

Literatur

[1] 5. Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz), Bonn 23.9.1986.
 [2] Allgemeine Verwaltungsvorschrift über Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer entsprechend § 7a WHG.
 [3] Neue Entwässerungssatzung, Mitteilung NWStGB 10/89, S. 180.
 [4] Lübke-Wolff, G.: Wasserrecht und kommunale Entwässerungssatzung. Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht (1989), S. 205.

[5] Lahl, U. und Zeschmar-Lahl, B.: Klärschlamm Entsorgung – die Spielregeln ändern. Korrespondenz Abwasser (1990) Nr. 2, S. 164–172.
 [6] Lahl, U., Hillebrand, W. und Wende, H.: Industrielle und gewerbliche Abwassereinleitungen in die öffentliche Kanalisation. Korrespondenz Abwasser (1991) Nr. 5, S. 614–623.
 [7] Diese Regelung wurde leider durch direkten Einfluß der Bielefelder Arbeitgeberverbände vor kurzem politisch aufgehoben.

(Manuskripteingang: 19.2.1991)

Eindampfung von Deponiesickerwässern

Ergebnisse und Tendenzen

661 76116

Hilmar Tiefel und Konrad Leonhard

Schlagwörter: Abwasserbehandlung, Deponiesickerwasser, Eindampfung, Betriebsergebnisse

Seit 1986 ist die erste großtechnische Eindampfungsanlage für Deponiesickerwässer beim Zweckverband Sondermüll-Entsorgung Mittelfranken (ZVSMM) in Betrieb. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß mit der eingesetzten Verfahrenskombination aus Strippung und Eindampfung eine weitgehende Reinigung von hochbelasteten Sickerwässern möglich ist. Ein verstärkter Einsatz der Eindampftechnik insbesondere in Kombination mit Membrantechniken ist deshalb zukünftig für die Reinigung von Sickerwässern sowohl aus Hausmüll- als auch aus Sonderabfalldeponien zu erwarten. Bundesweit werden gegenwärtig mehrere mehrstufige Reinigungsanlagen mit Eindampf- und Stripptechnik geplant.

In 1986 a full-scale leachate evaporation plant with preceding vapour stripping was put into operation at the Zweckverband Sondermüll-Entsorgung Mittelfranken (ZVSMM) at Schwabach. The results show that the application of this process combination leads to a satisfying cleaning of hazardous leachates of special waste landfills. It is expected, that in future evaporation plants especially in combination with membrane processes will be increasingly used to purify leachates of normal and hazardous waste landfills. In the Federal Republic of Germany currently some multistage purification plants with evaporation and stripping are projected and under construction.

1. Einleitung

In den vergangenen zehn Jahren wurden für die Reinigung von Sickerwässern aus Sonderabfall- und Hausmülldeponien entscheidende Entwicklungsarbeiten geleistet. Mittlerweile gehören eine Reihe von Verfahren

Dipl.-Ing. Hilmar Tiefel, AKW Apparate + Verfahren GmbH Hirschau und Dr. rer. nat. Konrad Leonhard, Lehrstuhl und Prüfamt für Wassergütwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen, Garching.

der Sickerwasserbehandlung zum Stand der Technik. Da mit einem Verfahrensschritt die geforderten Reinigungsleistungen in der Regel nicht zu erreichen sind, müssen Verfahrenskombinationen eingesetzt werden.

In der neuen Rahmen-Abwasserverwaltungsvorschrift (Anhang 51) vom 8.9.1989 hat die Bundesregierung die in Tab. 1 genannten Einleitgrenzwerte für Deponiesik-

Tabelle 1. Einleitungsgrenzwerte für Deponiesickerwasser (Rahmen-Abwasser VwV: Anhang 51).

Parameter	Dimension	Grenzwert
Biochemischer Sauerstoffbedarf innerhalb von 5 Tagen	BSB ₅ mg/l	20
Chemischer Sauerstoffbedarf	CSB	
Direkteinleitung		
abhängig von der Sickerwasserkonzentration:		
< 4000 mg/l	mg/l	200
> 4000 mg/l	% Reduktion	95
Indirekteinleitung	mg/l	400*
Ammonium-Stickstoff	NH ₄ -N mg/l	50
Abfiltrierbare Stoffe	mg/l	20
Adsorbierbare organische Halogenkohlenwasserstoffe	AOX mg/l	0.5
Giftigkeit gegenüber Fischen als Verdünnungsfaktor	GF –	2
Quecksilber	Hg mg/l	0.05
Cadmium	Cd mg/l	0.1
Chrom	Cr mg/l	0.5
Nickel	Ni mg/l	0.5
Blei	Pb mg/l	0.5
Kupfer	Cu mg/l	0.5
Zink	Zn mg/l	2.0

* wird dieser Wert überschritten, so ist der CSB in der nachfolgenden biologischen Endbehandlung um weitere 75% zu reduzieren.

Sickerwasser Destillat Kristallisat Ammonsulfat



Bild 2. Sickerwasser und Produkte der Sickerwassereindampfung.

Tabelle 2. Sickerwasserzusammensetzung: Auswertung der Analysen aus den Wochenmischproben eines Jahres (nach saurem Aufschluß).

Parameter	Einheit	Durchschnitt	Minimum	Maximum
pH-Wert	-	8,90	7,85	9,98
Leitfähigkeit	µS/cm	64.486	18.000	132.000
CSB	mg/l	6.938	615	16.950
TOC	mg/l	1.950	77	6.970
Ammonium	mg/l	1.200	434	4.362
Phenol	mg/l	11,18	1,4	23,4
Kalzium	mg/l	294,9	10,5	1.923
Säurekapazität	mmol/l	81,90	29,0	168,0
Kohlenwasserstoffe	mg/l	41,96	1	169
Chlorid	mg/l	19.168	4.050	55.200
Fluorid	mg/l	214,0	20	1.356
Sulfat	mg/l	13.785	6.005	22.315
Cyanid	mg/l	0,53	0,07	1,9
Sulfid	mg/l	0,42	0,1	1,4
Cd	mg/l	0,27	0,03	1,4
Cr	mg/l	1,43	0,2	9,5
Cu	mg/l	5,29	0,07	142,9
Fe	mg/l	6,50	0,85	24,4
Hg	mg/l	0,99	0,03	10,1
Ni	mg/l	3,73	0,7	13,4
V	mg/l	121,3	33,8	317,1
Zn	mg/l	2,87	0,12	10,3
AOX*	mg/l	8,5	1,2	> 15
BSB ₅ *	mg/l	2.500	360	5.600

* Werte aus Stichproben ermittelt

Tabelle 3. Destillatanalysen (Mittelwerte eines Jahres).

Parameter	Einheit	Destillat	Einleitgrenzwerte nach AbVwV (Anhang 51) (vgl. Tabelle 1)
pH-Wert	-	10	-
Leitfähigkeit	µS/cm	160	-
CSB	mg/l	300	400 ²⁾
TOC	mg/l	75	-
Ammonium	mg/l	40	50 ³⁾
Phenol	mg/l	2,0	-
KW	mg/l	20	-
AOX	mg/l	0,2 ¹⁾	0,5 ⁴⁾
BSB ₅	mg/l	40 ¹⁾	20 ³⁾

¹⁾ Wert aus Stichproben ermittelt

³⁾ Direkteinleitung

²⁾ Indirekteinleitung

⁴⁾ Direkt- und Indirekteinleitung

weitgehend kondensiert und in einem Behälter mit halbkonzentrierter Schwefelsäure zu Ammonsulfat umgesetzt. Nach einer Spülung der Anlage wird diese Lösung gesondert eingedampft, wobei sauberes Ammonsulfat anfällt.

Für das Ammonsulfat gibt es mehrere Entsorgungswege:

- Verwendung als Fällmittel bei der Vanadiumherstellung und
- Verwertung nach entsprechender Vorreinigung als Düngemittel. Gegenwärtig wird dieses Salz bereits von der Düngemittelindustrie abgenommen.

Darüber hinaus erscheint der Einsatz des stark ammoniakhaltigen Stripperdestillates als Reduktionsmittel in einer Entstickungsanlage möglich.

3.2 Eindampfung des Sickerwassers

Das gestrippte Sickerwasser gelangt in die erste Stufe der im Gleichstrom betriebenen zweistufigen Verdampferanlage, deren Frischdampfbedarf durch die Sonderabfallverbrennungsanlage gedeckt wird. Das Mischdestillat aus der ersten und zweiten Verdampferstufe findet als Brauchwasser Verwendung. Mit einem Dekanter wird Kristallisat (TR ~ 80%) abgeschieden und in „big bags“ abgefüllt. Zur Zeit werden diese Säcke noch in speziellen Lehmlinsen der betriebseigenen Deponie eingebaut. Über die zukünftige Entsorgung dieser Kristallisate wurde bereits an anderer Stelle [8; 9] berichtet.

In Bild 2 sind Proben der unterschiedlichen Stoffströme (Sickerwasser, Destillat, Kristallisat und Ammonsulfat) der Eindampf- und Strippanlage abgebildet.

3.3 Betriebsergebnisse

Analysenergebnisse der Sickerwasser-Wochenmischproben und der Destillat-Tagesmischproben eines Jahres sind in den Tab. 2 und 3 aufgelistet. Trotz der hohen Konzentrationen an organischen und anorganischen Inhaltsstoffen können die geforderten Grenzwerte (vergleiche Tab. 1 und 3) weitgehend eingehalten werden. Für die Parameter Phenol, Ammonium und Kohlenwasserstoffe sind bei entsprechenden Betriebsparametern (z.B. Erhöhung des pH-Wertes und Dampfverbrauches) der Stripperkolonne und der Eindampfanlage noch deutlich bessere Destillatqualitäten zu erzielen.

Bild 3 gibt einen Überblick über die anlagenbezogenen Schadstoffpfade und deren Verbleib für den speziellen Fall der Eindampfanlage Schwabach [2]. Da die Konzentrationen der Inhaltsstoffe im Sickerwasser während eines Jahres deutlichen Schwankungen unterliegen, wurden für diese Art der Darstellung Jahresmittelwerte berechnet und eingetragen.

Während eines begleitenden Forschungsvorhabens konnte das Betriebsverhalten der Gesamtanlage und einzelner Anlagenteile geprüft werden. Im folgenden sind die hierbei gewonnenen Erfahrungen dargestellt. Die Verfügbarkeit der Eindampfanlage Schwabach lag

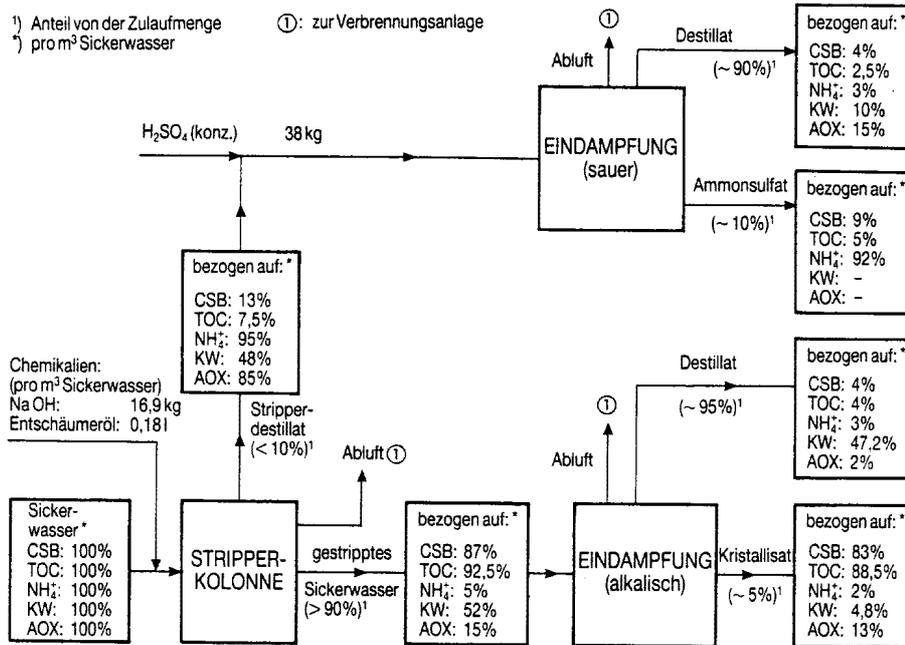


Bild 3. Zweistufige alkalische Sickerwassereindampfung mit vorgeschalteter Strippung.

bei rd. 80%. Als Hauptursachen für Unterbrechungen des Betriebes sind Reparaturmaßnahmen, z. B. an Pumpen, und Reinigungsstillstände aufgrund von Verkrustungen am Wärmetauscher der Verdampferstufe II zu nennen. Eine Verbesserung der Verfügbarkeit auf über 90% sollte jedoch möglich sein, wenn bei zukünftigen Planungen die Redundanz bestimmter Apparate (Pumpen) erhöht wird. Der Verkrostungsneigung in den Wärmetauscherrohren kann durch eine spezielle Wirbelschichttechnik ebenfalls begegnet werden. Zu dieser Thematik wurden in den letzten beiden Jahren an der Eindampfanlage Schwabach vielversprechende technische Versuche durchgeführt.

Der Einsatz eines Dekanters zur Kristallisatabtrennung hat sich im Falle Schwabach nicht bewährt. Die gelösten Sickerwasserinhaltsstoffe werden nicht ausreichend abgetrennt, sondern aufkonzentriert und führen dadurch zu verfahrenstechnischen Problemen. Besser geeignet sind die Verfahren der Wirbelschichttrocknung und Dünnschichtverdampfertechnik.

Die spezifischen Behandlungskosten liegen für die Eindampfanlage Schwabach bei 22 000 m³/a Durchsatz zwischen 70,- und 80,- DM/m³ Sickerwasser. Von dieser Summe entfallen bei einem kostenechten Frischdampfpreis von 20 DM/t und einem spezifischen Verbrauch von 0,66 t/m³ Sickerwasser nur etwa 13,20 DM/m³ oder ca. 20% der Gesamtkosten auf den Dampfverbrauch [1; 2]. Berücksichtigt man die Reststoffentsorgung unter Einbeziehung der Kosten einer untertägigen Deponierung des Eindampfkristallisates, dann sind spezifische Kosten von 100,- bis 110,- DM/m³ zu erwarten. Hierin noch nicht enthalten sind Ausgaben für die Abluftreinigung [2; 9].

Um die hohen Investitions- und Betriebskosten von Eindampfanlagen zu senken, wurden Verbundkonzepte zur Sickerwasserreinigung mehrerer Deponien vorge-

schlagen und entwickelt. Nach einer Vorreinigung (z. B. Biologie und Umkehrosiose) auf dem jeweiligen Deponiegelände gelangen die Sickerwasserkonzentrate und Reststoffe zu der zentralen Reinigungsanlage unter anderem mit den Verfahren Eindampfung und Strippung [10].

4. Zusammenfassung und Ausblick

Am Beispiel der Sickerwassereindampfanlage Schwabach konnte gezeigt werden, welche Reinigungsleistung mit diesem Verfahrenskonzept möglich ist. Selbst hochbelastete Sickerwässer aus Sonderabfalldeponien können soweit gereinigt werden, daß die vorgeschriebenen Einleitgrenzwerte einzuhalten sind. Aufgrund der guten Praxisergebnisse

und den Erfahrungen mit der Schwabacher Eindampfanlage werden gegenwärtig in der Bundesrepublik Deutschland mehrere Anlagen zur Sickerwasserreinigung geplant, die unter anderem eine Eindampf- und Strippstufe enthalten.

Hieraus ist ersichtlich, daß in Zukunft das Verfahren der Eindampfung verstärkt Anwendung finden wird. Zum einen sind immer mehr Umkehrosiosekonzentrate zu entsorgen, und zum anderen werden durch zusätzliche Verminderungs- und Vermeidungsstrategien Sickerwässer in immer konzentrierter Form anfallen. Die Anforderungen an eine fortschrittliche Reinigungsanlage für Deponiesickerwässer lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Ablaufqualität muß den gesetzlichen Einleitgrenzwerten entsprechen, das heißt Reinigung nach dem Stand der Technik.
- Minimierung der anfallenden Reststoffe und deren umweltschonende Entsorgung unter Berücksichtigung des Recyclinggedankens, zum Beispiel beladene Aktivkohle oder Ammonsulfatgewinnung.
- Die Möglichkeit der Schadstoffentfernung durch Zerstörung (z. B. Ozon/UV-Behandlung) oder Ausschleusung (z. B. von Ammonium) ist reinen Aufkonzentrierungsverfahren jedoch vorzuziehen.
- Einführung des Standes der Technik bei der Totalentsorgung von Sickerwässern einschließlich Reststoff- und Abluftbehandlung.
- Hohe Flexibilität der Einzelanlagen und des Anlagensystems, um so die wechselnden Sickerwassermengen und die Konzentrationsschwankungen ausgleichen zu können.
- Einführung regionaler Verbund- und Entsorgungssysteme, was zu einer Erhöhung der Entsorgungssicherheit und einer Kostenreduzierung führt.

Literatur

- [1] *Tiefel, H.*: Erfahrungen mit einer Betriebsanlage zur Eindampfung von Sickerwässern. Berichte aus Wassergütwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen der Technischen Universität München (1989), Nr. 86, S. 281.
- [2] *Tiefel, H., Leonhard, K. und Bischofsberger, W.*: Wissenschaftliche Begleitung des Vorhabens „Eindampfanlage zur Behandlung von Deponiesickerwässern beim Zweckverband Sondermüllplätze Mittelfranken“. Lehrstuhl für Wassergütwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen der Technischen Universität München, Schlußbericht (1989).
- [3] *Lemmer, F.*: Kombinierte chemisch-physikalische Verfahren zur Sickerwasserbehandlung. Berichte aus Wassergütwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen der Technischen Universität München (1989), Nr. 86, S. 305.
- [4] *Rudolph, K. U. und Köppke, K.-E.*: Leistungs- und Kostenvergleich von Deponiesickerwasserreinigungsanlagen nach dem derzeitigen Stand der Technik. BMFT-Statusbericht, Förderkennzeichen 02-WA 8721/9 (1988).
- [5] *Wilderer, P. A. und Rubio, M. A.*: Anwendung des Sequencing-Batch-Reactor-Verfahrens zur biologischen Reinigung gefährlicher Müllsickerwässer. Zweiter internationaler TNO/BMFT-Kongreß über Altlastensanierung, Hamburg (1988).
- [6] *Marquardt, K.*: Anwendung von Membranverfahren zur Sickerwasserbehandlung. 3. Fachgespräch Sondermüll – Chemisch-physikalische Behandlung von Sickerwasser. Berichte aus Wassergütwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen, Technische Universität München (1989), S. 189–230.
- [7] *Logemann, F. P. und Glas, H.*: Einsatz der Umkehrosmose bei der Sickerwasseraufbereitung. Entsorgungs-Praxis-Spezial, Nr. 2 (1990), S. 20–26.
- [8] *Tiefel, H.*: Entsorgung von Konzentraten und Kristallisaten aus der Sickerwassereindampfung. Deponie 3 – Ablagerung von Abfällen. EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin (1989), S. 683–710.
- [9] *Tiefel, H., Leonhard, K. und Bischofsberger, W.*: Aufarbeitung von Konzentraten aus der Eindampfung von Deponiesickerwässern. Lehrstuhl für Wassergütwirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen der Technischen Universität München, Schlußbericht (unveröffentlicht 1990). Im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz.
- [10] *Dahm, W., Kollbach, J. St. und Hövelmann, A.*: Verbundkonzepte: Sickerwasservorreinigung – zentrale Behandlung der anfallenden Konzentrate. Entsorgungs-Praxis-Spezial, Nr. 2 (1990), S. 35.

(Manuskripteingang: 21.12.1990)

Einsatz des Leuchtakterien- und Daphnien-Tests zur toxikologischen Bewertung von Grundwasser- und Bodenreinigung bei der Altlastensanierung

Hans-Joachim Scheibel, Peter Harborth, Elke Lang und Hans Helmut Hanert

Schlagwörter: Gewässergüte, Analytik, Ökotoxizitäts-Tests, Altlastensanierung, Metabolitenbildung

In dieser Arbeit werden zwei biologische Testverfahren (der Biolumineszenz- und der Daphnien-Test) zur Beurteilung der Giftwirkung von Altlasten (Boden und Grundwasser) beschrieben. An drei unterschiedlichen Schadensfällen (Industriestandorte) in der Bundesrepublik Deutschland wurden diese Ökotoxizitäts-Tests eingesetzt. Bei den Schadensfällen handelte es sich um ein ehemaliges Gaswerksgelände in Krefeld (Kohlenwasserstoffe/PAK), ein Chlororganika-kontaminiertes Gelände in Hamburg (Chloraromaten, Chlorphenole, HCH's) und ein aufgelassenes Industriegelände eines Lösemittel-Recycling-Betriebs in Braunschweig (aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe, CKW). Insgesamt konnten bei den drei Schadensfällen durch biologische Sanierungstechniken neben hohen Schadstoffabbauleistungen (z. T. über 90%) auch zugleich hohe Entgiftungsleistungen (z. T. über 90%) erreicht werden. Toxische Metaboliten wurden in keinem Schadensfall gebildet. Die angewandten Tests ermöglichen eine zusätzliche Definition eines Sanierungszieles, wobei im Zentrum dieser Definition nicht Grenzwerte von einzelnen Schadstoffen, sondern die Giftwirkung von Boden/Grundwasser bei Altlasten auf das Ökosystem steht.

Two biological tests are described for evaluating the toxicity of industrial contaminants to soil and groundwater (the bacterial bioluminescence and the Daphnia test). These ecotoxicological tests were applied to three industrial sites in the Federal Republic of Germany. These industrial sites were former gasworks in Krefeld (hydrocarbons/PAH), a site in Hamburg contaminated with chlorinated carbons (chloroaromatics, chlorophenols, HCH's) and the site of a solvent-recycling plant in Braunschweig (aliphatic and aromatic hydrocarbons, volatile hydrocarbons). In these three cases, by use of special biological cleaning methods, a high degree of degradation (in two cases over 90%) and high detoxification (in all three cases over 90%) was achieved. The tests facilitate a supplementary definition of remedial aims, in which not limiting of particular contaminants form the basis but rather the toxic effects of contaminated soil and groundwater on the ecosystem.

1. Einleitung

Da gegenwärtig von rd. 50 000 kontaminierten Standorten in der Bundesrepublik Deutschland ausgegangen werden kann [1] und ca. 60 000 Chemikalien im täglichen Gebrauch sind [2], ist eine toxikologische Beurtei-

Dipl.-Biol. Hans-Joachim Scheibel, Dr. Peter Harborth, Dr. Elke Lang und Prof. Dr. Hans Helmut Hanert, Institut für Mikrobiologie der Technischen Universität Braunschweig, Technische Ökologie.