteter Feinfilterstation, um mögliche feste Bestandteile zu eliminieren. Die Hochdruckpumpe bringt das Sickerwasser auf den erforderlichen Systemdruck. Zur pH-Wert-Einstellung wird vor der Anlage Schwefelsäure mit einer Dosierpumpe in das zu reinigende Rohsickerwasser eindosiert. Die Hochdruckpumpe bringt das Sickerwasser auf den erforderlichen Systemdruck. Zur pH-Wert-Einstellung wird vor der Anlage Schwefelsäure mit einer Dosierpumpe in das zu reinigende Rohsickerwasser eindosiert.

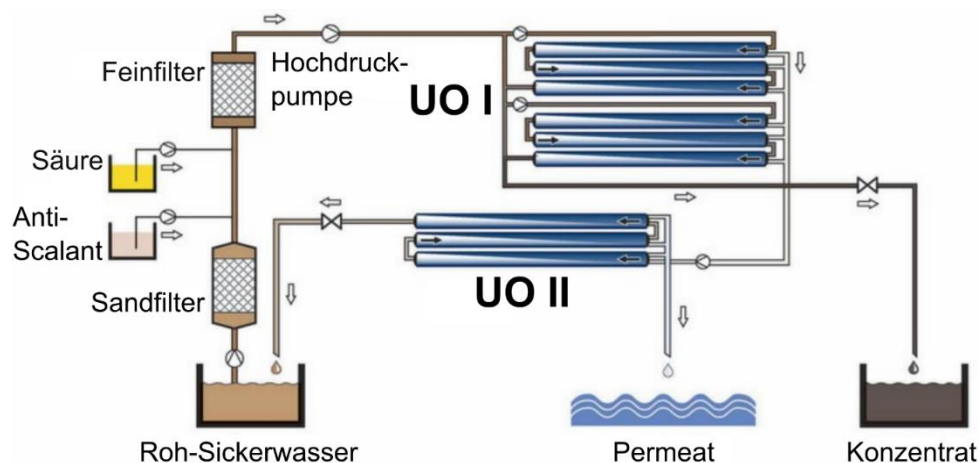


Abb. 2: Schematische Darstellung der Deponiesickerwasserbehandlung mit einer zweistufigen Umkehrosmose-Anlage und Kreislaufführung des Konzentrats aus der zweiten Stufe.

Die erste Stufe der Membrananlage besteht aus einem Block, welcher sich aus mehreren parallelen Druckrohren mit den Membranelementen, einer Rezirkulationspumpe, der Messtechnik und den dazugehörigen Armaturen zusammensetzt.

Anschließend wird das Sickerwasser mit einem Normaldruck von bis zu 80 bar in die erste Stufe gepumpt. Hier wird das Sickerwasser mit dem Kreislaufstrom vermischt und wird durch die Rezirkulationspumpe den Wickelelementen in den parallelen Druckrohren zugeführt. In diesen Wickelelementen wird ein Teil des Wassers separiert und als Permeat bezeichnet, der Rest wird als Konzentrat bezeichnet.

Der hohe Anlagendruck ergibt sich aus daraus, dass sowohl viele Teilchen im Wasser gelöst sind, also der osmotische Druck sehr hoch ist, als auch eine Erhöhung des Anlagendrucks die Ausbeute an Permeat erhöht. Dies wiederum hat zur Folge, dass die zu entsorgende Konzentratmenge minimiert wird.

Das Permeat wird anschließend gesammelt und der ähnlich arbeitenden Stufe 2 zugeführt. Hier beträgt der Anlagendruck noch maximal 30 bar, da sich der größte Teil der gelösten Teilchen bereits im Konzentrat befindet. Mehrstufige, permeat-gestufte Anlagen werden eingesetzt, um das Permeat weiter aufzureinigen und die Einleitkriterien, vor allem für Verunreinigungen wie Ammonium-Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$), einzuhalten.

Ein Teil des Konzentrates fließt durch das Durchflussmessgerät und das Regelventil in den Konzentratspeicher. Das Regelventil stellt den vorgegebenen Konzentratfluss und damit den Druck in der Stufe ein. Der Rest des Konzentrates dient zur Vermischung mit dem Einlauf und wird in den Kreislauf zurückgeführt, ähnlich einem feed-and-bleed-System.

Je nach Zusammensetzung des Sickerwassers und Anzahl der benötigten Stufen lassen können mehr als 99% der CSB-Konzentration und mehr als 98% des Ammonium-Stickstoffs zurückgehalten werden, sodass die Werte im Ablauf weit unterhalb der geforderten Einleitbedingungen liegen (s. Tab.1). Aufgrund des hohen Drucks in der ersten und zweiten Stufe lässt sich ein hoher Konzentrierungsfaktor erreichen und damit eine geringe Menge an Konzentrat. Die Kombination mehrerer Stufen zusammen mit dem hohen Druck in der ersten und zweiten Stufe stellt somit die optimale Betriebsweise der Umkehrosmose in Hinblick auf Entsorgungskosten und Einleitkriterien dar.

Tab. 1: Zulauf- und Ablaufwerte bezogen auf das Permeat einer zweistufigen UO-Anlage am Beispiel der Deponie „Alte Scheune“, Olpe.

	Zulauf	Ablauf	Reduktion
Wassermenge	150 m ³ /d	120 m ³ /d (Permeat)	80%
CSB	2.550 mg/l	15 mg/l	>99%
NH ₄ -N	1.500 mg/l	17 mg/l	>98%
Leitfähigkeit	10.000 µS	450 µS	>95%

Die containerisierte Umkehrosroseanlage zeichnet sich durch eine hohe zeitliche Verfügbarkeit, geringe Investitionskosten und einen hohen Automatisierungsgrad aus. Der Personalbedarf für den Betrieb vor Ort ist gering und durch die Einwahlmöglichkeiten durch Fernüberwachung ist ein Fahren der Anlagen, auch ohne, dass Personal jederzeit vor Ort sein muss, möglich.



Abb. 3: Umkehrosroseanlage (max.160 m³/d) auf der Deponie „Alte Scheune“ in Deutschland inkl. Strip-Turm und Säurespeicher-Tank.

4 KONZENTRATENTSORGUNG

Das bei dem Betrieb der Umkehrosmoseanlage entstandene Sickerwasserkonzentrat enthält nahezu alle Schadstoffe des Deponiesickerwassers und muss daher extern entsorgt werden. Als Entsorgungsberechtigte unterstützt TDL Energie in Zusammenarbeit mit externen Partnern den Kunden dabei, für deutsche Standorte Entsorgungswege aufzuzeigen und die Konzentratentsorgung durchzuführen. Eine Entsorgungsmöglichkeit ist hier z. B. die Entsorgung des Konzentrats über Müllverbrennungsanlagen.

Um die Permeatqualität der Umkehrosmose weiter zu erhöhen, kann die Umkehrosmoseanlage durch zusätzliche Stufen erweitert werden. Zur weiteren Volumenreduktion des Konzentrats kann eine zusätzliche Konzentratanlage zur Volumenreduktion eingesetzt werden. Hierbei müssen aber die zusätzliche Investition, die zusätzlichen Betriebskosten und die evtl. höheren Konzentratentsorgungskosten gegen die Einsparungen bei den Transportkosten des Konzentrats gerechnet werden. Je geringer die Konzentratmenge, umso geringer die Transportkosten.

5 CONTRACTING

Aufgrund der Stilllegung der meisten Deponien in Deutschland und der damit verbundenen Nachsorgeverpflichtung von kommunalen und privaten Deponiebetreibern ändern sich die Sickerwassermengen und -qualitäten im Laufe der Nachsorgephase und damit auch die Anforderungen an die Anlagentechnik.

Umkehrosmoseanlagen können in beliebiger Größe und Ausstattung an die veränderten Gegebenheiten vor Ort angepasst werden. Auch bei Umbau- und Anpassungsarbeiten der Bestandstechnik bietet die Umkehrosmostechnik eine Möglichkeit der temporären Lösung. Die TDL Energie bietet je nach Situation vor Ort verschiedene Contracting-Modelle an.

5.1 Miete

Containerisierte Umkehrosmoseanlagen werden in der Größenordnung von 30 m³/d bis 300 m³/d gebaut. Diese Anlagen können aufgrund ihrer Plug- and-Play-Technik unkompliziert vor Ort aufgestellt werden und sind innerhalb weniger Tage betriebsbereit.

Sie bieten sich insbesondere an, wenn sich, z. B. durch Umbauarbeiten auf der Deponie, Sickerwassermehrmengen ergeben, die zügig abgearbeitet werden sollen.

Das geschulte Wartungs- und Servicepersonal ist für die Wartungen und Reparaturen der vermieteten Anlagen verantwortlich inkl. Bereitstellung der erforderlichen Ersatzteile. Durch die eingesetzte Fernüberwachung können die Mitarbeiter auf Störungen im Anlagenbetrieb zügig reagieren. Der Kunde vor Ort ist lediglich für die Versorgung der Anlagen mit Verbrauchsstoffen und Chemikalien verantwortlich und führt die täglichen Betriebsführungsaufgaben der Anlage durch.

Auf der Deponie „Vereinigte Ville“ vermietet TDL Energie 1-2 Umkehrosmoseanlagen (je 200 m³/d) für den Zeitraum der Erweiterung der bestehenden Membranbioreaktoranlage.

5.2 Betreiber- und Betriebsführungsmodelle

5.2.1 Betreibermodell

Betreibermodelle für Deponiesickerwasserbehandlung unterscheiden sich anhand der eingesetzten Technik, der Aufgaben vor Ort und der Abrechnung. Individuell auf Basis der Deponiesickerwasseranalyse und der anfallenden jährlichen Deponiesickerwassermenge können entweder eine Umkehrosmose- oder Membranbiologieanlage eingesetzt werden.

Grundsätzlich verbleibt beim Betreibermodell die Anlagentechnik während der Vertragsdauer im Eigentum der TDL Energie GmbH, die dann auch die Finanzierung und Errichtung der Anlagentechnik auf dem Deponiegelände sicherstellt. Der Betrieb der Anlage inkl. der Stellung des Personals, Reparaturen, Wartungen, Störungseinsätzen, Ersatz- und Verschleißteile, Verbrauchsstoffe, Chemikalien und der Konzentratentsorgung werden von TDL Energie auf eigenes Risiko durchgeführt. Für die Behandlung des Sickerwassers wird dem Kunden ein Entgelt in Abhängigkeit von der Deponiesickerwassermenge und -qualität in Abrechnung gestellt. Nach Beendigung des Vertrages wird die Anlage von TDL Energie von der Deponie entfernt, oder alternativ vom Kunden übernommen.

Das Betreibermodell bietet dem Kunden eine Reihe von Vorteilen: Der Anlagenbetrieb inkl. Konzentratentsorgung erfolgt aus einer Hand, dadurch verringern sich die Schnittstellen. Für den Betrieb der Anlagen muss der Deponiebetreiber kein zusätzliches Fachpersonal vorhalten. Das Betreiberpersonal von TDL Energie wird durch Schulungen und Lehrgänge weitergebildet. Der Anlagenbetrieb kann auch in der Urlaubszeit jederzeit durch weitere Mitarbeiter aus dem Mitarbeiterpool von TDL Energie sichergestellt werden. Durch die tägliche Fernüberwachung der Anlagen und den damit verbundenen Bereitschaftsdienst kann auf Störungen der Anlage jederzeit reagiert und Schäden an Umwelt und Menschen vermieden werden.

Zudem wird das Investitionsrisiko (z. B. Mehrkosten, Bauverzögerungen) inkl. aller Wartungen, Reparaturen und Instandhaltungen durch TDL Energie übernommen.

Ein typisches Betreibermodell ist die Umkehrosmoseanlage auf der Deponie „Alte Scheune“, Landkreis Olpe (150 m³/d). Diese Anlage wird von TDL Energie finanziert, gebaut und betrieben. Zusätzlich entsorgt TDL Energie die beim Betrieb der Umkehrosmoseanlage anfallenden Konzentrate.

5.2.1 Betriebsüberlassungs- und führungsmodell

Beim Betriebsüberlassungs- bzw. Betriebsführungsmodell **ist** der Kunde, also der kommunale oder private Deponiebetreiber, Eigentümer der je nach Einsatzzweck errichteten Deponiesickerwasserbehandlungsanlage. Der Betrieb inkl. Personal, Chemikalien, Ersatz- und Verschleißteile sowie bei Bedarf die Konzentratentsorgung werden durch TDL Energie übernommen. Die Stromversorgung und notwendige Genehmigungen werden durch den Kunden erbracht.

Ein typisches Beispiel für ein Betriebsführungsmodell ist das Projekt Deponie Scheinberg, in dem der Landkreis Lörrach Eigentümer einer Membranbiologieanlage ist und TDL Energie im Rahmen eines Betriebsführungsmodells die Anlage für den Landkreis Lörrach betreibt.

Als weiteres Beispiel für ein Betriebsführungsmodell ist die Umkehrosmoseanlage auf der Deponie Hamberg des Enzkreises (70 m³/d) zu nennen. Hier ist die Anlage im Eigentum des Enzkreises und TDL Energie betreibt die Anlage und ist für die Entsorgung der

Konzentrate verantwortlich. Das Permeat kann aufgrund der guten Reinigung über die Ortskanalisation abgeführt werden.

6 AUSBLICK

Aufgrund der immer stärker in den Fokus der Öffentlichkeit rückenden Belastung von Deponie- und Grundwässern mit poly- bzw. perfluorierten Verbindungen (PFCs), welche über herkömmliche Verfahrensschritte wie z.B. biologische oder Adsorptions-Verfahren nicht vollständig abgebaut oder zurückgehalten werden können, ist die TDL Energie GmbH aufgrund langjähriger Erfahrung auch für diese herausfordernde Aufgabe gerüstet.

Bekannte, großflächige PFC-Schadensfälle liegen beispielsweise im Landkreis Rastatt/Baden-Baden, im Bereich der Möhnetalsperre in Nordrhein-Westfalen und am Düsseldorfer Flughafen vor. Aktuell verfügbare Ansätze zur Sanierung von PFC-kontaminierten Böden und Wässern (z.B. Hochtemperaturverbrennung, Deponierung, Pump-and-Treat-Maßnahmen) sind ineffizient, teuer oder teilweise nicht nachhaltig. Daher besteht beträchtlicher Forschungsbedarf an neuen (kosten-)effizienten Sanierungsverfahren, welche TDL Energie als Partner des PerFluSan-Netzwerks im Rahmen eines vom BMWi geförderten Projekts entwickeln wird.

7 LITERATUR

<https://www.perflusan.net/>

V. Birke, T. Straßburger, S. Schroers, P. H. Leßlich, H. Burmeier, L. Vigelahn, T. Grummt, A. Eckhardt, 2019. Occurrence, Distribution, Analysis, Toxicology and Remediation of Perfluorinated Pollutants in Germany, CleanUp 2019.