**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria

**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

**Band:** 68 (1976)

**Heft:** 1

**Artikel:** Klärschlammentwässerung als Teil der gesamten Kläraufgabe betrachtet : Planungskriterien

**Autor:** Henseler, Georg

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-939272

**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:** 25.12.2025

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

# Klärschlammentwässerung als Teil der gesamten Kläraufgabe betrachtet Planungskriterien

DK 628.54

Georg Henseler

Der Klärschlamm fällt zum grössten Teil als Faulschlamm an. Im Landesmittel kann mit rund 28 kg TR/EJ (kg Trockenrückstand je Einwohner und Jahr) gerechnet werden. Bei einem Wassergehalt von 95 % entspricht das 560 kg Rohschlamm/EJ [1]. Durch Entwässern wird das Schlammvolumen auf etwa einen Sechstel vermindert.

In der Schweiz stehen bereits etwa 30 Entwässerungsanlagen in Betrieb. Da die Klärschlammentwässerung an Bedeutung gewinnt, müssen die vorhandenen Erfahrungen und Kenntnisse für laufende und zukünftige Projekte ausgewertet werden. Es soll hier versucht werden, dem planenden Ingenieur zu helfen, ökonomische und ökologische Forderungen zu sichten und zu beurteilen und die Ergebnisse in sein Projekt einzubauen. Um die Grenzen der Einflussmöglichkeiten auf ein Entwässerungsprojekt — von der Produktion bis zur Endlagerung — übersichtlich zu erfassen, muss etwas schematisch vorgegangen werden.

## 1. Problemstellung — Ursache und Ziel

Der grosse Wassergehalt des Klärschlammes erschwert seine Beseitigung. Da in der herkömmlichen Entsorgung Wasser als Transportmittel für Abfälle eingesetzt wird, ist dieser grosse Wassergehalt nicht zu vermeiden; er muss in Kauf genommen werden. Die Trennung des Wassers von den Feststoffen wird dadurch zur wichtigsten Aufgabe der Abwasserreinigungsanlage (ARA). Mit fortschreitender Entwicklung der Klärtechnik und ihrer breiteren Anwendung fallen von immer mehr angeschlossenen Einwohnern und Industriebetrieben bei stets grösser werdenden spezifischen Volumen rasch anwachsende Mengen von Klärschlamm an. Die schwindende Kulturlandfläche in Siedlungsnähe und verbreitete hygienische Bedenken gegen den Austrag des Klärschlammes führen zu Absatzstockungen.

Aus diesen Gründen drängen sich immer mehr die Konzentrationsverfahren als Alternative zum Nassaustrag auf. Wie weit mit der Konzentration des Klärschlammes gegangen werden soll, ist eine Frage des Masses. Die Restsubstanz soll nutzbringend verwendet oder abgelagert werden können, das Verfahren selbst soll wirtschaftlich sein und Randbedingungen der Oekologie müssen respektiert werden. Es handelt sich also um eine wirtschaftliche Optimierung bei gleichzeitigem Minimieren der ökologischen Lasten.

## 2. Abgrenzung des Problems — Ursache und Wirkung

Das Funktionsmodell Bild 1 zeigt die Beziehung der Schlammentwässerung zur gesamten Kläraufgabe. Es wird gezeigt, wo der Prozess durch Schutzmassnahmen beeinflusst werden kann. Bei der Klärschlammentwässerung soll die Restbelastung — das heisst die Wirkung auf Gewässer, Boden, Luft — mit kalkuliertem Risiko vermindert werden.

## 3. Planungskriterien

In den beiden Bildern 2 und 3 werden die wichtigsten Ueberlegungen für eine rationelle Klärschlammbehandlung schematisch dargestellt. Die ökologischen Ueberlegungen aus Bild 3 wurden übersichtshalber getrennt aufgeführt.

Die Klärschlammentwässerung kommt meist dorthin zu liegen, wo der Klärschlamm anfällt, das heisst zur Abwasserreinigungsanlage. Der entwässerte Klärschlamm kann allenfalls auch in einer zentralen Anlage vorteilhaft weiterbehandelt werden. Wirtschaftliche Ueberlegungen und ökologische Auswirkungen werden hier den Entscheid bestimmen.

Tabelle 1 gibt Erfahrungswerte für spezifische Schlamm-Mengen (ohne Schlamm aus Sandfängen und Oelabscheidern, die aus verfahrenstechnischen Gründen getrennt behandelt werden). Die Angaben beziehen sich auf das in der Schweiz übliche Mischkanalisationssystem und sind im einzelnen nachzuprüfen. Beim Nachfällungsverfahren ist mit einer zusätzlichen Trockenrückstand-Menge von rund 70 g/Einwohner und Tag zu rechnen. Weiterer Anfall ist bei gewissen Entwässerungsverfahren wegen der Zuschlagstoffe zu berücksichtigen.

Sind Standort und Frischschlammanfall einmal fürs erste festgelegt, können die Planungsarbeiten beginnen.

In einer ersten Planungsphase wird die Endunterbringung untersucht, die Siedlungsstruktur und die Umgebung der ARA studiert. Das reiche Angebot der verschiedenen Behandlungsstufen kann jetzt eingeschränkt werden: die Art der Endunterbringung und die Art des Geruchsrisikos führen dazu, bestimmte Verfahrensgruppen auszuscheiden.

### Die Endunterbringung

Je nach Herkunft und Trockenrückstandsgehalt enthält der Klärschlamm wechselnde Mengen an Nährstoffen [3]. Dient die Anwendung von Klärschlamm zur Verminderung der Kunstdüngerproduktion, wird neben dem wirtschaftlichen auch ein ökologischer Nutzen erzielt. Die Art der Unterbringung und die Berechnung des möglichen Klärschlammbedarfes soll zusammen mit den örtlich zuständigen Landwirtschaftsstellen erarbeitet werden. Da das Absatzgebiet selten gleich dem Einzugsgebiet der ARA ist, muss die mögliche Verflechtung mit benachbarten Absatzgebieten berücksichtigt werden. Als Alternative zum Nassaustrag auf Kulturland muss die Variante einer Deponie in Zusammenarbeit mit den kantonalen Gewässerschutzfachstellen in Erwägung gezogen werden.

Es bestehen grundsätzlich folgende Möglichkeiten der Endunterbringung [4]:

Im Pflanzenbau

- Nassaustrag des aerob oder anaerob stabilisierten Schlammes (flüssig)
- Austrag des entwässerten Schlammes (stichfest)
- Austrag des thermisch getrockneten Schlammes (pulverförmig)
- Austrag des im Müllkompost enthaltenen Schlammes
- Austrag des kompostierten Schlammes
- Austrag der Schlammasche.

In der Deponie

- Ablagerung des aerob oder anaerob stabilisierten Schlammes (Schlamm-Teiche, in der Schweiz nicht gebräuchlich)
- Ablagerung des entwässerten Schlammes, allein oder in Mischung mit anderen festen Abfällen (Misch-Deponie)

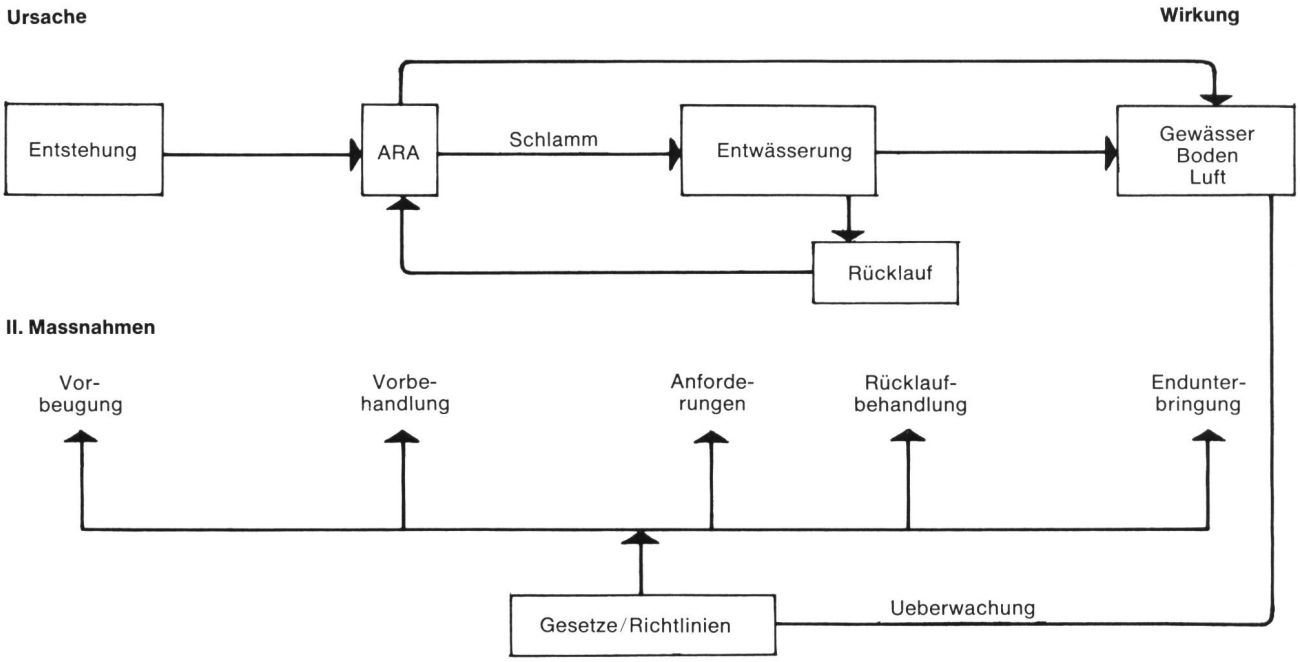



Bild 1 Funktionsmodell der Schlammentwässerung im Rahmen der gesamten Kläraufgabe.

Beeinflussung der Entstehung

Produktion: Sperrstellen an der Quelle, da hier die höchsten Konzentrationen vorliegen

Einleitung: Richtlinien betreffend unerwünschte Inhaltstoffe: Verschiebung auf langsame Kreisläufe

ARA: Art der Schlammvorbehandlung wie
— Stabilisierung zur Verminderung des Geruches und des Geruchsrisikos im Hinblick auf die Weiterbehandlung
— Eindickung unter Berücksichtigung des Rücklaufes

Beurteilung des Einflusses der Rückläufe auf ARA-Abscheidegrad; Beurteilung der Schlämme bezüglich Aufbau und den Wasserentzug (Kennwerte)

Art der Konditionierung zur Verbesserung der Entwässerbarkeit

Beeinflussung der Entwässerung

Planung: Richtiges Stellen der Anforderungen an das Verfahren unter Kenntnis der Betriebsparameter

Betrieb:
— Ermittlung der technischen Randbedingungen (z. B. langfristig gültige technische Mittelwerte)
— Erfassung wirtschaftlicher Betriebsbedingungen (z. B. durch passende Kontierung der einzelnen Tätigkeitsbereiche)
— Ueberwachung der Ein- und Ausgänge
— Rückführung stark belasteter Rückläufe

Beeinflussung der Endprodukte
— Getrennte Rücklaufbehandlung zur Verbesserung der Klärwirkung
— Weiterbehandlung des Dickstoffes, sofern dies durch Inhaltstoffe oder ökologische Ueberlegungen erforderlich wird.

Beeinflussung der Endunterbringung
— Risikoabwägung und Vorschriften bezüglich Art der Abwasserabgabe und der Endunterbringung des Schlammes in Landwirtschaft und/oder Deponie

— Ablagerung des getrockneten Schlammes, allein oder in Misch-Deponie
— Ablagerung der Schlammasche nach Verbrennung, allein oder in Misch-Deponie.

Das Geruchsrisiko

Das Geruchsrisiko schränkt die Wahl der Verfahren ein. Unerwünschte Gerüche entstehen bei nicht oder schlecht gefaultem Schlamm sowie beim Erwärmen und Faulen des Schlammes. Geruchsrisiken ergeben sich somit sowohl in der ARA selbst als auch beim Austrag. Je nach Lage der ARA sind somit gewisse Verfahrensstufen gegeben. Sollen beim Transport und bei der Unterbringung keine Geruchsrisiken eingegangen werden, wird mit Vorteil nur gut ausgefaulter oder auf 50 % oder mehr Trockenrückstand entwässerter Schlamm aus der ARA abgegeben.

Diese ersten Kriterien liefern Aussagen über die Art der Vorbehandlung des Schlammes und somit der Art des zu entwässernden Schlammes, den nötigen Entwässerungsgrad sowie über eine allfällige Weiterbehandlung des Dickstoffes.

Die folgende Verfahrensauswahl wird durch weitere Voraussetzungen wesentlich beeinflusst:

— Art der Endlagerung (Endwassergehalt)
— Platzangebot in der ARA
— Erfahrungen aus bereits in Betrieb stehenden Anlagen
— Zu erwartende Auslastung. Bei neuen Anlagen wird das vorgesehene Einzugsgebiet meist schrittweise angeschlossen, so dass der Schlammanfall nur langsam ansteigt. Es ist zu überlegen, welche Systeme sich entsprechend schrittweise erweitern lassen.

Das weitere Vorgehen zeigen die Bilder 2 und 3. Die Rückläufe (Dekantate, Filtrate, Zentrifugate, Wasch- und Spülwasser aus der Vorbehandlung und der Entwässerung) müssen im Rahmen des gesamten ARA-Projektes behandelt werden. Das nochmalige Durchlaufen der Klärstufen wird nötig, weil eine direkte Zuleitung des Rücklaufes zum Vorfluter diesen zu stark belasten würde.

Die Kosten der nach technologischen und ökologischen Gesichtspunkten im Vordergrund stehenden Verfahren müssen nun verglichen werden.

Die Jahreskosten errechnen sich aus den Kapital- und Betriebskosten. Die Kapitalkosten sind für die schlüsselfertigen Anlagen zu bestimmen. Für verfahrensbedingte Maschinen, Anlagen und Gebäude wird die Abschreibungsdauer in der Regel mit 15 Jahren festgelegt. Die Betriebskosten umfassen:

— Personalkosten (Löhne und Sozialkosten)
— Unterhaltskosten (Arbeiten durch nicht zur Anlage gehöriges Personal; Verschleiss- und Ersatzteile)
— Betriebsmittel (gemäss Verbrauchsgarantie, die über längere Betriebszeit nachzuprüfen ist)
— Kosten bei nötiger Rücklaufbehandlung
— Kosten der Endunterbringung (Stapelung, Transport, Austrag, Deponie).

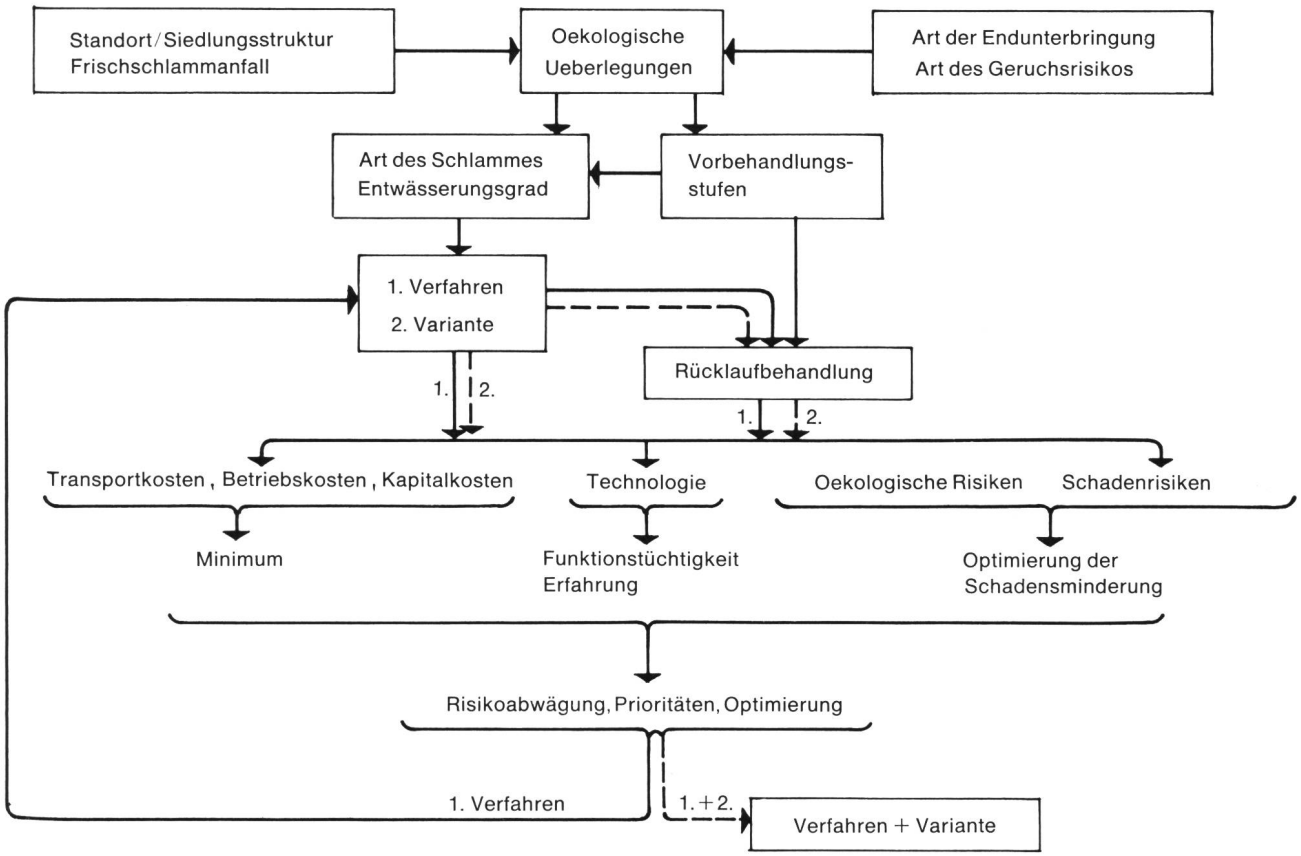



Bild 2 Schema der Ueberlegungen für die rationelle Klärschlammbehandlung.

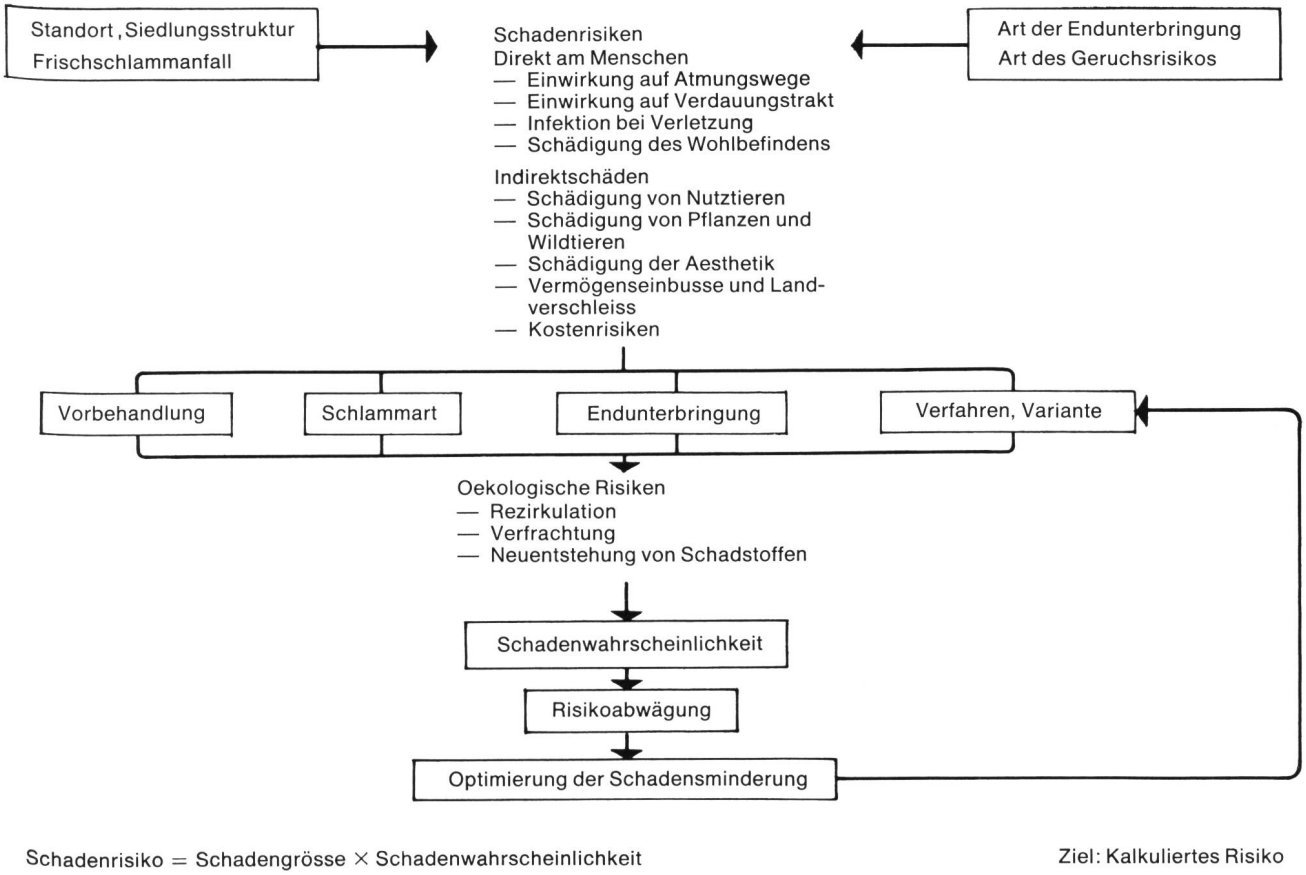



Bild 3 Schema der ökologischen Ueberlegungen für die Optimierung der Schadensminderung.

Das Verfahren wird so nach optimalem wirtschaftlich-technischem Aufwand und kleinstem ökologischen Schaden gewählt.

## 4. Die Technik des Wasserentzuges

Im folgenden wird auf das Verfahren der Trockenbeete nicht eingegangen, da dafür bei den kleinen Filterleistungen unter unsern klimatischen Verhältnissen untragbar grosse Flächen beansprucht werden. Flüssigkeit und Feststoffe des Klärschlamms werden mechanisch durch Sedimentation oder Filtration getrennt. In Druck- oder Vakuumfiltern wird die Filtration mit Druck oder Vakuum beschleunigt. In Vollmantel- und Dekantierzentrifugen beschleunigt die Fliehkraft die Sedimentation [2]. Das Schlammwasser ist durch unterschiedliche Kräfte an die Feststoffe gebunden. Mit zunehmendem Entwässerungsgrad (die schwächsten Bindungen werden in der Regel zuerst aufgetrennt) steigt die Intensität der Wasserbindung und damit auch die aufzubringende Trennenergie. Der Grossteil des Zwischenraumwassers und teilweise auch das Benetzungs- und Haftwasser kann mechanisch in natürlichen und künstlichen Schwerefeldern getrennt werden. Die mechanische Schlammentwässerung kann nach der Grösse der aufzubringenden Trennenergie gegliedert werden:

— Geringe Kräfte, statische Entwässerung, mittels Eindikker bis ca. 10 % TR
— Grössere Kräfte bis ca. 3 bar, mittels Niederdruckverfahren auf groben Filterträgern und Sieben und Zentrifugen bis ca. 35 % TR
— Grosse Kräfte bis ca. 10 bar durch Hochdruckentwässerung auf feinen Filterträgern und Sieben bis ca. 50 % TR.

Für die Entwässerungsverfahren spielt die vorgängige Schlammkonditionierung eine entscheidende Rolle. Die Schlammkonditionierung bezieht sich auf die physikalische, chemische und physikalisch-chemische Vorbehandlung des Schlammes zur Erleichterung des Wasserentzuges [3]. Klärschlamm ist ein komplexes kolloides System mit heterogener Zusammensetzung. Chemischer Aufbau, Teilchengrösse und -verteilung, Oberfläche und Ladung bestimmen die Menge des Schlammwassers und die Intensität seiner Bindung. Durch die Konditionierung sollen die oberflächenchemischen Eigenschaften der Schlammbestandteile verändert werden:

— Herabsetzung der Ladung
— Erniedrigung des Wasserbindevermögens
— Veränderung der Kornzusammensetzung, d. h. Agglomeration der Teilchen und Herabsetzung der spezifischen Oberfläche.

Um diese Veränderung zu erreichen, können thermische, mechanische und/oder chemische Kräfte eingesetzt werden.

Die chemische Konditionierung, häufig auch Kalt-Konditionierung genannt, ist durch zwei Prozessmechanismen gezeichnet: Die Flockung entstabilisiert die Kolloide und führt zur Agglomeration und Verkleinerung der spezifischen Oberfläche; die Oxidation baut schleimartige Substanzen in einfachere Grundverbindungen ab. Das Verfahren der Kaltkonditionierung findet hauptsächlich seine verbreitete Anwendung bei der Niederdruckfiltration und der Zentrifugation. Als Flockungsmittel kommen in Frage der Einsatz von Metallsalzen und kationische und/oder anionische Polyelektrolyte sowie Asche, Holzmehl usw. als Filterhilfsmittel. Diese Flockungsmittel sind einfach und sauber zu handhaben; die optimale Dosierung, bedingt durch Veränderungen des Eingangsschlammes, erfordert aber einige Erfahrung und Kontrolle des Filtratablaufes. In häufiger Kombination mit der Hochdruckentwässerung wird die thermische Konditionierung, oder Heiss-Konditionierung, angewandt. Durch Erhitzen auf etwa 200 °C unter erhöhtem Druck, das heisst ohne Wasserverdampfung, werden die Kolloide teilweise koaguliert, die Gelstruktur zerstört und die Oberflächeneigenschaften der Schlammfeststoffe verändert (zum Beispiel Verfahren Porteous, Techfina, von Roll). Wird gleichzeitig Luft zugeführt (Zimproverfahren), erfolgt eine teilweise Oxydation der organischen Substanz, die auch als Nassoxydation bezeichnet wird. Vorteile der Heisskonditionierung sind: Sterilisierung des Schlammes, was ganzjährlichen Austrag erlaubt, gleichmässige Filtrierbarkeit und Wegfall von zusätzlichen Feststoffen. Nachteilig ist das Ansteigen des gelösten Substanzanteiles, das grosse Geruchsrisiko wie auch die Verstopfungsgefahr der Wärmetauscher.

Sowohl die chemische wie auch die thermische Konditionierung können grundsätzlich mit jeglicher Art der Entwässerung kombiniert werden. Aufgrund der hohen spezi-

Spezifische Schlamm-Mengen — Tabelle 1

Richtwerte pro Einwohner und Tag (ungültig für BSB-Gleichwerte)

| | mechanisch | | | mechanisch-biologisch | | | mechanisch-biologisch, Simultanfällung | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | TR g/ET | % | Vol. l/ET | TR g/ET | % | Vol. l/ET | TR g/ET | % | Vol. l/ET |
| Frisch | 70 | 3—6 | 1,2—2,3 | 100 | 3—5 | 2,0—3,5 | 110 | 3—5 | 2,2—3,6 |
| Anaerob stabilisiert (aus Nachfaulraum) | 50 | 9—13 | 0,4—0,6 | 70 | 7—10 | 0,7—1,0 | 80 | 7—10 | 0,8—1,2 |
| Aerob stabilisiert (nach Eindickung) | | | | 80 | 5—7 | 1,1—1,6 | 90 | 5—7 | 1,3—1,8 |

Deponievolumen bei Schlammablagerung, Richtwerte — Tabelle 2

| | | Anfall | | Deponie-Volumen l/ET | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | l/ET | TR % | Entwässerung schwach (25 % TR) | Entwässerung stark (45 % TR) | Asche[1] |
| ohne 3. Stufe | anaerob | 1,0 | 7,5 | 0,30 | 0,17 | 0,05 |
| | aerob | 1,4 | 5,7 | 0,32 | 0,18 | |
| Simultanfällung | anaerob | 1,1 | 7,7 | 0,31 | 0,19 | 0,06 |
| | aerob | 1,6 | 5,7 | 0,34 | 0,20 | |

[1] Annahme: Spezifisches Deponievolumen nach Wiederbefeuchtung (60 % TR) und nach Verdichtung (0,8 l/kg).

Zusammenstellung von Bandfiltersystemen mit den wichtigsten Angaben über den Arbeitsablauf Tabelle 8

| | |
|---|---|
| Turmpresse<br>Prefiltec, Rümlang | Vertikale Bandführung, beidseitig beaufschlagt |
| Rollpresse<br>Von Roll, Klus | Vorentwässerung ohne Zufuhr von Trennenergie; vertikale Bandführung, einseitig beaufschlagt; bogenförmige Bandführung |
| S-Presse<br>Klein, Niederfischbach | Vorentwässerung ohne Zufuhr von Trennenergie; horizontale Bandführung, beidseitig beaufschlagt; bogenförmige Bandführung |
| Winkelpresse<br>Bellmer, Niefern-Oeschelbronn | Vorentwässerung ohne Zufuhr von Trennenergie; vertikale Bandführung, beidseitig beaufschlagt; bogenförmige Bandführung |
| Sibamat<br>Passavant, Aarbergen | Vorentwässerung ohne Zufuhr von Trennenergie; Saugdruck; bogenförmige Bandführung; horizontale Bandführung, beidseitig beaufschlagt |
| SSP<br>Roediger, Hanau | Vorentwässerung ohne Zufuhr von Trennenergie; anschliessend Vorentwässerung mit Saugdruck; bogenförmige Bandführung |
| Doppelsiebpresse<br>Andritz, Graz | Horizontale Bandführung, beidseitig beaufschlagt, anschliessend bogenförmige Bandführung |
| Continupak<br>Willmes, Bensheim | U-förmige Aufhängung eines Presstuches mit Drainageauflage |
| Dietzel, Sauerlach | — |
| Smith & Loveless, Brüssel | — |

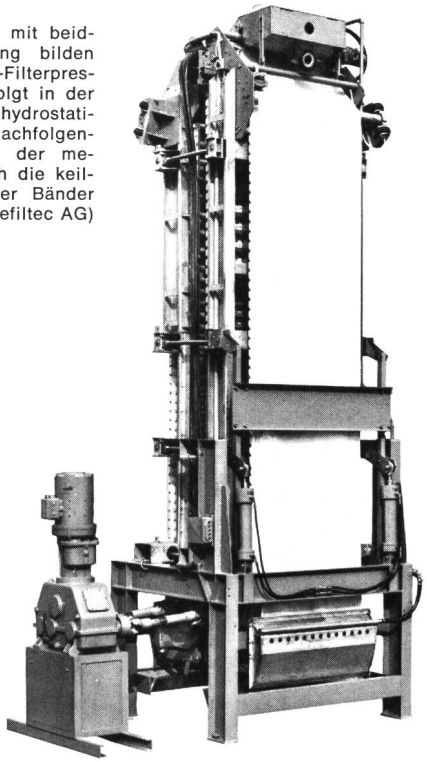


Bild 4
Vertikale Bandführung mit beidseitiger Beaufschlagung bilden Merkmale der «Turm-Filterpresse». Die Filtration erfolgt in der Flüssigphase durch hydrostatischen Druck. In der nachfolgenden Pressphase wird der mechanische Druck durch die keilförmige Anordnung der Bänder erzeugt. (Foto Prefiltec AG)

fischen Kosten der Konditionierung ist eine Kombination mit einem hochwertigen Entwässerungsverfahren wirtschaftlich sinnvoll.

## 5. Technische Möglichkeiten der mechanischen Schlammentwässerung

Von den statischen Verfahren werden die Niederdruckfilter wie Band- und Vakuumfilter und die Hochdruckfilter, von den dynamischen Verfahren die Zentrifugen besprochen.

### 5.1. Niederdruckfilter

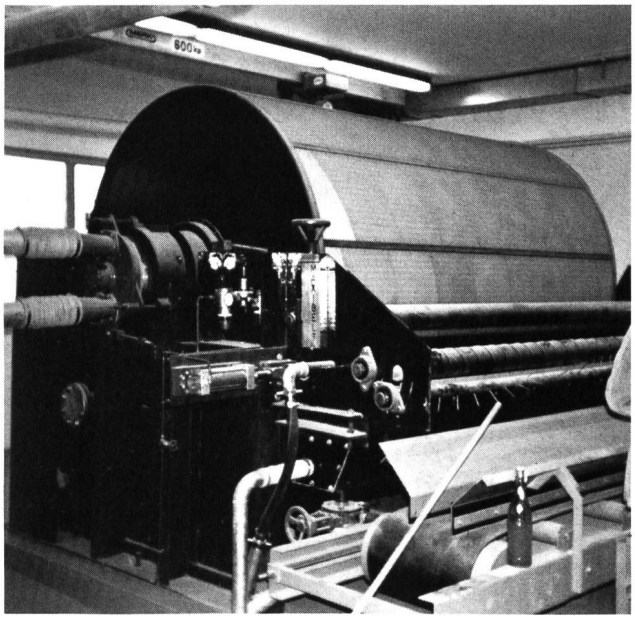
Filter sind grundsätzlich diskontinuierliche Entwässerungsgeräte. Mit Hilfe von langsam laufenden Bändern und Trommeln, die immer wieder die gleiche Beschickungs- und Entladestelle passieren, kann ein kontinuierlicher Prozess vorgetäuscht werden [3]. Als Filtermedium wird der sich aufbauende Kuchen ausgenützt. Das Filtertuch, Filterpapier oder die Anschwemmschicht haben die Funktion eines Filterträgers. Bei den Niederdruckfiltern wird eine rasche Folge der Filtrationszyklen angestrebt mit geringer Kuchendicke (3 bis 5 mm) und geringem Druck (0,6 bis 3 bar). Um einen genügenden Filtratdurchgang zu ermöglichen, müssen grobmaschige Filterträger eingesetzt werden, mit dem Nachteil, dass der Vorlauf trübe ist, da ein Teil der Schlammpartikel den Filterträger durchläuft und teilweise verstopft. Um die vorerst instabilen Flocken nicht zu zerstören oder durchzuspülen, darf der Filtrationsdruck erst im weiteren Verlauf gesteigert werden. Eine kontinuierliche Bandspülung ist bei diesen Verfahren unumgänglich. Ueblicherweise ist das Waschwasser feststoffreicher als das Filtrat, was auf eine unvollständige Kuchenabnahme zurückzuführen ist, und so die Hauptquelle der Rücklaufbelastung darstellt.

#### Bandfilter

Die Verfahrenstechnik hat die geometrisch frei wählbare Führung des Filterträgers ausgenützt. Der Pressdruck wird erzeugt durch die Keilwirkung des von den Tüchern in den sich verengenden Spalt gezogenen Schlammkuchens, wobei horizontale und vertikale Bandführungen mit einseitiger und beidseitiger Beaufschlagung verfügbar sind. Durch anschliessend bogenförmige Bandführung werden in Scherpresszonen oder Walkzonen zum Flächendruck noch Scherkräfte wirksam. Häufig werden diese Möglichkeiten in den einzelnen Verfahren kombiniert. Eine Uebersicht gibt Tabelle 3.

Trotz Automatisierung der meisten Anlagen muss dem Betriebsleiter die Möglichkeit gegeben werden, durch periodische Kontrollen den Prozess zu überwachen und nötigenfalls durch Handsteuerung korrigierend einzuwirken. Diese Kontrollmöglichkeit darf nicht zu Gunsten der Aesthetik geopfert werden. Die Konditionierungswirkung, der Ku-

Bild 5 Beim «Vakuum-Filter» wird die Filtration mittels Vakuum beschleunigt. Der praktisch konstante Druck über die Filtrationsperiode erfordert feinmaschige Filterträger, was grosse spezifische Filterflächen beansprucht. Die kontinuierliche Bandspülung erfolgt durch Tuchabnahme mit scharfer Umlenkung für die Kuchenabnahme.
(Foto EAWAG)



Richtwerte für den Nährstoffgehalt von Klärschlamm und Gülle. Tabelle 4

Angaben nach den Düngungsrichtlinien der eidgenössischen Forschungsanstalten. Die Zahlen bedeuten kg Nährstoff in 10 m³ flüssigem Dünger. Im Einzelfall sind grössere Abweichungen möglich.

| Düngerart | organische Substanz | N gesamt | N gut ausnutzbar | $P_2O_5$ | $K_2O$ | Ca | Mg |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Klärschlamm bzw. Faulschlamm 95 % Wasser * | 230 | 17 | 6 | 12 | 2 | 30 | 4 |
| Klärschlamm bzw. Faulschlamm 90 % Wasser * | 460 | 34 | 12 | 24 | 4 | 60 | 8 |
| Rindergülle, mässiger Kotgehalt (1:1) ** | 390 | 27 | 23 | 6 | 45 | 10 | 2 |
| Rindergülle, mässiger Kotgehalt (1:2) | 260 | 18 | 16 | 4 | 30 | 7 | 1 |
| Rinder-Vollgülle (1:1) | 460 | 25 | 18 | 10 | 35 | 13 | 3 |
| Schweine-Vollgülle mit Spülwasser (1:1) | 230 | 25 | 18 | 16 | 12 | 10 | 3 |

* Für Klärschlamm aus der 3. Stufe (Phosphatfällung) kann ungefähr mit der doppelten Menge an Phosphat gerechnet werden.

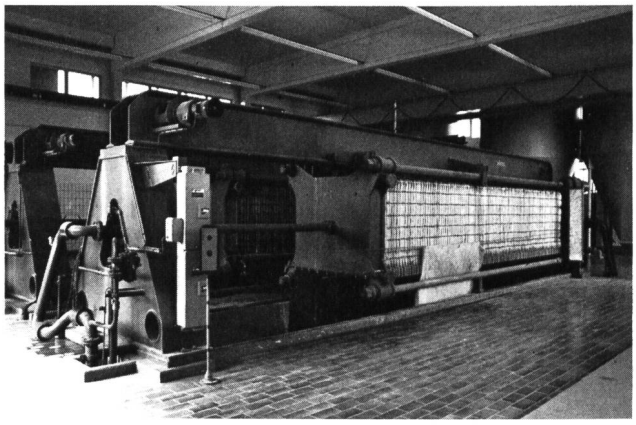
** Verdünnung (Teile Gülle : Teile Wasser)

chenaustrag und der Filtratablauf müssen leicht überblickt werden können. Diese Forderung ist bei der Ausarbeitung des Detailprojektes zu berücksichtigen. Die Turmfilterpresse (Bild 4) ist stellvertretend für die Bandfilter dargestellt.

Vakuumfilter

Aus der herkömmlichen Verfahrenstechnik sind die Vakuum-Trommelfilter zu nennen. In der Ansaugzone wird der Kuchen auf das Filtertuch gebracht. Die Kuchenabnahme erfolgt mittels Kratzer, Roller oder Luftdruck. Da der Filtrationsdruck über die Filtrationsperiode praktisch konstant bleibt, ist ein feinmaschiger Filterträger erforderlich. Durch den kleineren Filtratdurchlauf sind grössere spezifische Filterflächen nötig. Um ungenügende Kuchenabnahme zu verbessern, wurden Vakuumfilter mit Tuchabnahme erstellt (Bild 5). Durch die scharfe Umlenkung, womit sich die Kuchenabnahme verbesserte, und durch die kontinuierliche Bandspülung konnte die Störanfälligkeit verkleinert werden. Als Alternative zur Trommel sind die Vakuumbandfilter zu erwähnen. Die Trennenergie wird mittels regulierbaren, beweglichen Saugzellen, die unter dem Filterträger angeordnet sind, zugeführt.

Bild 6 Lange Filtrationsdauer, grosse Filterschichtdicke und hohe Enddrücke sind die Hauptmerkmale der Hochdruckfiltration mittels «Kammerfilterpressen». Der feine Filterträger, feststoffarmes Filtrat und der kleine Endwassergehalt des Kuchens kennzeichnen das Verfahren. (Foto EAWAG)



Hersteller: Dorr-Oliver, Wiesbaden; KHD, Köln; Krauss-Maffei, München; Netzel-Filter, Düren; Pannevis, Utrecht; Voith, Weissenstadt.

5.2. Hochdruckfilter

Die Hochdruckfiltration ist gekennzeichnet durch lange Filtrationsdauer (100 bis 200 min) mit grosser Filterschichtdicke (rund 25 mm) und hohem Enddruck (rund 10 bar). Diese Anforderungen werden mit dem Verfahren der Kammerfilterpresse erreicht (Bild 6). Eine Anzahl Kammern wird durch Zusammenpressen der Filterplatten abgedichtet. Gleichzeitig wird die Presse zentral mit konditioniertem Schlamm beschickt. Nach Füllen der Presse steigt der Druck rasch an, worauf der eigentliche Filtrationsprozess abläuft. Die Intensität der Wasserbindung ist entscheidend für die Filtrationsdauer. Bedingt durch den feinen Filterträger und den hohen Druck sind hochwertige Konditionierungsverfahren wirtschaftlich sinnvoll. Ungenügender Entwässerungsgrad, Festkleben der Kuchen und Verstopfung der Filtertücher vermindern im hohen Masse die Betriebszuverlässigkeit. Thermische und chemische Konditionierungsverfahren haben sich in der Praxis bewährt. Oekologische Ueberlegungen bezüglich Endlagerung können auf die Verfahrenswahl einwirken. Bei der herkömmlichen chemischen Konditionierung mit Kalkhydrat $Ca(OH)_2$ und Eisenchlorid $FeCl_3$ sind die zusätzliche Zufuhr von Feststoffen, bis 100 %, und die Verfestigung des Kuchens zu beachten.

Bereits sind einige Anlagen im Ausland und eine Anlage in der Schweiz in Betrieb, wo die marktgängigen Polyelektrolyte als Flockungsmittel Verwendung finden. Die bisherigen Erfahrungen lassen aber noch kein endgültiges Urteil abgeben.

Alle Verfahren erfordern ein Waschen der Tücher, nach 10 bis 20 Chargen, wozu häufig halbautomatische Hochdruckspülgeräte eingebaut werden.

Mit der Zufuhr grosser Trennenergie werden hohe Anforderungen an die technische Ausführung gestellt. Durch lange Erfahrungen verbessert, weisen die Kammerfilterpressen eine hohe Verfügbarkeit auf. Der kleine Endwassergehalt und das klare Filtrat sind als gut zu bewerten. Beim Betrieb ist zu beachten, dass nicht der Pressvorgang, sondern nur die Leerung kontrolliert werden muss. Infolge seiner schmierigen Konsistenz soll vor der Leerung der Kern ausgestossen werden.

Hersteller: Von Roll, Klus; Rittershaus & Blecher, Wuppertal; Hoesch, Düren; Schule, Hamburg; Edward & Jones, Stoke-on-Trend; Degrémont, Paris; Passavant, Aarbergen; Netzsch, Selb; WDG, Duisburg; Dorr-Oliver, Wiesbaden; Boulton, Stoke-on-Trend.

5.3. Zentrifugation

In der Zentrifuge wird der Schlamm in Rotation versetzt und so einer kräftigen Zentripetalbeschleunigung ausgesetzt, die die Sedimentation beschleunigt. Die Feststoffe sedimentieren an der Trommelinnenwand. Eine Schnecke fördert die Feststoffe in Richtung des konischen Trommelabschnittes, wobei die Schnecke um die Differenzdrehzahl rascher dreht als die Trommel. Für Kommunalschlamm hat sich die Dekantierzentrifuge durchgesetzt, seitdem hochwertige, schnell wirksame Flockungsmittel erhältlich sind. Heute bildet die Vollmantel-Schneckenzentrifuge eine vollwertige Alternative zum Bandfilter. Dies konnte erreicht werden durch Erniedrigung der Drehzahl, das heisst Zentrifugalbeschleunigung statt rund 3000 g der ersten Anlagen heute noch etwa 400 g. Dies wurde erreicht durch kleinere Differenzdrehzahl, durch Anpassen der Schneckengeometrie und -steigung wie auch durch Anpassung des Schlankheitsgrades (Länge/Durchmesser, 2,5 bis 3). Diese Massnahmen haben die wesentlichen Nachteile grösstenteils eliminiert, und es wurde folgendes erreicht: Annehmbarer Endwassergehalt — Verkleinerung der Verstopfungsgefahr — Verminderung der Abrasion — geringerer Unterhalt — Erhöhung der Reisezeit — Verkleinerung des Energiebedarfes. Die geringere Drehzahl bewirkt auch eine schonendere Behandlung der entstehenden Flocke, wodurch der Flockungsmittelverbrauch sinkt. Langzeitversuche bestätigen, dass mit dem heutigen Stand der Verfahrenstechnik Abscheidegrade von über 95 % erreicht werden.

Hersteller: Flottweg, Vilsbiburg; KHD, Köln (Bild 7); Escher Wyss, Zürich; Krauss-Maffei, München; Krüger, Kopenhagen; Pennwalt, Rueil-Malmaison; Rittershaus & Blecher, Wuppertal; Starcosa, Wunstorf; Westfalia, Oelde; Alfa-Laval, Hamburg; Guinard, Courbevoie; Titan, Kopenhagen; Passavant, Aarbergen; Möbius, Stuttgart; Wimmer, Sulzbach.

## 6. Betriebliche Anforderungen und Massnahmen

Neben ökonomischen und ökologischen Ueberlegungen können durch betriebliche Massnahmen die Funktionstüchtigkeit und die Betriebskosten einer Anlage beeinflusst werden. Eine straffe und verantwortungsbewusste Führung der Entscheidungsinstanzen bei der Projektierung und später bei der Betriebsleitung kann dazu entscheidend mithelfen. In einem detaillierten Liefer- und Garantievertrag zwischen Bauherrschaft und Hersteller sollen festgelegt werden:

- Lieferumfang, Montage, Inbetriebnahme und Instruktion des Bedienungspersonals, Zahlmodus
- Voraussetzungen, Herkunft und Art des zu entwässernden Schlammes
- Verfahrensgarantie
- Zuverlässigkeit
- Materialgarantie gemäss VSM
- Gewähr für die Einhaltung der Vorschriften der SUVA, des SEV und des Arbeitsinspektorates
- Servicegarantie und Bereithaltung sämtlicher Ersatzteile während 10 Jahren durch Hersteller
- Abnahmeversuch, Nichtgenügen der Anlage, definitive Uebergabe.

Innerhalb des Abnahmeversuches wird die Verfahrensgarantie durch bilanzmässige Ermittlung der Ein- und Ausgänge überprüft. Ferner werden die Betriebsmittel gemäss Verbrauchsgarantie je Versuchstag ermittelt. Der Trockenrückstands-Abscheidegrad soll mindestens 95 % betragen. Diese Tagesmittelwerte gelten üblicherweise für einen Betriebspunkt. Die Zuverlässigkeit, insbesondere die Verfügbarkeit und der Betriebsmittelverbrauch, soll über mindestens 500 Betriebsstunden nachgeprüft werden. Für den Zeitpunkt der Betriebsaufnahme ist vom Hersteller eine verbindliche und lückenlose Betriebsvorschrift zu fordern. Gleichzeitig soll eine übersichtliche Betriebskontrolle vorbereitet werden, woraus Arbeitsaufwand, Betriebsstunden und -mittel, Störungen und Reparaturen jederzeit ersichtlich sind.

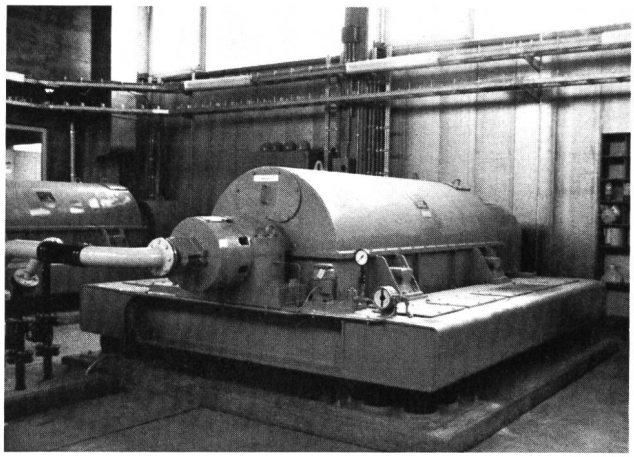


Bild 7 In «Zentrifugen» erfolgt eine beschleunigte Sedimentation in einem Fliehkraftfeld. Für Kommunalschlämme haben sich die Dekantierzentrifugen durchgesetzt. (Foto Bucher/BS)

## 7. Schlussbemerkungen

Diese Ueberlegungen sollen dazu führen, ein optimales Entwässerungsverfahren zu finden. Die Risiken einer Fehlplanung, eines Versagens der Anlage oder eine ungünstige Beeinflussung des ökologischen Systems müssen erkannt und abgewogen werden. Planer und Bauherren müssen sich vor kalkulierbaren Ueberraschungen schützen, denn Fehlentscheide sind nachträglich kaum mehr zu korrigieren und können grosse Mehrkosten nach sich ziehen [3].

Literatur


[ 1] K. A. Wuhrmann: Wachstum unserer Wirtschaft: Welche Aufgaben stellen sich den kantonalen Behörden in bezug auf die Abfallbeseitigung? Schweiz. Bauzeitung 91 (1973), S. 117—120.
[ 2] F. Widmer: Möglichkeiten der Feststoffabtrennung aus Flüssigkeiten. SIA-Tagung vom 22. September 1972.
[ 3] W. Stumm und K. A. Wuhrmann: EAWAG Lehrkurs 1/1972.
[ 4] K. A. Wuhrmann: Vorlesung Verfahrenstechnik Klärschlamm. Wintersemester 74/75, ETHZ.
[ 5] J. Reuter und H. von Beckerath: Schlammentwässerung mit kontinuierlichen Pressfiltern. Nicht veröffentlicht.
[ 6] K. A. Wuhrmann: Probleme der Optimierung bei der Müll- und Klärschlammbeseitigung. EAWAG Separatum Nr. 481.

Eidgenössische Gesetze und Richtlinien

[ 7] Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung (Gewässerschutzgesetz) vom 8. Oktober 1971 sowie die kantonalen Vollzugsgesetze.
[ 8] Allgemeine Gewässerschutzverordnung vom 19. Juni 1972.
[ 9] Richtlinien über die Beschaffenheit abzuleitender Abwässer vom 1. September 1966.
[10] Schweizerisches Milchlieferungsregulativ vom 18. Oktober 1971.
[11] Wegleitung zu einer umweltgerechten Anwendung von Düngemitteln. Separatdruck aus den «Mitteilungen für die Schweizerische Landwirtschaft» Nr. 8, 22 (1974).
[12] Richtlinien für die Anwendung von Klärschlamm als Düngemittel in der Landwirtschaft. Separatdruck aus den «Mitteilungen für die Schweizerische Landwirtschaft» Nr. 7, 20 (1972).
[13] Düngungsrichtlinien für den Acker- und Futterbau. Separatdruck aus den «Mitteilungen für die Schweizerische Landwirtschaft» Nr. 2, 20 (1972).



Adresse des Verfassers: Georg Henseler, Kult.-Ing. ETH, EAWAG, Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Ueberlandstrasse 199, 8600 Dübendorf.