Gewässerschutz: Zielsetzung, Realität und moderne Lösungswege aus industrieller Sicht

Autor(en): **Bretscher, Hans / Eigenmann, Gottfried**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **71 (1979)**

Heft 3

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-941435

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Gewässerschutz: Zielsetzung, Realität und moderne Lösungswege aus industrieller Sicht

Dr. Hans Bretscher[1]) und Dr. Gottfried Eigenmann

Zusammenfassung

Für ein industrielles Unternehmen stellt der Schutz der Umwelt einen wichtigen Teilaspekt seiner Zielsetzungen dar. Weil die Wirtschaft daneben aber noch andere, mindestens ebenso wichtige Ziele erreichen muss, kann dem Umweltschutz nicht immer die erste Priorität zugeordnet werden, vielmehr geht es darum, die Umweltproblematik richtig vorauszusehen, richtig zu gewichten und dann mit den entsprechenden Mitteln zu lösen.

Ein wichtiges Problem der Zukunft ist durch die schwer abbaubaren Stoffe in den Abwässern gegeben. Diese stellen bis zu 25—30 % der Schadstoffe der Abwässer dar. Um dieses Problem in den Griff zu bekommen, müssen die Quellen dieser Stoffe, das heisst die einzelnen Produktionsprozesse eines Werkes unter die Lupe genommen und überarbeitet werden. Sodann gilt es, diese unvermeidbaren Quellen zu charakterisieren und moderne Reinigungsverfahren anzuwenden. Dabei kann es oft vorteilhaft sein, die sogenannte «3. Reinigungsstufe» ganz an den Anfang der Abwasserreinigung zu stellen.

Mögliche Abwasserreinigungsverfahren dieser dritten Generation werden diskutiert und deren Vor- und Nachteile kurz umrissen. Dabei wird auch auf die Kostenfrage eingegangen, denn die spezifischen Reinigungskosten werden beträchtlich über den heute üblichen Werten liegen.

1. Zielsetzung und Wirklichkeit

Zielsetzung und Realität sind zwei Begriffe, die sich normalerweise nicht zur Deckung bringen lassen. Vergleichende Betrachtungen anzustellen ist deshalb schwierig, weil die Zielsetzungen das Resultat eines Denkprozesses sind und einen Vorgriff in die Zukunft darstellen, während die Realität eine unbestreitbare Tatsache ist. Trotzdem muss die Realität stets an der Zielsetzung gemessen werden.

[1]) Vortrag, gehalten am 30. November 1978 in Brugg-Windisch an der Tagung des Vereins zur Förderung der Wasser- und Lufthygiene über ausgewählte Themen der Luft- und Wasserreinhaltung sowie industrielle Energieerzeugung und Lufthygiene.

Der illustrierte Berichtband über diese 2tägige Veranstaltung kann beim VFWL-Verlag, Spannweidstrasse 3, 8006 Zürich, bezogen werden. Der Band enthält folgende Fachvorträge: Dr. H.-U. Schweizer: Zielsetzung und Realität im Gewässerschutz in bezug auf gewerbliche und industrielle Abwässer aus der Sicht des Bundes. Dr. B. Hurni: Zielsetzung und Realität im Gewässerschutz in bezug auf gewerbliche und industrielle Abwässer aus der Sicht eines Kantons (BL). Der hier abgedruckte Beitrag. U. Jansen: Richtlinien über Mindesthöhen von Kaminen. Dr. B. Bauer und Dr. S. Kündig: Abluftsysteme für die Luftreinhaltung in Industriebetrieben aus der Sicht der Arbeitshygiene und des Umgebungsschutzes. W. Hess: Die Umweltbelastung aus flüssigen Brenn- und Treibstoffen in der Stadt Zürich und die daraus zu ziehenden Konsequenzen. M. Wellauer: Planung von Energiezentralen am Beispiel des Kantonsspitals Genf. F. Diederichs und H. Saacke: Einflussgrössen bei der Bildung von Feststoffen in Abgasen bei der Verbrennung von Schweröl. Prof. Dr. H. Kremer: Schadstoffemissionen von Öl- und Gasbrennern an Heizungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung der Brennraumdimensionierung. Dr. D.-H. Schilling: Neuere technische Entwicklungen und Einflussgrössen auf die Schadstoffbelastung in der Abluft bei Kohlefeuerungen unter besonderer Berücksichtigung des Wirbelschichtverfahrens. B. Wermelinger: Wärmepumpen und Wärmekraftkoppelungsanlagen: Energiebilanz und Umweltbelastung.

Wir können uns fragen: Wie weit haben wir die uns gesteckten Ziele erreicht, welchen Weg müssen wir für die restliche Strecke einschlagen?

Diese Problematik soll hier aus der Sicht der Industrie beleuchtet werden, wobei im Brennpunkt dieses Beitrages Fragen des Gewässerschutzes stehen.

Den Schutz unserer Flüsse und Seen können wir als Teilaspekt der übergeordneten Zielsetzung «Lebensqualität» betrachten. Sie kennen die Ziele des Gewässerschutzes, wie sie einerseits in Artikel 24 der Bundesverfassung, andererseits aber auch im Gewässerschutzgesetz von 1972 und in den zugehörigen Verordnungen formuliert sind. Wir brauchen diese hier nicht zu wiederholen. Sicher hatte der Gesetzgeber bewusst oder unbewusst die Hebung der Lebensqualität im Auge. Wir wissen aber, dass für die Hebung der Lebensqualität auch die materiellen Güter eine Rolle spielen.

Die Industrie, auch die chemische Industrie, trägt zur Sicherung des materiellen Lebensstandards bei, indem sie Güter des täglichen Lebens herstellt. Gleichzeitig liegt eine ihrer langfristigen Aufgaben darin, Arbeitsplätze zu schaffen und zu sichern. Dass die Industrie versucht, auch noch einen Gewinn zu erwirtschaften, darf ihr nicht übel genommen werden, sondern ist eine Notwendigkeit, um die Produktionsanlagen zu erneuern und damit langfristig Arbeitsplätze zu sichern.

Ein industrielles Unternehmen ist aber durch gewisse Rahmenbedingungen eingeschränkt. Es ist eingebettet in die physikalische und biologische Umwelt. Das heisst, dass einerseits die Produkte, die ein Unternehmen herstellt, die Umwelt nicht schädigen dürfen — sie müssen *umweltgerecht* sein —, andererseits muss die Produktion so gestaltet sein und so geführt werden, dass sich ihre Auswirkungen auf die Umwelt in einem vertretbaren Rahmen halten. Wir haben diesen Satz bewusst so formuliert, weil eine industrielle Tätigkeit *ohne* jeglichen Einfluss auf die Umwelt eine utopische Vorstellung ist. Es ist vielmehr die Frage, ob diese Auswirkungen im Verhältnis zum Nutzen, den die industrielle Aktivität mit sich bringt, tragbar und verantwortbar sind.

Grundsätzlich sind dies geschäftspolitische Fragen, die von höchster Ebene einer Firma dekretiert und festgehalten werden müssen: Dass wir umweltgerechte Produkte herstellen wollen und dass wir umweltgerecht produzieren wollen, muss Teil einer Unternehmenspolitik sein. Diese darf aber nicht nur in einem Grundsatzdokument geschrieben stehen, sondern ihr muss nicht nur durch die Geschäftsleitung, sondern von allen Linieninstanzen bis zum letzten Arbeitnehmer nachgelebt werden.

2. Probleme der chemischen Industrie

2.1. Allgemeines

Was heisst *umweltgerechte Produktion?*

Dies heisst:

Dass nach Möglichkeiten gesucht wird, *Abfälle überhaupt nicht erst entstehen zu lassen.* Für die chemische Industrie bedeutet dies: Investieren in Verfahrensentwicklung, deren Ziel es sein soll, einen chemischen Herstellungsprozess nicht nur von der wirtschaftlichen Seite her zu optimieren, sondern auch aus der Sicht des Umweltschutzes. *Integrierte Verfahrensentwicklung* zielt darauf hin, bei der Überprüfung von Syntheseverfahren alle Gesichtspunkte zu überprüfen (Bild 1).

Trotzdem werden wir in der Chemie immer Abfälle mitproduzieren. Sie wissen: Chemische Reaktionen benötigen

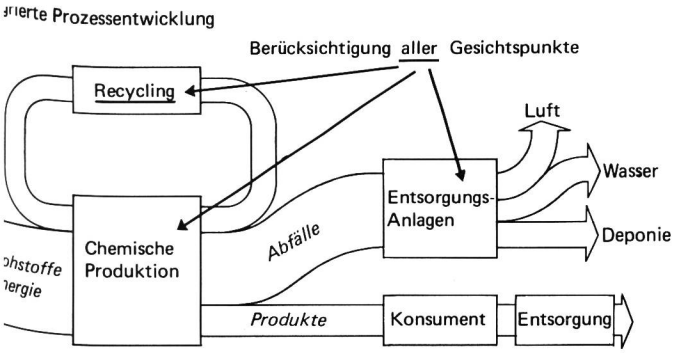

Bild 1. Integrierte Prozessentwicklung. Qualität, Kosten, Umweltkonformität und Energieaspekte sind zu optimierende Randbedingungen.

Hilfsstoffe und Lösungsmittel zu ihrer Durchführung, zudem entstehen leider immer wieder unerwünschte Nebenprodukte. Umweltgerechte Produktion heisst also, diese Abfälle, wenn immer möglich, wieder in einen Prozess zurückzuführen oder aber sachgerecht zu entsorgen. Moderne Abgas- und Abwasserreinigungsverfahren müssen angewendet werden, um die anfallenden Schadstoffe zu eliminieren. Die festen Abfälle, die bei der Produktion oder oft auch aus anderen Entsorgungsmassnahmen entstehen, sind in sachgerecht erstellten, geordneten und kontrollierten Deponien zu beseitigen oder durch Verbrennung zu vernichten.

Wir bemühen uns, die Produktion unserer Werke nach diesen Grundsätzen zu gestalten. Aber auch hier zeigt sich wiederum eine Diskrepanz zwischen Realität und Zielsetzungen. Der Technik sind Grenzen gesetzt!

2.2. *Abwasser/Schwerabbaubare Stoffe*

Die Gesetzmässigkeiten der Chemie und der Biologie sind verantwortlich dafür, dass nicht alle Inhaltsstoffe der Abwässer biologisch abbaubar sind. Wenn wir in einer heutigen modernen Kläranlage mit physikalisch-chemischen Stufen und biologischer Reinigung über 95 % des biologischen Sauerstoffbedarfs (BSB_5) abbauen, so werden im Durchschnitt nur 70 bis 80 % der totalen organischen Schmutzlast entfernt. Schwer abbaubare, biologisch träge Stoffe sind für diese Diskrepanz verantwortlich. Daneben gehen natürlich auch praktisch alle anorganischen Salze unverändert durch eine biologische Kläranlage.

In der Literatur wird oft einer etwas einfachen Schwarzweiss-Darstellung hinsichtlich der Abbaubarkeit von Abwasserinhaltsstoffen gehuldigt. Vielerorts wird eine Klassifizierung in «abbaubare» oder «nicht abbaubare» Stoffe vorgenommen. Gegen diesen Dualismus sprechen verschiedene Tatsachen. Wenn wir den zeitlichen Verlauf des BSB_5-Wertes als Mass der Menge der biologisch abbaubaren Substanzen an einer Messstelle am Niederrhein betrachten und mit Werten des chemischen Sauerstoffverbrauchs, CSB, als Mass der gesamthaft vorhandenen organischen Inhaltsstoffe vergleichen [1] [2], dann beobachten wir, dass sich trotz der Inbetriebnahme zahlreicher grosser Kläranlagen im Einzugsgebiet des Rheins das Verhältnis dieser beiden Zahlen über die Jahre nicht wesentlich geändert hat (Bild 2). Nach dem einfachen Schema müsste man erwarten, dass die zunehmende Zahl von Kläranlagen die Restmenge der abbaubaren Substanzen (BSB_5) stärker reduziert hätte als den CSB-Wert. Die Zahlen zeigen den umgekehrten Trend. Es bleibt nur eine Erklärung: Offensichtlich wird ein grosser Teil der sogenannten nicht abbaubaren Stoffe auf der Verfrachtung im Rhein bis in die Nordsee weitgehend abgebaut. Hingegen werden bestimmte Substanzen, zum Beispiel verschiedene Chlorkohlenwasserstoffe, nicht abgebaut. Dies zeigen die Untersuchungen der letzten Jahre (Bild 3).

Anstelle einer Klassifizierung der Stoffe in abbaubare und nicht abbaubare erscheint uns daher sinnvoller und der Situation angemessen, von Stoffen mit unterschiedlicher Abbaubarkeit zu sprechen.

2.3. *Energie — Umweltschutz*

Im Umweltschutz ist auch die Energie ein begrenzender Faktor. Zwar kennt heute jeder die Problematik der Energieressourcen. Trotzdem ist zu wenig bekannt, dass gerade auch Umweltschutzmassnahmen grosse Energiemengen verbrauchen. Die Grosskläranlage ARA-Rhein als Beispiel verbraucht in den Belüftungsbecken etwa die gleiche Elektrizitätsmenge, die von der Gemeinde Pratteln verbraucht wird; in unseren Werken werden 30 bis 35 % der elektrischen Energie zum Betrieb von Abluftreinigungsanlagen benötigt. Die gegenseitige Abhängigkeit von Umweltschutz und Energiebedarf müssen wir bei der Lösung unserer Probleme im Auge behalten.

2.4. *Materialbilanz der chemischen Produktion*

Die Mehrschichtigkeit einer industriellen Tätigkeit ist nun direkt mitverantwortlich, dass heute noch nicht alle Umweltprobleme der chemischen Produktion gelöst sind, auch wenn sie von rein wissenschaftlicher Seite her gesehen an und für sich lösbar wären.

Ein Hauptproblem der chemischen Industrie liegt darin, dass neben den Verkaufsprodukten eine grosse Menge Nebenprodukte gebildet wird. Dies ergibt sich zum Beispiel aus der Materialbilanz [3] der Spezialitätenchemie der Schweiz (Bild 4).

Die Mengendifferenzen dieser Darstellung zeigen, welche Mengen Nebenprodukte gesamtschweizerisch durch diesen Industriezweig entstehen.

Die Zahlen erheben keinen Anspruch auf absolute Genauigkeit, doch zeigen sie deutlich, dass nur etwa 40 bis 50 % der in die Schweiz eingeführten Chemikalien (Grundstoffe, Zwischenprodukte und Endprodukte) in hochwertige Endprodukte umgewandelt werden. Der Rest, etwa 50 bis 60 % der eingeführten Mengen, findet sich in Form von

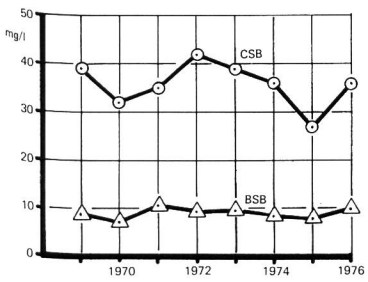

Bild 2. BSB_5 und CSB-Werte (mg/l) im Rhein beim Messpunkt Bimmen.

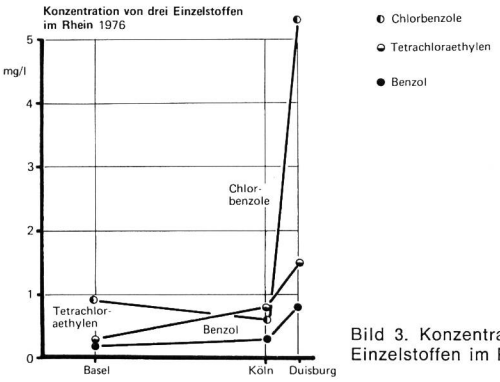

Bild 3. Konzentration von drei Einzelstoffen im Rhein 1976.

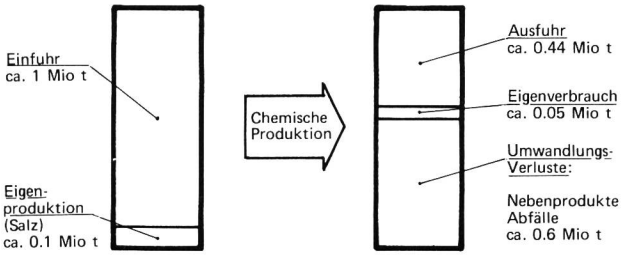

Bild 4. Die schweizerische Materialbilanz 1977 für die Spezialitätenchemie. Erfasst sind:

Ausgangs- und Zwischenprodukte: organische, anorganische
Endprodukte: Farbstoffe und Pigmente, Pharmazeutika, Schädlingsbekämpfungsmittel, Epoxiharze, Textil- und Lederhilfsmittel.

Abfällen — Nebenprodukten verschiedenster Art — wieder.

Die Materialbilanz der schweizerischen Werke der Ciba-Geigy zeigt etwa dasselbe Bild. Etwa $^1/_3$ des gesamten Rohmaterialverbrauchs liegt nach der Produktion als Abfall verschiedenster Art vor.

Bei diesen Abfällen handelt es sich zum grössten Teil um anorganische Salze und Säuren, die in den Abwässern gelöst sind. 5 bis 7 % des Rohstoffverbrauches finden sich als organischer Kohlenstoff vor der Kläranlage. Von diesem organischen Kohlenstoff wiederum werden grössenordnungsmässig 75 % in biologischen Kläranlagen abgebaut. Die festen, abtrennbaren Abfälle, die zu deponieren oder zu verbrennen sind, betragen heute nur noch etwa 2 % des Rohmaterialverbrauchs.

3. Massnahmen zur Lösung der Problematik der schwerabbaubaren Substanzen

Unsere Zielsetzung fordert von uns eine möglichst weitgehende Entfernung der Abwasserinhaltsstoffe. In Wirklichkeit finden sich in den Abwässern nicht zu vernachlässigende Mengen schwer abbaubarer Substanzen. Wir sind uns dieser Diskrepanz bewusst, zur Beseitigung der schwer abbaubaren Substanzen ist aber ein beträchtlicher Einsatz von technisch-wissenschaftlichem Wissen wie auch von finanziellen Mitteln notwendig.

3.1. Das Gesamtkonzept auf Werksebene

Um diese Problematik der schwer abbaubaren Restfracht eines Werkes zu lösen, sind vor der Inangriffnahme technischer Massnahmen organisatorische und analytische Massnahmen zu treffen. Die verschmutzten Abwasserströme müssen individuell erfasst und jeder für sich entsprechend behandelt werden.

Dazu sind folgende planerische Massnahmen notwendig:

a) Auf der Basis von Materialbilanzen müssen die Abwässer eines Werkes in einem Abwasserkataster erfasst werden. Dieser soll sowohl Durchschnittsmengen wie auch auftretende Spitzenwerte der Abwassermengen enthalten. Alle Abwasserquellen der Produktions-Betriebe oder -Prozesse sind festzustellen und zu charakterisieren. Dazu sind analytische Erhebungen notwendig. Die besonders gravierenden Quellen von problematischen Abwässern sind zu identifizieren.

b) Die vom Abwassergesichtspunkt her gesehen besonders kritischen Produktionsverfahren sind zu überarbeiten. Die Entwicklung umweltgerechterer Produktionsverfahren soll die Restlast auf ein Minimum senken. Die Prioritäten dieser Überarbeitung richten sich selbstverständlich auch nach der wirtschaftlichen Wichtigkeit der Produkte, sowie nach den Produktionsmengen. Schwerpunkte sind dort zu setzen, wo es sich um wirtschaftlich wichtige Grossprodukte handelt. Je nachdem ist auch eine Anpassung der Produktionspalette an die Gegebenheiten vorzunehmen. Es ist unter Umständen sinnvoller, einzelne Fabrikationen einzustellen, als dass sie als Folge von Ökologiemassnahmen unrentabel werden.

c) Abwässer, die nach dieser Überarbeitung noch verbleiben, sind nach ihren Eigenschaften zu gruppieren. Gleich zu behandelnde Abwässer sind zusammenzufassen. Schwach belastete Abwässer, z. B. Kühlwasser, sind in einer geeigneten Trennkanalisation abzutrennen.

d) Die restlichen unvermeidbaren Abwässer sind auf ihre Weiterbehandlung zu untersuchen. Die Prioritäten der Behandlung richten sich einerseits nach den geltenden gesetzlichen Richtlinien, andererseits nach technischen, wirtschaftlichen und energetischen Gesichtspunkten.

e) Erst aufgrund dieser Vorarbeiten kann die Planung und Realisierung der Entsorgungsmassnahmen an die Hand genommen werden.

4. Moderne Technologien der Abwasserreinigung

Welche Technologien stehen nun zur Verfügung, um die durch innerbetriebliche Massnahmen auf ein Minimum gesenkten Restlasten zu behandeln? Die folgende Übersicht kann in dieser knappen Form nicht als technologisches Brevier angesehen werden. Sie bezweckt vielmehr, eine gewisse Ordnung in die Vielfalt der zur Verfügung stehenden Methoden zu bringen.

Abwasserbehandlungsverfahren sind grundsätzlich Trennungs- oder Reinigungsverfahren, wie sie in der chemischen Verfahrenstechnik üblich sind (Tabelle S. 43).

Im folgenden sollen die einzelnen Verfahren kurz charakterisiert und ihre Anwendungs- und Einsatzgebiete dargestellt werden.

4.1. Weiterentwicklungen der Belebtschlammverfahren

Die konventionellen Belebtschlammverfahren mit offenen Belüftungsbecken können bis etwa 1930 zurückverfolgt werden. Mit der allgemeinen technischen Entwicklung wurden auch sie modifiziert und verbessert, so dass heute moderne Varianten zur Verfügung stehen. Diese Weiterentwicklung erfolgte in mehreren Richtungen:

— veränderte Form der Belüftungsbecken; abgedeckte Becken

— Übergang von Luftbelüftung auf technisch reinen Sauerstoff

— Luft- bzw. O_2-Eintragsysteme mit geringerem spezifischem Energieverbrauch und besserer Sauerstoffnutzung

— Fliessbettsysteme mit Trägersubstanzen für die Biozönose des Belebtschlammes

— Versuche, besondere Mikroorganismen zum Abbau normalerweise schwer abbaubarer Abwasserinhaltsstoffe einzusetzen

4.1.1. Verfahren mit technisch reinem Sauerstoff

Sie stammen ursprünglich aus den Vereinigten Staaten, wo eine grössere Anzahl Anlagen für Kommunal-Abwasser eingesetzt werden. Vereinzelte Anlagen wurden in den letzten Jahren auch in Europa gebaut, in der Schweiz die ARA Birs II in Birsfelden. Die verschiedenen Systeme (Unox, Lindox, Dégrémont) unterscheiden sich durch verschieden unterteilte Biologiebecken sowie durch die Art

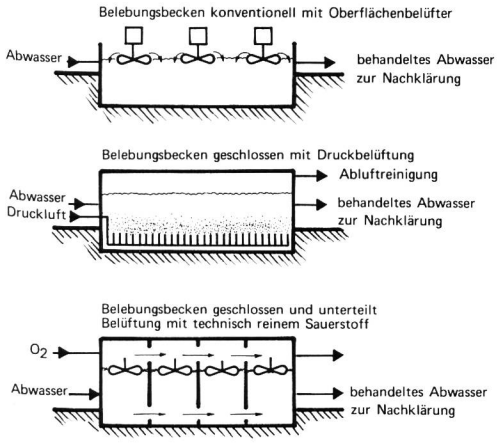

Bild 5. Biologische Abwasserreinigung, flache Bauweise.

der Sauerstoff-Eintragung. Bei allen Varianten sind die «Belüftungsbecken» geschlossen. Da mit reinem Sauerstoff begast wird, sind auch die Abgasvolumina gering; daher treten bei solchen Anlagen auch keine Geruchsprobleme auf (Bild 5).

4.1.2. Hochbiologieverfahren

Sie sind in ihrer Funktionsweise grundsätzlich vergleichbar mit konventionellen Anlagen. Durch die hohe Bauform der Belebungsbecken («Türme») ergeben sich folgende Vorteile: Als Folge der hohen Beckenform muss die Luft mit höherem Druck unten eingeblasen werden. Der resultierende höhere Sauerstoffpartialdruck sowie die längere Verweilzeit der Luftblase im Belebungsraum führen zu einer wesentlich besseren Sauerstoffnutzung von bis zu 90 % (gegenüber 20 bis 30 % in flachen Belebtschlammbecken).

Durch eine geschlossene Bauweise kann die Abluft gefasst und einer Abluftreinigung zugeführt werden.

Der geringere Platzbedarf kann unter europäischen, gedrängten Verhältnissen wesentlich sein (Bild 6) [4] [5] [6].

4.1.3. Biologie-Aktivkohle-Systeme

In den Vereinigten Staaten von Amerika dreht sich die Diskussion um die Frage GACT oder PACT?

Die beiden Abkürzungen (GACT = Granulated Activated Carbon Treatment, PACT = Powdered Activated Carbon Treatment) stehen als Synonyme für zwei verschiedene Philosophien:

— GACT für die *Nachbehandlung* biologisch gereinigter Abwässer in *Adsorptionstürmen,* die mit granulierter Aktivkohle gefüllt sind.

— PACT für eine Behandlung der Abwässer in einer *Biologie*stufe unter *Zusatz* von Aktivkohle*pulver.*

Eine *Nachbehandlung* biologisch gereinigter Abwässer in *Aktivkohlekolonnen* (GACT-Verfahren) kann nach unserer

Tabelle: Klassifizierung von Abwasserreinigungsverfahren

Entfernung der Inhaltsstoffe durch:	Oxidations-Verfahren	Biologische Verfahren	Konventionelle Biologie verschiedener Bauart Sauerstoff-Biologie (UNOX, LINDOX, u.a.) Spezielle Mikroorganismen
. Zerstörung (Mineralisierung)		Chemische Verfahren	Nassoxidation, katalytisch Verbrennung Ozonisierung Oxidation mit Wasserstoffsuperoxid
	Reduktive Verfahren	Biologische Verfahren Chemische Verfahren	Anaerobe Gärung, Schlammfaulung Spezialfälle
Abtrennung	**Ohne vorhergehende Veränderungen:** aufgrund der **Teilchengrösse**	**Filtrations-Verfahren** Konventionelle Filtration bis Ultrafiltration und umgekehrte Osmose	Feststoff- und Schwebstoff-Abscheidung Salzabscheider Meerwasserentsalzung Sandfilter, Ultrafilter Umkehrosmose
	aufgrund von physikalischen Eigenschaften: . Dampfdruckunterschiede	**Destillations-Verf.** "Stripping"-Verfahren	Lösungsmittelabscheidung
	. Löslichkeitsunterschiede	**Extraktions-Verfahren**	Lösungsmittel- und Feststoff-Abscheidung
	. Ladungsunterschiede (Polarität)	**Adsorptions-Verfahren** an Aktivkohle an Ionenaustauschern	Unspezifische Adsorption an Aktivkohle z.B. Quecksilber an Ionenaustauscherharzen (AKZO-Verfahren)
	. Dichteunterschiede	Sedimentation, Flotation	Konventionelle Schlammabscheidung, Flotationsverfahren
	Vorhergehende Veränderung aufgrund **Chemischer Eigenschaften** . Spezifische Wechselwirkungen mit Chemikalien . Elektrochemisches Verhalten	**Fällungsverfahren**	– Anionische Stoffe und kationische Polymere, z.B. COLFLOC – Neutralisation und Fällung – Abscheidung von Metallen
	Gemischte Verfahren	Kombinationen obiger Verfahrensschritte	

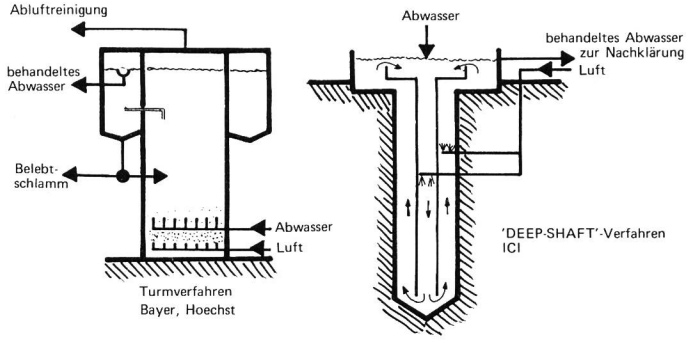

Bild 6. Biologische Abwasserreinigung, hohe Bauweise.

Ansicht nicht generell eingeführt werden. Nach Erfahrungswerten eines amerikanischen Farbstoffproduzenten muss mit einem Aktivkohleeinsatz von ca. 10 kg für einen Durchfluss von 1 m^3/d gerechnet werden. Die bei der Regeneration auftretenden Verluste liegen um 20 g/m^3 Abwasser. Zudem arbeitet man nach diesem Verfahren in sehr verdünnten Lösungen, d. h. in einem Konzentrationsbereich, der unterhalb des Adsorptionsoptimums liegt.

Die *Simultanbehandlung unter Zugabe von Aktivkohlepulver* (PACT-Verfahren) kann als Fliessbett-Biologieverfahren angesehen werden. Aktivkohle kann dabei als Trägermaterial für Mikroorganismen wirken, die sich auf diesen Partikeln ansiedeln [7a] [7b].

Versuche an verschiedenen Orten haben gezeigt, dass Trägerbiologiesysteme offenbar in der Lage sind, noch Substanzen abzubauen, die konventionell nicht angegriffen werden. Dies mag darin liegen, dass durch den Träger Mikrobedingungen geschaffen werden, die gewissen empfindlichen Mikroorganismen erlauben, sich zu erhalten und dabei Stoffe abzubauen (Bild 7).

Auch hier ist es notwendig, die Aktivkohle in einem Kreisprozess zurückzugewinnen und wieder zu verwenden. Während das Abwasser das System also durchfliesst, wird der Träger zusammen mit dem Belebtschlamm abgeschieden und teilweise einer Regeneration zugeführt [7c].

Der auf der Aktivkohle angesiedelte Überschuss-Schlamm muss pyrolytisch entfernt werden. Dabei sind die Bedingungen so zu wählen, dass die Aktivkohle selbst wieder regeneriert wird. Siehe dazu auch die Bemerkungen zur Regeneration in Abschnitt «Adsorptionssysteme».

Auch hier sind die Regenerationsprobleme nicht zu vernachlässigen.

Bei Abwässern mit grösseren Anteilen anorganischer Stoffe können sich diese zudem auf der Aktivkohle anreichern; sie werden dann bei der thermischen Regeneration nicht mehr entfernt, was zu Aktivitäts- und Materialverlusten führen kann.

Nach den uns zugänglichen Informationen betreibt ein amerikanisches Chemiewerk eine Anlage nach diesem Prinzip; die Regeneration des Aktivkohlepulvers geschieht dort offenbar in einem Drehrohrofen. Über die Aktivkohleverluste liegen keine zuverlässigen Angaben vor, doch dürften diese ebenfalls in der Grössenordnung von 20 bis 50 g/m^3 Abwasser liegen.

4.2. Verbrennungsverfahren

Prinzip

Die organischen Inhaltsstoffe der Abwässer werden bei Temperaturen über etwa 800 °C verbrannt, d.h. zu CO_2 und H_2O oxidiert. Halogen-, Stickstoff- und Schwefelanteile bilden dabei Halogenwasserstoff, Stickoxide sowie Schwefeldioxid. Diese müssen in einer nachfolgenden Rauchgaswäsche entfernt werden.

Materialfluss- und Anlageschema [8]

In der einfachsten Form besteht eine Anlage aus einer Brennkammer, die durch eine Stützfeuerung mit Öl oder Gas auf der notwendigen Temperatur gehalten wird. Das vorher neutralisierte Abwasser wird in diese Brennkammer gedüst, wobei es verdampft und die organischen Stoffe oxidiert werden. Anorganische Salze werden der Brennkammer als Asche respektive Schlacke entnommen (Bild 8).

Das zu behandelnde Abwasser wird einer Tankanlage zugeführt und dort vorbehandelt. In einer nachfolgenden Zwangsumlaufanlage erfolgt die Aufteilung in einen Brüden- und einen Konzentratstrom. Der Brüdenstrom wird auf hohe Temperatur gebracht und einer Nachoxidation mit Luft unterworfen. Die so gereinigten Brüden werden vollständig kondensiert und stehen als gereinigtes Prozesswasser wieder zur Verfügung. Der Konzentratstrom wird einem Verbrennungsofen, in welchem eine Stützflamme brennt, zugeleitet und verbrannt. Die Wandtemperaturen werden genau kontrolliert. Die anfallende Asche muss kontrolliert deponiert werden. Überschüssige Wärme kann abgegeben werden. In einem Abhitzekessel werden die Rauchgase abgekühlt und die darin enthaltene Wärmeenergie zurückgewonnen. Die anschliessende Rauchgaswäsche reinigt die Abgase, so dass sie, den behördlichen Vorschriften entsprechend, die Anlage verlassen.

Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit sind grössere Anlagen mit Vorrichtungen zur Nutzung der Verbrennungsenergie ausgerüstet.

Einsatzgebiete

Thermische Oxidationsverfahren sind vor allem zur Beseitigung von organisch hochbelasteten Abwässern geeignet,

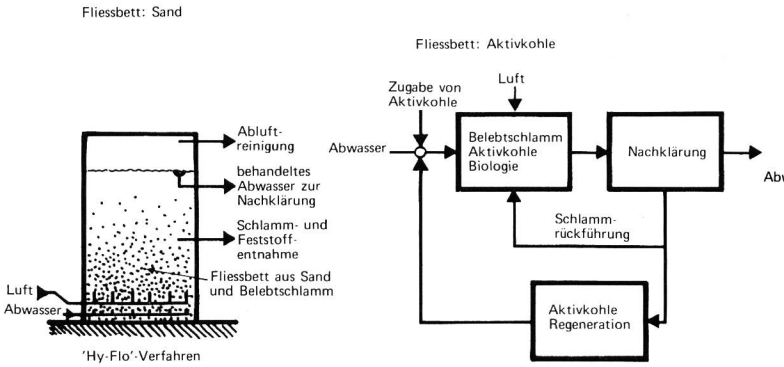

Bild 7. Biologische Abwasserreinigung, Fliessbett-Verfahren.

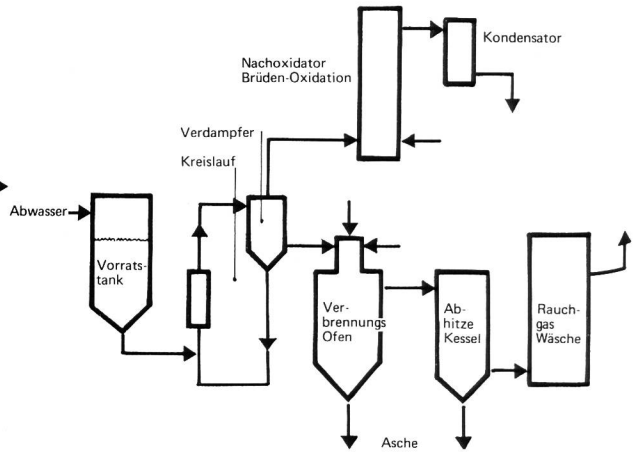

Bild 8. Hochtemperatur-Abwasserverbrennung mit Brüdenoxidation.

da damit die Verbrennungswärme der organischen Stoffe genutzt werden kann. Sie ermöglichen ferner die Beseitigung anorganischer Stoffe, die durch die üblichen biologischen Klärverfahren nicht beeinflusst oder entfernt werden. Wegen des mit der Verdampfung grosser Wassermengen verbundenen Wärmeaufwandes sind die Abwässer in möglichst konzentrierter Form, eventuell nach einer vorhergehenden Aufkonzentration durch andere Massnahmen, zu verarbeiten.
Die Vorteile solcher Anlagen liegen in der Möglichkeit, problematische, unter Umständen auch toxische Abwässer zu entsorgen, sowie nach Bedarf das Wasser als Brauchwasser wiederzuverwenden. Dies dürfte besonders in wasserarmen Gebieten interessant sein. Auch die oben erwähnte Möglichkeit der Energiegewinnung ist als Vorteil zu betrachten.
Korrosionsprobleme, die sich durch die in den Abwässern vorhandenen Halogen-, Stickstoff- und Schwefelverbindungen ergeben, können unter Umständen zu Problemen führen, die besondere Aufmerksamkeit erfordern.

4.3. Nassoxidationsverfahren

Prinzip

Organische Inhaltsstoffe der Abwässer werden durch eine Oxidation in flüssiger wässriger Phase zerstört. Die Oxidationstemperaturen liegen unterhalb der kritischen Temperatur des Wassers, um 270 bis 300 °C. Der Vorgang kann katalytisch beschleunigt werden. Anorganische Stoffe verbleiben im behandelten Wasser. Der Betriebsdruck beträgt etwa 120 bar.

Materialfluss- und Anlageschema

Das Kernstück der Anlage besteht aus einer druckfesten Oxidationskammer, in die das vorgewärmte Abwasser gepumpt wird. Luft wird durch einen Kompressor bis zu einem Betriebsdruck von etwa 120 bar in die Reaktionskammer gedrückt. Die Reaktionsgase werden nach der Entspannung in einem Abscheider vom oxidierten Abwasser getrennt und allenfalls durch eine Abgaswäsche gereinigt. In einem Wärmeaustauscher wird sodann der Wärmeinhalt des Abflusses auf das zufliessende Wasser übertragen. Der Katalysator (in vielen Fällen genügt ein Zusatz geringer Mengen von Kupfer-2-Ion) kann vom gereinigten Abwasser durch Fällung, Sedimentation und Filtration abgetrennt und anschliessend wiederverwendet werden (Bild 9).

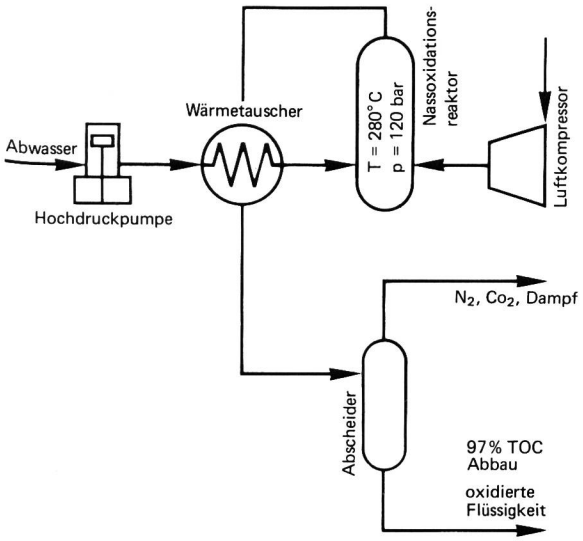

Bild 9. Nassoxidation von Chemie-Abwässern. Prinzipschema der eigentlichen Oxidation.

Einsatzgebiete

Behandlung hochbelasteter Abwässer mit biologisch nicht oder schwer abbaubaren organischen Inhaltsstoffen [9]. Nassoxidation ist ein Spezialverfahren, das nicht für die grossen Volumina einer Kläranlage, sondern für kleine Mengen besonderer Abwässer geeignet ist. Als besonderer Vorteil ist die Möglichkeit des Abbaus praktisch aller Organika zu CO_2 anzusehen. Abbaugrade für biologisch sehr schwer abzubauende Abwässer liegen in der Grössenordnung von 95 bis 97 % TOC-Abbau. In geringer Menge entstehen daneben niedrigmolekulare Verbindungen, wie z. B. Essigsäure. Organisch gebundener Stickstoff findet sich als Ammoniak wieder, der unter Umständen nach der Oxidation durch Strippen zu entfernen ist. Gegenüber den Hochtemperatur-Verbrennungsverfahren ist von Vorteil, dass das Wasser (mit seiner hohen Verdampfungswärme) nicht verdampft werden muss. Dies bringt eine bessere Energiebilanz mit sich.
Hochbelastete Abwässer mit einem CSB-Gehalt von über ca. 30 000 ppm können vom energetischen Standpunkt aus gesehen selbsttragend sein. Nachdem die Anlage angefahren ist, wird hier keine zusätzliche Wärmeenergie verbraucht.
Da Halogenverbindungen zu Halogenwasserstoff abgebaut werden, ist die Frage des Materials des Hochtemperatur-Reaktors besonders kritisch. Als korrosionsfestes Material bietet sich Titan an.
Anwendungsbeispiele liegen im Bereich der Behandlung von Überschuss-Schlamm einer konventionellen Anlage, der Regeneration von Aktivkohlepulver belegt mit Belebtschlamm, wie es aus einer Aktivkohle-Fliessbett-Biologie anfällt, sowie insbesondere bei der Behandlung schwer abbaubarer Chemieabwässer.

4.4. Fällungsverfahren

Prinzip

Bei diesen Verfahren werden gewisse wasserlösliche Schadstoffe durch Zusatz von speziellen Reagenzien in eine unlösliche Form gebracht und anschliessend durch Flotation, Sedimentation oder Filtration abgetrennt.
Die Chemie der Abtrennung anorganischer Salze durch Zugabe bestimmter Fällungsreagenzien braucht hier nicht weiter beschrieben zu werden.
Weniger bekannt ist jedoch die Möglichkeit, anionische Organika mit einem kationischen copolymeren Fällungsreagens [10] (Colfloc) in eine unlösliche Form überzuführen, die abgetrennt werden kann. Das leicht kationische Fällungsreagens Colfloc besteht aus einem Copolymeren aus Dicyandiamid, Formaldehyd und Ammoniumchlorid. Anionische Farbstoffe können damit in einen unlöslichen Niederschlag umgewandelt und entfernt werden. Aus diesem Grunde eignet sich diese Substanz speziell zur Entfärbung von Färberei-Abwässern.
Allgemeine Flockungsmittel, die zur besseren Abtrennbarkeit von Schlämmen und Schwebstoffen eingesetzt werden, können ebenfalls zu dieser Gruppe gezählt werden. Dabei handelt es sich allerdings nicht um die Bildung eigentlicher Bindungen zwischen Anionen und Kationen, sondern eher um Wechselwirkungen geladener Mikroteilchen mit einem kationischen oder allenfalls auch anionischen Polymeren, die mit einer Änderung des Zeta-Potentials der Schwebeteilchen einhergehen.

Materialfluss- und Anlageschema

Fällungsverfahren sind Durchflussverfahren, bei denen bei geeigneten pH-Bedingungen Fällungsmittel zudosiert und das Ausgefällte durch ein der jeweiligen Situation angepasstes Abtrennungsverfahren (Filtration, Sedimentation, Flotation) entfernt werden.

Einsatzgebiete

Diese sind überall dort zu suchen, wo schwer abbaubare ionische Verbindungen abzutrennen sind, im besonderen also bei der Behandlung von Färbereiabwässern, die anionische, aber auch kolloidal verteilte, nicht ionische Farbstoffe in signifikanten Mengen enthalten. Im weiteren sind alle eigentlichen Fällungsreaktionen grundsätzlich nutzbar. Die beschränkenden Randbedingungen dürften durch die wirtschaftlichen Aspekte gegeben sein.

Die Bildung des unlöslichen Niederschlages folgt den Regeln des Massenwirkungsgesetzes. Daher wäre zur absoluten Entfärbung eines Abwassers ein geringer Überschuss des kationischen Polymeren notwendig. Dieser Überschuss bewirkt aber gleichzeitig eine gewisse Solubilisierung des Niederschlages. Deshalb, und weil Colfloc etwas fischtoxisch ist, sollte nicht eine vollständige Entfärbung angestrebt werden. Eine geringe Restfarbe ist vom Gesichtspunkt des Gewässerschutzes aus gesehen weniger problematisch als ein Überschuss des Copolymeren. Ein optimiertes System enthält daher auch ein Dosiersystem mit Mess- und Regelstrecke, um das Copolymere entsprechend der zu entfernenden Farbe zu dosieren.

In der gegenwärtig im Bau begriffenen ARA Ciba-Geigy/Roche Basel wird dieses Verfahren zur Entfärbung der Abwässer eingesetzt werden.

4.5. Destillationsverfahren

Prinzip

Die in der chemischen Technologie an und für sich bekannten Prinzipien destillativer Trennungen werden zur Behandlung von Abwässern herangezogen. Es können also solche Inhaltsstoffe entfernt werden, die sich durch einen relativ hohen Dampfdruck auszeichnen.

Materialfluss- und Anlageschema

Diese entsprechen im allgemeinen denjenigen üblicher Destillationsverfahren (Bild 10).

Da geringe Konzentrationen flüchtiger Verbindungen von einer grossen Menge Wasser abzutrennen sind, ist der optimalen Nutzung der Wärme besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Unter Umständen sind unter diesem Gesichtspunkt sogenannte «Strip-Kolonnen», also nicht eigentliche Destillationskolonnen, vorteilhaft, in denen die Lösungsmittelanteile durch einen Dampfstrom ausgeblasen werden.

Einsatzgebiete

Destillationsverfahren finden ihren Einsatz als Teil eines Gesamtentsorgungsplans eines Werkes. Sie eignen sich besonders zur Abtrennung von Lösungsmitteln, die in Konzentrationen über etwa 0,2 % (2000 ppm) in einem Prozessabwasser vorliegen. Die Lösungsmittel können durch dieses Verfahren zurückgewonnen werden. Diesem Vorteil steht als Nachteil der relativ grosse Energieaufwand, der zur destillativen Abtrennung notwendig ist, gegenüber.

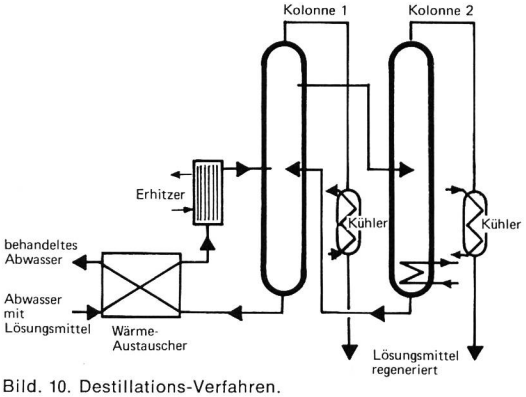

Bild. 10. Destillations-Verfahren.

Destillationsmethoden sind zudem Spezialmethoden, die sich in einigen eng begrenzten Gebieten anwenden lassen. Wegen ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften können schwerflüchtige anorganische Stoffe nicht abgetrennt werden.

Obschon die Destillation in der chemischen Industrie eine gebräuchliche Operation darstellt, sind doch destillative Abwasserreinigungsverfahren erst vereinzelt anzutreffen. In einem unserer Werke läuft eine Anlage zur Rückgewinnung von Aceton aus Prozessabwässern.

4.6. Extraktionsverfahren

Prinzip

Löslichkeitsunterschiede der zu extrahierenden Stoffe werden bei diesen Verfahren herangezogen, um Inhaltsstoffe der Abwässer in eine Lösungsmittelphase zu extrahieren. Das Extraktionsmittel darf mit Wasser nicht mischbar sein. Aus Kostengründen muss auch das Extraktionslösungsmittel wieder zurückgewonnen werden; dies geschieht im allgemeinen durch Destillation. Die extrahierte Substanz wird abgetrennt und durch eine nachfolgende Reinigungsstufe (eventuell ebenfalls Destillation) zur Wiederverwendung aufbereitet.

Anlageschema

Eine Anlage besteht aus zwei gekoppelten Kreislaufsystemen (Bild 11).

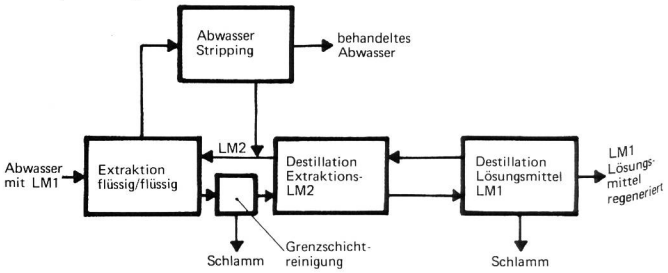

Bild 11. Extraktions-Verfahren.

Aus der Darstellung geht der Kreislauf des Extraktionslösungsmittels hervor. Im Extraktionsschritt wird die Grenzschicht zwischen wässeriger und Lösungsmittel-2-Phase laufend erneuert. Den aus dieser Schicht entfernten Schlamm trennt man durch Filtration ab. Dadurch wird eine saubere Trennung sichergestellt.

Die Trennung des extrahierten Stoffes vom Extraktionsmittel erfolgt destillativ, wenn dies durch genügend unterschiedliche Siedepunkte möglich ist. Da das extrahierte Rohabwasser immer noch Spuren beider Lösungsmittel enthalten kann, wird es anschliessend noch in einer Füllkörperkolonne im Gegenstrom mit Dampf nachbehandelt, wobei weitere flüchtige Lösungsmittelanteile abgetrennt werden (Abwasser-Stripping). Im vorliegenden Fall erfolgt die Reinigung des extrahierten Lösungsmittels (LM 1) durch eine nachfolgende Destillation.

Einsatzgebiete

Extraktionsverfahren sind nicht allgemein zur Abwasserreinigung anwendbar. Sie sind auf Spezialfälle bestimmter Prozess-Abwässer beschränkt.

Als Anwendungsbeispiel sei die Rückgewinnung von Dimethylformamid aus einer 3 %igen, wässerigen Lösung erwähnt.

Es ist als Vorteil zu werten, wenn Stoffe im Sinne des Recycling-Gedankens aus den Abwässern nicht zerstört, sondern zurückgewonnen und in einen Prozess zurückgeführt werden. Aus diesem Grunde wären regenerative Verfahren

direkt nach einem Produktionsprozess immer dort anzuwenden, wo einzelne Stoffe gezielt und spezifisch behandelt werden sollen. Auf der anderen Seite sind diese Verfahren energieintensiv, wobei die Energie zur Hauptsache in Form von Dampf aufgewendet werden muss. Im Vergleich mit anderen Entsorgungsverfahren ist die Technologie der Extraktionsverfahren komplexer, und zu ihrer Durchführung ist Fachpersonal notwendig.

4.7. Adsorption an Aktivkohle

Prinzip

Inhaltsstoffe der Abwässer werden an der grossen inneren Oberfläche granulierter Aktivkohle adsorbiert. Dabei handelt es sich um unspezifische Wechselwirkungen zwischen den Schadstoffen und der Oberfläche, die je nach Aktivkohletyp bis zu einigen 100 m^2/g Aktivkohle betragen kann.

Materialfluss- und Anlageschema

Normalerweise durchströmt die zu reinigende Lösung eine mit Aktivkohle gepackte Säule von oben nach unten oder umgekehrt. Eine oder mehrere Säulen werden hintereinander geschaltet. Periodisch, d. h. nach der Erschöpfung der Aktivkohle, werden die Adsorptionskolonnen mit umgekehrter Durchflussrichtung, eventuell mit Dampf, regeneriert.

In speziellen Fällen können jedoch auch Fliessbettverfahren chargenweise angewendet werden, d. h. die Aktivkohle wird in einem grösseren Reaktionsgefäss zur Flüssigkeit zudosiert und nach einer bestimmten Verweilzeit wieder abfiltriert.

Einsatzgebiete

Wegen der erforderlichen grossen Aktivkohlemengen eignen sich Aktivkohle-Adsorptionsverfahren nicht allgemein zur Nachreinigung biologisch gereinigter Abwässer. Ihr Einsatzgebiet liegt vor allem in der Vorreinigung bestimmter Abwässer, die in kleinen Mengen anfallen.

Vorteilhaft wirkt sich die Möglichkeit der Regeneration der adsorbierten Wasserinhaltsstoffe aus. Im weiteren können mit solchen Systemen relativ niedrige Restkonzentrationen erreicht werden.

Dagegen sind viele Aktivkohlesysteme empfindlich gegen mechanische Verstopfung der Poren der Aktivkohle, was zu einem Aktivitätsverlust führen kann. Die Art der physikalischen Wechselwirkungen zwischen Aktivkohle und Schadstoff bringt es mit sich, dass Stoffe in einer Durchflusskolonne gut adsorbiert werden, um dann bei deren Erschöpfung nicht allmählich, sondern plötzlich durchzubrechen.

Wegen dieser Eigenschaft werden oft mehrere Kolonnen sicherheitshalber hintereinander geschaltet. Die behandelten Abwässer müssen mit geeigneten Überwachungseinrichtungen laufend kontrolliert werden.

Als Beispiel für die Anwendung von Aktivkohle sei eine Produktion erwähnt, die Abwässer mit phenolischen Komponenten liefert. In diesem Fall wird die Aktivkohle dem Lieferanten zur Regeneration übergeben. In einer anderen Anlage wird Aktivkohle eingesetzt zur Rückgewinnung von Nitrobenzol; über 98 % davon werden aus den Prozessabwässern entfernt und wieder in die Produktion zurückgeführt. Die vorbehandelten Abwässer gelangen anschliessend in eine konventionelle Abwasserreinigungsanlage (Bild 12).

In einem amerikanischen Werk werden die gelösten Restgehalte eines Herbizids durch Aktivkohleadsorption eliminiert.

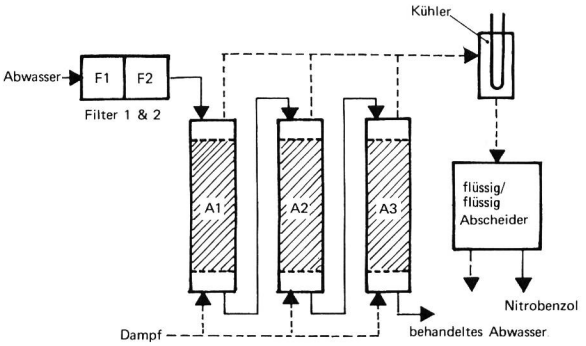

Bild 12. Aktivkohle-Adsorption für Nitrobenzol. A1, A2, A3: Aktivkohle-Kolonnen.

Zur Regeneration der Aktivkohle

Aus Kostengründen ist die Aktivkohle nach ihrer Erschöpfung zu regenerieren. Dies bedingt eine besondere Technologie, da nicht nur die Schadstoffe entfernt werden müssen, sondern auch die Aktivität der Kohle wieder hergestellt werden, d. h. eine neue aktivierte Oberfläche gebildet werden muss.

Solange es sich bei den adsorbierten Stoffen um organische handelt, können diese Ziele durch thermische Methoden erreicht werden. Sind aber anorganische, nicht-flüchtige Stoffe zu entfernen, so muss die verbrauchte Kohle vorgängig ausgewaschen werden. Dass dabei die Inhaltsstoffe wiederum in einem Abwasser vorliegen, sei nur am Rande erwähnt.

Die eigentlichen Schritte der Regeneration ergeben sich aus der folgenden Darstellung:

Aktivkohle Regeneration
Verfahrensschritte

Trocknung

Temperaturen bis zu 100°C.

Desorption reversibel adsorbierter Stoffe
Pyrolyse irreversibel adsorbierter Stoffe

Temperaturen von 100°C. bis ca. 700°C.

Oberflächenregeneration
Wasserdampf-Vergasung von Kohlenstoff

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$$

Temperaturen über 700°C.

Durch die Wassergasreaktion am Ende des Regenerationszyklus wird eine neue Oberfläche gebildet.

Bei dieser Regeneration können auch mechanische Probleme auftreten: Durch Abrieb ergeben sich unter Umständen beträchtliche Verluste.

Über die Technologie der Regeneration ist in der Literatur wenig bekannt. Nach den uns zugänglichen Informationen werden Drehrohröfen sowie Etagenöfen eingesetzt; für die Regeneration gepulverter Aktivkohle aus Biologien wurde auch die Nassoxidation [7a] [7b] vorgeschlagen.

4.8. Adsorption an Ionenaustauschern

Prinzip

Das Prinzip des Ionenaustauschers, in der analytischen Chemie und auch in der Wasseraufbereitung schon seit Jahren angewendet, kann auch zur Entfernung gewisser spezifischer Schadstoffe aus Abwässern herangezogen werden. Die Schadstoffe werden dabei an die reaktiven Gruppen der Ionenaustauscherharze gebunden. Wie Aktivkohlesysteme lassen sich auch diese Systeme regenerieren, so dass unter Umständen der adsorbierte Schadstoff wiedergewonnen werden kann.

Einsatzgebiete

Obschon grundsätzlich auch organische Ionen an Ionenaustauschern gebunden werden können, liegt der Schwerpunkt der Einsatzgebiete doch im Bereich der Abtrennung von anorganischen Ionen, im allgemeinen von Schwermetallen, wie z. B. Quecksilber. Von Fall zu Fall ist abzuklären, ob für ein zu lösendes Problem ein entsprechendes Ionenaustauscherharz überhaupt zur Verfügung steht.

Die relative Einfachheit des Verfahrens, das ausser Füllkolonnen, Pumpen und Flüssigkeitsbehältern praktisch keine anderen Anlageteile benötigt, ist ein Vorteil.

Auch die Möglichkeit, das gebundene Metallion zurückzugewinnen, kann unter Umständen vorteilhaft sein. Ein Nachteil ist der im allgemeinen hohe Preis der Ionenaustauscherharze.

Anwendungsbeispiele in der Wasseraufbereitung sind seit Jahrzehnten bekannt, auf dem Abwassersektor hat sich in den letzten Jahren ein Ionenaustauscherverfahren zur Entfernung der letzten Quecksilberspuren aus Abwässern der Chloralkali-Elektrolyse nach dem Amalgamverfahren bewährt. Dieses Verfahren der Firma AKZO benutzt ein spezielles Adsorberharz, welches Sulfhydrylgruppen (R-SH) als aktive Bindungsstellen enthält. Das Quecksilberion kann auch wieder regeneriert werden. Metallisch vorliegendes Quecksilber muss vor dem Durchlauf durch eine oxidative Vorbehandlung in Quecksilberion übergeführt werden. Das Verfahren erlaubt es, am Kolonnenausgang Quecksilberkonzentrationen in der Grössenordnung von 5 ppb einzuhalten Die Regeneration erfolgt mit konzentrierter Salzsäure.

4.9. Umgekehrte Osmose

Prinzip

Die Erscheinung der Osmose ist an das Vorhandensein einer Membran gebunden, die nur einen Teil der Inhaltsstoffe einer Lösung durchlässt. Bei der normalen Osmose tritt Wasser aus der verdünnten Lösung durch die Membran in die konzentriertere Lösung über, letztere wird also verdünnt. In der technischen Umkehrosmose wird ein externer Druck auf die konzentriertere Lösung ausgeübt. Dadurch wird der Vorgang umgekehrt: Die konzentrierte Lösung wird immer konzentrierter, während das durchtretende Wasser (das Permeat) praktisch frei von gelösten Stoffen ist. Die technisch verwendeten Membranen basieren heute meistens auf Cellulose-Acetat. In selteneren Fällen kommen auch spezielle Polyamide zur Anwendung [11a] (Bild 13).

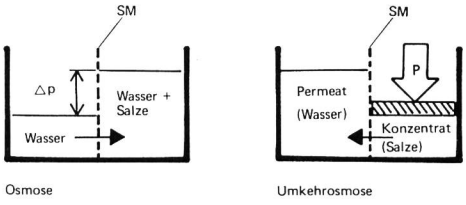

Bild 13. Das Prinzip der Umkehrosmose. Δp osmotischer Druck; P externer Gegendruck; SM semipermeable Membran.

Anlageschema

Die technischen Ausführungen [11b] der heutigen Umkehrosmoseeinrichtungen sind im wesentlichen in drei Formen anzutreffen: Hohlfaser- und Röhrenbündelsysteme, Plattenpakete sowie spiralförmig gewundene Einheiten. Im allgemeinen werden mehrere Permeationseinheiten, zum Teil in Serie, zum Teil parallel, zusammengeschaltet. Dadurch kann eine optimale Verteilung der Konzentrationsgefälle der durchtretenden Wasservolumina erreicht werden (Bild 14).

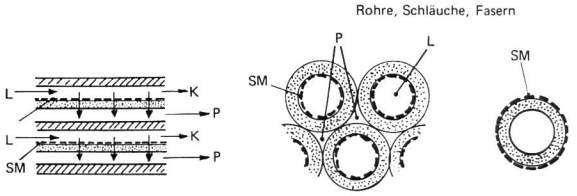

Bild 14. Umkehrosmose Ausführungsformen. L zufliessende Salzlösung; K abfliessendes Konzentrat; P Permeat (Wasser); SM semipermeable Membran.

Einsatzgebiete

Der wesentliche Vorteil des Umkehrosmoseverfahrens ist die Möglichkeit, Salze entfernen zu können, ohne das gesamte Lösungsmittel (im allgemeinen Wasser) unter hohem Energieaufwand verdampfen zu müssen. Daneben kann auch ein gewisser Trenneffekt erzielt werden, indem z. B. Salze die Membran passieren, grössere Moleküle dagegen zurückgehalten werden.

Das technische Problem liegt darin, eine möglichst dünne Membran herzustellen, die trotzdem gegen Temperatur- und pH-Einflüsse beständig ist. Mit den meist verwendeten Celluloseacetat-Membranen ist dies bisher nur zum Teil gelungen. Die Umkehrosmose wird daher praktisch im grösseren Massstab erst zur Entsalzung von Wasser [11c] [11d] [11e] (Trinkwasser, Kesselspeisewasser) benützt. Auf dem Abwassergebiet muss die Entwicklung von Membranen abgewartet werden, die durch die meist vorhandenen Säuren, Laugen und Spuren organischer Lösungsmittel nicht zerstört werden. Es bestehen Aussichten, dass dies mit speziellen Polyamiden erreicht werden kann.

4.10. Gesamtanwendung im Betrieb

Die Diskussion der verschiedenen Verfahren hat gezeigt, dass es sich meistens um Spezialverfahren handelt. Daraus ergibt sich, dass diese nicht unkritisch allgemein angewendet werden können. Die vielerorts verbreitete Idee einer «dritten Stufe», die nach der üblichen biologischen Abwasserreinigung nachgeschaltet werden kann, ist sicher nicht richtig.

Grundsätzlich müssen spezielle Prozessabwässer und die zu ihrer Reinigung vorgesehenen Verfahren zusammenpassen. Daher ist bei der Auswahl eines Verfahrens die Abwassercharakteristik herbeizuziehen, und die Selektion der Verfahren soll u. a. aufgrund dieser Daten erfolgen (Bild 15).

Auch aus einer Betrachtung der volumenspezifischen Kosten der verschiedenen diskutierten Verfahren ergibt sich, dass eine Nachbehandlung des gesamten biologisch gerei-

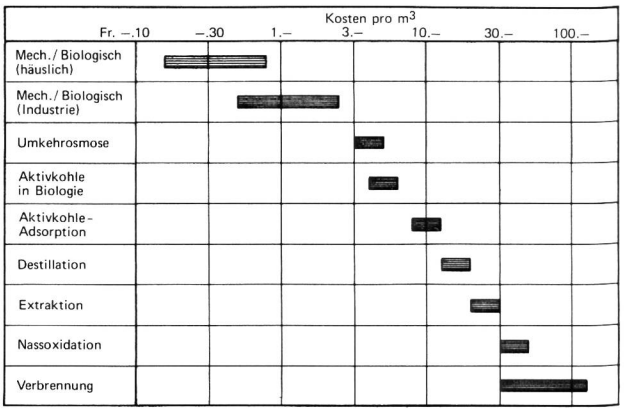

Bild 15. Approximative Kosten der Abwasserreinigung. Typische Schmutzlast etwa 10 kg/m³.

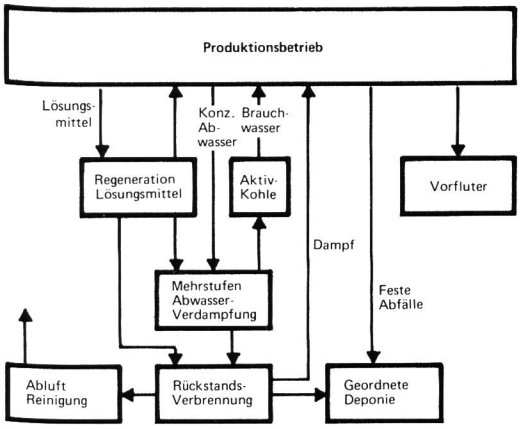

Bild 16. Gesamt-Entsorgungskonzept eines Werkes.

nigten Abwassers schon aus wirtschaftlichen Gründen nicht tragbar ist. Die in der Darstellung aufgeführten Kosten liegen immerhin um zwei Zehnerpotenzen auseinander. Dabei sind die biologischen Verfahren an der unteren Grenze zu finden. Da diese Kosten von der Zusammensetzung der zu behandelnden Abwässer, von deren Menge und weiteren Faktoren abhängen, sind die Angaben als Richtgrössen zu verstehen. Bei regenerativen Verfahren — Destillation, Extraktion, unter Umständen auch Ionenaustauscher, Verbrennungsverfahren mit Energie-Nutzung — spielt bei der wirtschaftlichen Beurteilung auch der Wert der zurückgewonnenen Stoffe resp. der Energie eine wichtige Rolle. Aber nur in besonders günstigen Fällen werden die Reinigungskosten durch den Wert der zurückgewonnenen Stoffe aufgewogen.

Aus diesen Tatsachen ergibt sich auch, dass viele der beschriebenen Verfahren direkt im Produktionsbetrieb, als letzter Schritt einer Anlage, angewendet werden müssen. Dabei ist es oft schwierig, genau zu trennen, wo nun die Produktion aufhört, und wo die Abwasserreinigung anfängt. In der Praxis ist es oft sinnvoll, verschiedene der erwähnten Verfahren zu einem Gesamtentsorgungskonzept zu vereinigen (Bild 16).

Ein solcher Gesamtplan geht aus der eingangs erwähnten Analyse der Abwassersituation hervor. Er kann beispielsweise enthalten: Anlagen zur

- Lösungsmittelrückgewinnung durch Destillation
- Verbrennung von Lösungsmittelrückständen
- Abwasserreinigung durch mehrstufige Destillation mit Wasserrückgewinnung
- Verbrennung der konzentrierten Rückstände der Abwasserdestillation

Zu diesem Gesamtkonzept gehören auch Abgasreinigungssysteme für verschiedene Teilbereiche sowie Möglichkeiten einer geordneten Deponie für die unvermeidlichen festen Rückstände. Ein Konzept auf dieser Basis ist gegenwärtig in einem unserer Werke in Italien in Ausführung begriffen.

5. Berüchsichtigt der Gesetzgeber Massnahmen im Betrieb?

Von der technischen Seite her gesehen und auch vom Gesichtspunkt des Umweltschutzes ist es sinnvoll, Massnahmen direkt an der Quelle durchzuführen. Spezifische Anlagen können also direkt im Betriebsgebäude als letzter Schritt einer Produktion stehen. Dies kann zu formellen Problemen führen. Der Gesetzgeber schreibt Abbauraten vor, in der Eidgenössischen Verordnung über Abwassereinleitungen z. B. 85 % BSB_5-Abbau oder 85 % DOC-Abbau. Wenn als Berechnungsgrundlage nun die Konzentration an der Werksgrenze einerseits und hinter einer konventionellen biologischen Kläranlage andererseits genommen wird, so werden die innerbetrieblichen Massnahmen nicht berücksichtigt.

Zudem ergibt sich ein weiteres Problem: Je mehr Substanzen an der Quelle schon entfernt werden, desto schwieriger wird es, die Restsubstanzen völlig abzubauen (Bild 17).

Derjenige Betrieb, der eine grosse Menge leicht abbaubarer Substanzen an der Werksgrenze in eine Kläranlage abgibt, kann problemlos eine hohe Abbaurate verwirklichen. Der Betrieb, der innerbetriebliche Massnahmen ergriffen hat, ist benachteiligt, weil von der geringeren Restlast nur ein kleinerer Anteil abbaubar ist. Trotzdem ist die Menge der in den Vorfluter am Ende noch abgegebenen Substanzen geringer; der durch innerbetriebliche Massnahmen entsorgte Betrieb belastet also die Gewässer weniger. Der Gesetzgeber sollte diese Gesichtspunkte mitberücksichtigen.

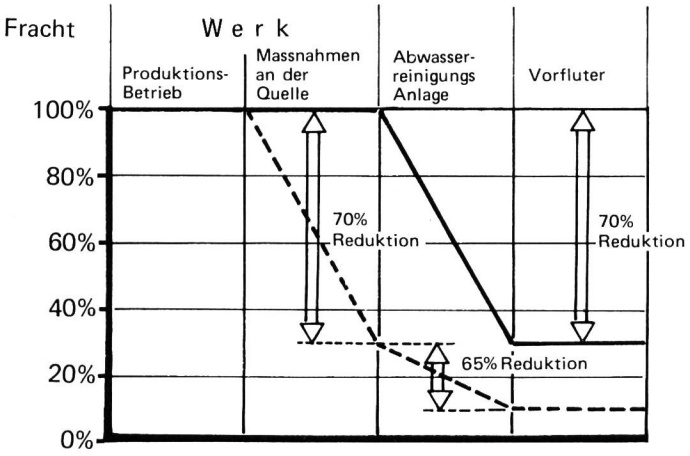

Bild 17. Massnahmen an der Quelle ergeben höhere Gesamtabbau-Raten.

6. Facit

Zusammenfassend lässt sich die Realität in Sachen Gewässerschutz aus industrieller Sicht folgendermassen darstellen:

1. Die gegenwärtig gebräuchlichen biologischen Abwasser-Verfahren erfüllen zwar die heutigen Auflagen des Gesetzgebers weitgehend. Die in der Verordnung über Abwassereinleitungen von 1975 vorgeschriebenen Abbauraten für den BSB_5-Wert können erreicht werden.
2. Aus ökologischer Sicht jedoch ist fallweise eine weitergehende Reinigung zur Entfernung der schwer abbaubaren Substanzen wünschenswert.
3. Hierfür bieten sich verschiedene technische Verfahren an; diese müssen aus der Sicht der jeweiligen Problematik individuell ausgewählt und angewendet werden. Verfahren «von der Stange» sind nicht die Lösung. Fallweise müssen neue Methoden erst erarbeitet und angepasst werden. Diese Tätigkeiten brauchen Zeit. Eine Umstellung wird nicht von heute auf morgen möglich sein.
4. Die heute üblichen Einheitskosten pro m^3 Abwasser oder pro t Schmutzlast werden durch diese neueren Verfahren weit überschritten werden, der Gewässerschutz verlangt also zusätzliche Mittel. Der finanzielle Aufwand nimmt mit zunehmenden Anforderungen an die Verfahren progressiv

zu. Es ist sinnvoll, diese Mittel dort einzusetzen, wo der Gesamtnutzen im Ökosystem am grössten ist.

5. Da viele der besprochenen Verfahren direkt am Produktionsort wirksam werden, verbleibt unter Umständen eine geringe Restlast von schwer abbaubaren Stoffen, die in einer biologischen Kläranlage nur noch wenig verändert wird. Trotzdem ist die Restbelastung der Umwelt durch ein solchermassen entsorgtes Werk geringer. Der Gesetzgeber sollte diese Tatsache zur Kenntnis nehmen und auch innerbetriebliche Massnahmen in seinen Auflagen berücksichtigen, d. h. sich nicht nur auf die Festlegung von Abbaugraden beschränken.

6. Fortschrittliche industrielle Unternehmen haben diese Problematik erkannt und arbeiten aktiv an ihrer Lösung. Alle diese Massnahmen werden teilweise aber zu erhöhten Produktionskosten führen, die letztlich für die Festlegung der Verkaufspreise der industriellen Produkte mitbestimmend sind. Trotz Verursacherprinzip wird der Konsument diese Massnahmen, wenn auch in geringem Masse, zu spüren bekommen. Dies ist der Preis, den er für eine Erhöhung seiner Lebensqualität zu bezahlen hat.

Literaturverzeichnis

[1] Tätigkeitsberichte der Internationalen Kommission zum Schutze des Rheins gegen Verunreinigung, D-5400 Koblenz, 1977 und frühere

[2] Karl Geert Malle. Wie schmutzig ist der Rhein? Chemie in unserer Zeit, 12, (4) 111 (1978)

[3] Die Materialbilanz wurde erstellt aufgrund der Aussenhandelsstatistik der Schweiz, 1977. Berücksichtigt wurden die folgenden Zollpositionen: 28 Anorganika, 29 Organika, 3003.20 Pharmazeutika. 3205.01 Farbstoffe und Pigmente, 3811.10 + 3811.20 Pflanzenschutz- und Desinfektionsmittel, 3819.36 Textil- und Lederhilfsmittel, 3901.12 Epoxiharze sowie 3801.01, 3802.01, 3803.10, 3803.12 Diverse Hilfsstoffe. Dazugerechnet wurde ein Drittel der Salzproduktion der Schweiz

[4] Alexander Bauer und Gerhard Leistner. Die zentrale Abwasserreinigungsanlage des Werkes Hoechst der Hoechst AG, Chemie-Technik, 7, 51 (1978)

[5] anon. How Bayer's tower biology works, Chemical Week 1976 November 10, p. 67

[6a] Imperial Chemical Industries Limited «The ICI Deep Shaft Effluent Treatment Process», Technical Bulletin

[6b] anon. ICI's underground waste treatment process successful, European Chemical News, 1976, February 6, p. 23

[6c] anon. ICI achieves sewage treatment breakthrough, European Chemical News, 1975, April 18, p. 42

[6d] H. Kubota, Y. Hosono, K. Fujic. Characteristic evaluations of ICI air-lift type deep shaft aerator, J. chem. Eng. Japan 11 (4) 319 (1978)

[7a] anon. Putting powdered carbon in wastewater treatment, Environmental Science and Technology, 11 (9) 854 (1977)

[7b] Sterling Drug Inc., Deutsche Offenlegungsschrift 2 419 863 7, November 1974

[7c] Claus Jähning. Aktivkohleregenerierung durch Nassoxidation ermöglicht wirtschaftliche Abwasserreinigung, gwf-wasser/abwasser 119 (5) 253 (1978)

[8] Ciba-Geigy/Bertrams, Basel. Verbrennen von Industrieabwässern, Technische Unterlagen

[9] H. Bretscher, G. Eigenmann und E. Plattner. Chimia 32 (5) 183 (1978)

[10] P. Richner und B. Kerres. Praxis der Reinigung und Entfärbung textiler Abwässer, Melliand Textilberichte 58 681 (1977)

[11a] anon. DuPont: Research Improves Reverse Osmosis, Environment Reporter/Current Developments (BNA, Washington, D.C.) 1978 September 27

[11b] anon. Reverse Osmosis moves foreward. Chemical Week, 1978, September 27

[11c] anon. Reverse Osmosis at Union Carbide Puerto Rico, Chemical Week 1976, July 14, p. 31

[11d] Hans-Peter Roth. Integrales Industrieabwasserprojekt mit Elektroflotation und Umkehrosmose. Wasser- und Energiewirtschaft 66 (6) 185 (1974)

[11c] anon. Reverse Osmosis at Union Carbide Puerto Rico, Chemical nées, d'expérience de l'osmose inverse, Sci. tech. pharm. 7 (4) 201 (1978)

Adresse der Verfasser: Dr. Hans Bretscher, Leiter der Zentralen Funktion Technik Konzern, und Dr. Gottfried Eigenmann, Ökologie-Technik, Ciba-Geigy AG, 4002 Basel.

Starke Bodenströmungen im Walensee

Eine Auswirkung des Hochwassers vom 31.7./1.8. 1977 in der Zentralschweiz

Dr. André Lambert

Zusammenfassung

Am Nachmittag des 31. Juli 1977 erhöhte sich der Abfluss der Glarner Linth bei der hydrographischen Station Mollis infolge andauernder, starker Niederschläge im Einzugsgebiet innert zehn Stunden um 200 m³/s. Damit einhergehend nahm auch der Feststoffgehalt sprunghaft zu, und infolge des hohen spezifischen Gewichtes des Feststoff-Wassergemisches breitete sich der einmündende Fluss nicht an der Oberfläche des Walensees aus, sondern folgte als Dichtestrom dem Seegrund. Geschwindigkeit, Richtung und Dauer dieses Trübestroms konnten mit Hilfe eines in 85 m Tiefe, 3 m über Grund verankerten, selbstregistrierenden Strömungsmessgerätes aufgezeichnet werden: Während 13 Stunden bewegte sich die durchschnittliche Geschwindigkeit um 25 cm/s und überschritt dreimal die 50-cm/s-Grenze. In dieser kurzen Zeit wurden grössenordnungsmässig 7 Mio m³ Flusswasser und mit ihnen über 40 000 t Schwebestoffe sowie 80 t gelöster Sauerstoff in die grundnahen Zonen des Sees verfrachtet.

Résumé: Courants de turbidité au fond du lac de Walenstadt provoqués par des crues de la Linth

Les pluies torrentielles du 31 juillet 1977 ont provoqué une crue rapide de la Linth: 200 m³/s en moins de 10 heures. A son embouchure dans le lac de Walenstadt la rivière chargée de sédiments ne s'est pas étendue à la surface mais a suivi le fond du lac en formant un courant de turbidité. Ce courant a pu être enregistré par un courantomètre océanographique fixé à 3 m du fond à 85 m de profondeur. La vitesse moyenne était de 25 cm/s avec des pointes de 50 cm/s et l'évènement a duré 13 heures. Une évaluation quantitative montre qu'environs 7 mio de m³ d'eau, 40 000 t de sédiments et 80 t de O_2 ont été transportés dans les zones profondes du lac par ce courant de turbidité.

Abstract: Silt laden underflow in the Walensee due to the flood of July 31st, 1977 of the Linth-river

During the flood of July 31st, 1977, the discharge of the Linth-river — the main tributary of the Walensee — increased very rapidly: 200 m³/s within 10 hours. Due to high concentrations of suspended matter the flood water was dense enough to continue on the lake floor as a silt laden underflow. This event was recorded by an oceanographic current meter anchored at 85 m depth, 3 m above the lake's bottom. The turbidity current lasted for about 13 hours with a mean velocity of 25 cm/s. A rough estimation revealed that 7 mio m³ of river water, 40 000 t of solid matter and 80 t of O_2 were transported into the deeper parts of the lake by the underflow.