

Sauberes Wasser ist keine Selbstverständlichkeit

Autor(en): **Baumann, Urs**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft**

Band (Jahr): **89 (2000)**

PDF erstellt am: **10.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-832588>

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.

Sauberes Wasser ist keine Selbstverständlichkeit

Urs Baumann

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	279
1. Einleitung	280
2. Untersuchung der Verhaltensweise von Stoffen in Kläranlagen	281
3. Gewinnung der nicht abbaubaren Stoffe	284
4. Nicht abbaubare Stoffe in Ostschweizer Gewässern	285
5. Diskussion und Ausblick	287
Literaturverzeichnis	288

Zusammenfassung

Über 95 % des schweizerischen Abwassers wird in Kläranlagen gereinigt. Diese vermögen wasserunlösliche Stoffe aus dem Abwasser zu entfernen. Wasserlösliche Stoffe verlassen nur dann das Abwasser, wenn sie aerob biologisch abbaubar oder an den Belebtschlamm adsorbierbar sind. Mit einfachen Testverfahren können Stoffe auf ihre Verhaltensweise in Kläranlagen untersucht werden. Leider stehen je länger je mehr Produkte im Einsatz, welche von klassischen Kläranlagen nicht aus dem Abwasser entfernt werden können. Sie verbleiben im gereinigten Abwasser und treten in die Oberflächengewässer über, aus welchen wir einen grossen Teil unseres Trinkwassers gewinnen. Vor diesem Hintergrund sollten wir, durch den schlechten Gesundheitszustand der Forellen in unseren Gewässern, wach gerüttelt werden. Sauberes Wasser wird nur dann eine Selbstverständlichkeit bleiben, wenn wir möglichst nur vollständig abbaubare Stoffe dem Abwasser zumuten.

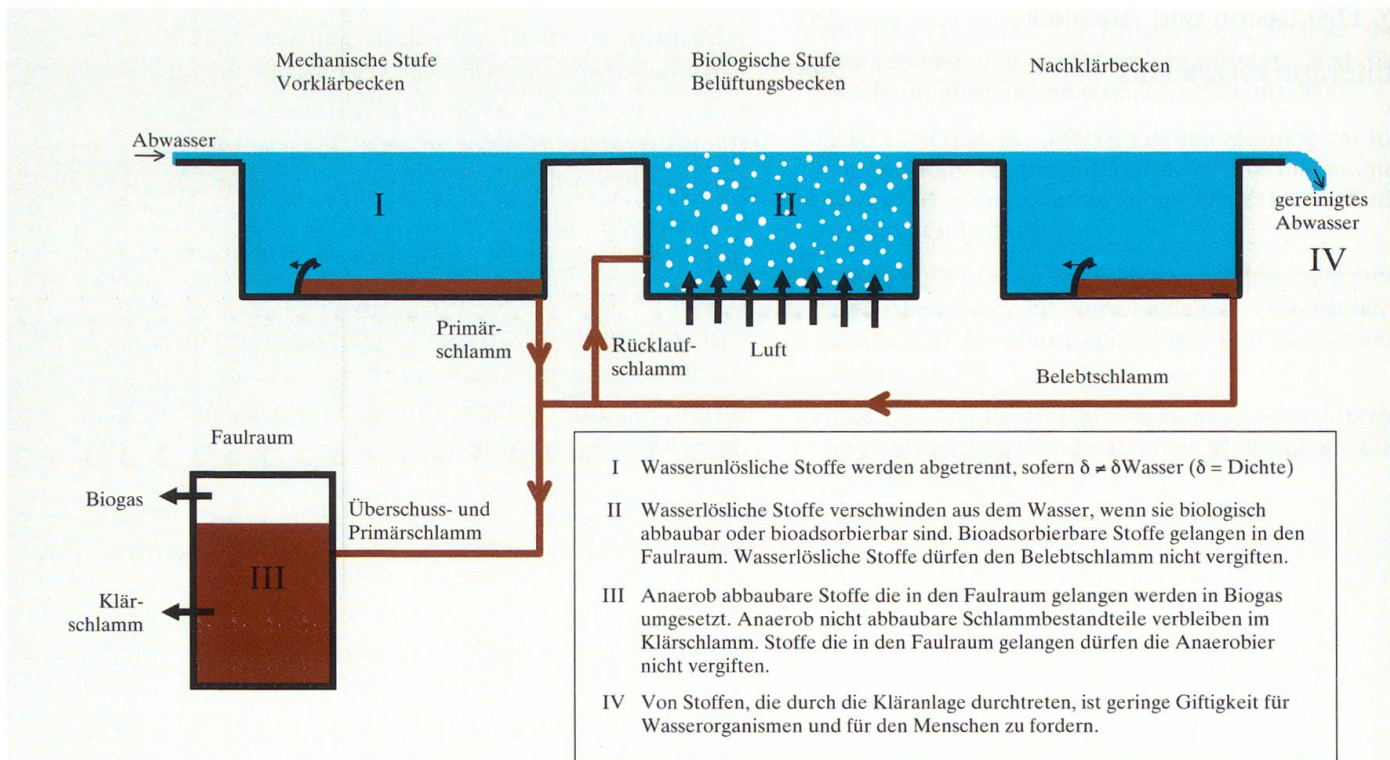
1. Einleitung

Über 95% des schweizerischen Abwassers wird in Kläranlagen gereinigt. Kaum mehr ein Handlungsproblem, könnte man meinen. Dem ist leider nicht so! Die Fähigkeiten der Abwasserreinigungsanlagen werden von den meisten Leuten überschätzt. Für welche Reinigungsleistungen wurden unsere Kläranlagen ausgerüstet? Dies soll einleitend kurz in Erinnerung gerufen werden.

Die typische Kläranlage in der Schweiz verfügt über eine mechanische und eine biologische Reinigungsstufe (Abbildung 1). Das Rohabwasser aus der Kanalisation fliesst über einen Rechen und Sandfang in das Vorklärbecken. In diesen grossräumigen Becken kommt das Wasser zur Ruhe, sodass wasserunlösliche Stoffe sich auf den Beckenrund oder an die Oberfläche des Wassers begeben können. Fäkalien, WC-Papier, Zeolith aus Waschmitteln, alles unlösliche Stoffe mit einer grösseren Dichte als jene des Wassers,

begeben sich auf den Beckenrund und können mit einem Schlammräumer zusammengesoben und als sogenannter Primärschlamm abgezogen werden. Der Überlauf der mechanischen Stufe enthält fast keine unlöslichen Stoffe mehr, wohl aber noch die wasserlöslichen wie zum Beispiel Harnstoff und Reinigungsmittel. Es ist Aufgabe der biologischen Stufe, die wasserlöslichen Stoffe aus dem Wasser zu entfernen. Wie der Name nahelegt, handelt es sich in dieser Stufe um einen biologischen Prozess. Im Belebungsbecken tummeln sich unvorstellbar grosse Mengen an Mikroorganismen, vorwiegend Bakterien, von welchen die Beseitigung der wasserlöslichen Stoffe erwartet wird. Erfolgreich können die Mikroorganismen jedoch nur dann sein, wenn die zu beseitigenden Stoffe Nahrung für sie darstellen, d.h. biologisch abbaubar sind. Der biologische Abbau benötigt Sauerstoff, weshalb in die Belebungsbecken kräftig Luft eingeblasen wird. Nicht selten verlassen Stoffe die Wasserphase durch reines Aufsitzen (Adsorption) auf die riesige Oberfläche der Mikroorganis-

Abbildung 1:
Kläranlage im Überblick.



men. Derartige Stoffe verlassen wohl die Wasserphase, nicht aber die Umwelt.

Der Überlauf des Belebungsbeckens ist eine braune undurchsichtige Lösung, getrübt durch die ausgeschwemmten Belebtschlammflocken. Im Nachklärbecken, welches konstruktiv dem Vorklärbecken weitgehend entspricht, sedimentieren die Belebtschlammflocken und können von einem Schlammräumer zusammengestossen und abgezogen werden. Ein Teil dieses Schlammes wird in das Belebungsbecken zurückgeführt (Rücklaufschlamm). Der überschüssige Belebtschlamm wird zusammen mit dem Primärschlamm (Schlamm aus der mechanischen Stufe) dem Faulraum zugeleitet. Hierbei handelt es sich um grosse Behälter, welche unter Luftabschluss stehen. In ihnen etablieren sich Mikroorganismen welche ohne Sauerstoff ihr Leben fristen (Anaerobier). Anaerob abbaubare Stoffe werden dabei in Biogas, einer Mischung aus rund $\frac{2}{3}$ Methan und $\frac{1}{3}$ Kohlendioxid, umgesetzt. Das anaerob nicht abbaubare Material verbleibt im Faulschlamm (Klärschlamm). In unserer Region wird etwa die Hälfte des Klärschlammes in der Landwirtschaft als Dünger eingesetzt. Je länger je mehr wird der Klärschlamm entwässert, getrocknet und anschliessend verbrannt. Dabei werden die durch Adsorption an den Belebtschlamm aus dem Wasser entfernten organischen Stoffe mineralisiert.

Wasserlösliche, biologisch weder abbaubare noch adsorbierbare Stoffe verbleiben im gereinigten Abwasser. Sie treten in den aquatischen Lebensraum über und können dort zu Schäden führen. Ein Beispiel eines derartigen Stoffes ist das Phosphat, welches grösstenteils durch klassische Kläranlagen hindurchfliesst. Die Überdüngung der Gewässer ist die Folge. In der Zwischenzeit wird in vielen Kläranlagen Eisensalz in das Belebungsbecken zugegeben und dadurch Phosphat als unlösliches Eisenphosphat gefällt.

Leider gibt es viele Stoffe, die im geklärten Abwasser noch immer vorhanden sind.

Ihre Zahl ist im Zunehmen begriffen. Mit dem Auftreten derartiger Stoffe in unserem Trinkwasser ist zu rechnen.

2. Untersuchung der Verhaltensweise von Stoffen in Kläranlagen

Für die Untersuchung des Verhaltens von Stoffen in Kläranlagen liegen verschiedenste Normen vor. Die wichtigsten Verfahren wurden von der OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development, 1993) zusammengefasst. Bei diesen Tests werden die Bedingungen, die in biologischen Klärstufen herrschen, nachgeahmt. In Abbildung 2 sind die dabei allenfalls auftretenden Prozesse summarisch dargestellt. Eine Versuchsanordnung, wie sie an der EMPA (Eidgenössische Materialprüfungs- und For-

Abbildung 2:
Eliminationsprozesse in der biologischen Reinigungsstufe;
MO = Mikroorganismen.

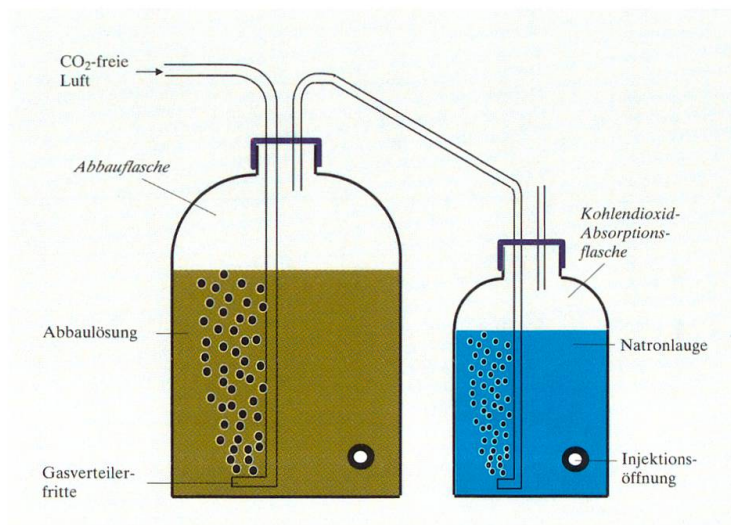
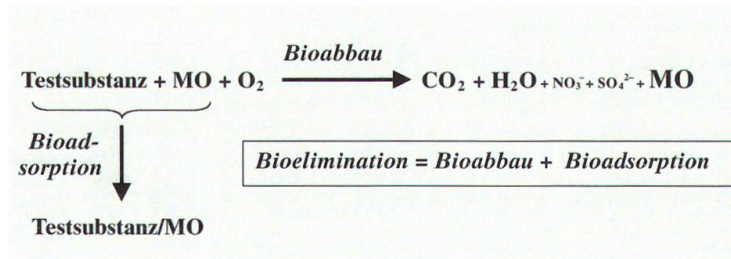
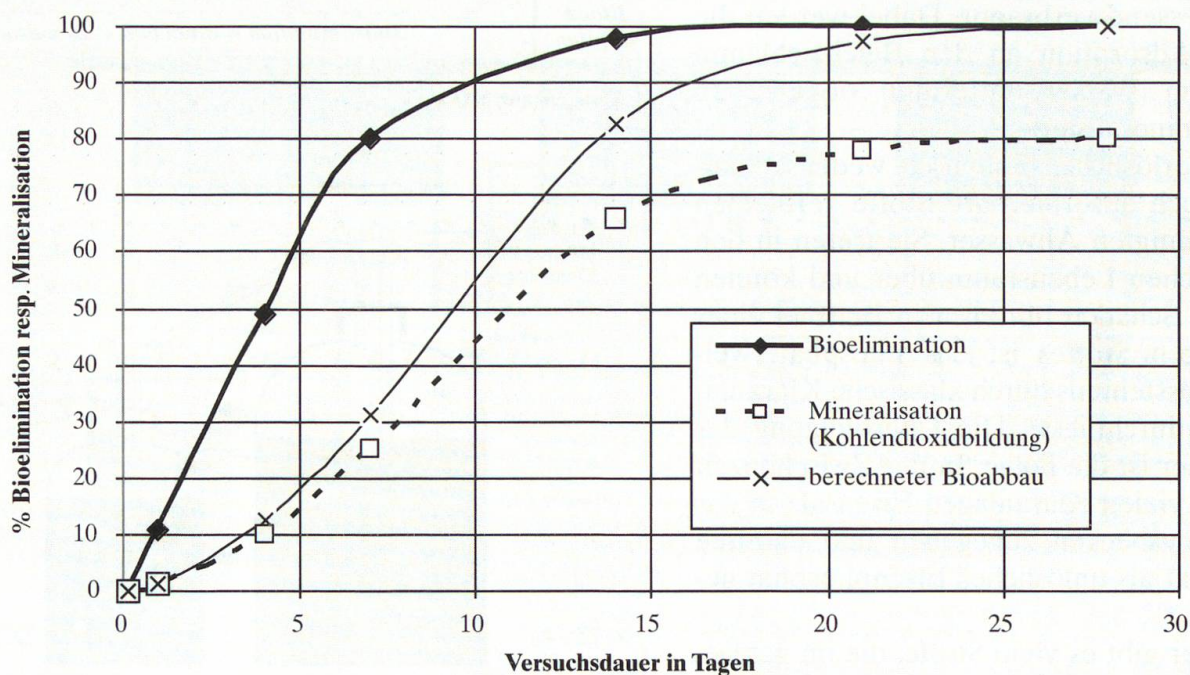


Abbildung 3:
Untersuchungsapparatur für die Bestimmung der Bioelimination und des Bioabbaus wie sie an der EMPA St.Gallen im Einsatz steht.

schungsanstalt) St.Gallen im Einsatz steht, ist in Abbildung 3 ersichtlich (BAUMANN et al. 1997). Das organische Testprodukt wird in Wasser gelöst, sodass eine Kohlenstoffkonzentration von 50 mg/l resultiert. Nach Zugabe von Belebtschlamm aus einer Kläranlage (200 mg Trockensubstanz/l) wird die Abbauflasche verschlossen und kohlendioxidfreie Luft hindurchgeblasen. Die aus dem Abbaugefäss austretende Luft, in welcher allenfalls das durch den Bioabbau der Testsubstanz entstandene Kohlendioxid enthalten ist, wird durch Natronlauge geleitet. Dabei erfolgt die Absorption des Kohlendioxides. Nach unterschiedlichen Versuchszeiten wird mit einer Injektionsspritze aus dem Abbaugefäss eine Flüssigkeitsprobe entnommen, durch Filtration durch ein äusserst feinporiges Filter (Membranfilter; Porengrösse 0,45 µm) die Mikroorganismen abgetrennt und ein klares Filtrat gewonnen. Darin wird der noch vorhandene organische Kohlenstoffgehalt bestimmt. Wünschenswert ist das möglichst rasche Verschwinden des

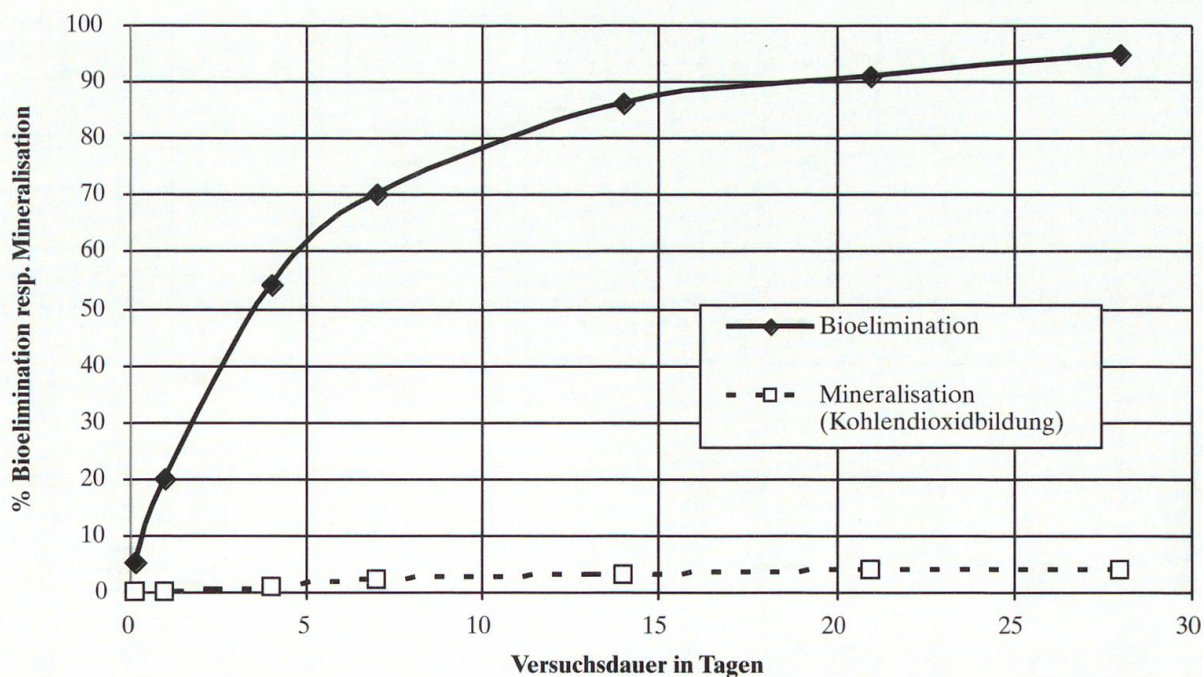
organischen Kohlenstoffes aus der Abbaulösung, das heisst eine rasche und vollständige Bioelimination. Leider erlaubt die beobachtete Bioelimination keine Zuordnung zu Bioabbau oder Bioadsorption. Deshalb wird zu den selben Zeitpunkten, an denen die Abbaulösung beprobt wird, auch ein Muster der Natronlauge entnommen und darin das absorbierte Kohlendioxid bestimmt. Die gleichzeitige Betrachtung beider Messgrößen, der Bioelimination und der Kohlendioxidbildung, erlaubt nun eine klare Zuordnung der beobachteten Bioelimination zu Bioadsorption oder Bioabbau. Abbildung 4 zeigt ein Versuchsergebnis, welches mit einem linearem Fettalkoholethoxylat erhalten wurde. Dieser Stoff wird häufig in Textil-, Geschirr- und Körperwaschmitteln als Netzmittel eingesetzt. Die Bioelimination erreicht nach 14 Tagen 98% (28 Tage; 100%). Erfahrungsgemäss korrelieren die nach 14 Tagen beobachteten Werte gut mit den in realen Kläranlagen auftretenden Bioeliminationen. Es kann somit die Schlussfolgerung gezogen werden, dass das untersuchte Produkt in der biologischen Stufe von Kläranlagen praktisch quantitativ aus dem

Abbildung 4:
Bioelimination, Mineralisation und berechneter Bioabbau von linearem Fettalkoholethoxylat.



Wasser eliminierbar ist und somit kaum zur Verschmutzung der Gewässer beiträgt. Die beobachtete Mineralisation von 80% nach 28 Tagen muss wie folgt interpretiert werden. Auch vollständig abbaubare Stoffe werden nie quantitativ von den Mikroorganismen in Kohlendioxid mineralisiert. Erfahrungsgemäss werden unter den beschriebenen experimentellen Bedingungen circa 20% der abbaubaren Stoffe biochemisch umgewandelt, als Baustoff genutzt und in die wachsenden und sich vermehrenden Mikroorganismen inkorporiert. Es ist deshalb statthaft, die gemessenen Mineralisationsdaten um den inkorporierten Anteil zu erhöhen, um dadurch die Bioabbaukurve zu erhalten. Im vorliegenden Beispiel erreicht die kalkulierte Abbaukurve die Bioeliminationskurve, woraus die Schlussfolgerung gezogen werden kann, dass das Testprodukt in Abwasserreinigungsanlagen durch vollständigen biologischen Abbau aus dem Wasser verschwindet und zu keiner Belastung des Klärschlammes beiträgt.

Abbildung 5:
Bioelimination und Mineralisation
von Polyacrylat.



Polyacrylat, ein Stoff der zum Beispiel als Flockungsmittel, Dispergator und Schlichte in grossen Mengen im Einsatz steht, verhält sich wie in Abbildung 5 ersichtlich. Die Bioelimination erreicht nach 14 Tagen einen Wert von circa 85%. Es muss damit gerechnet werden, dass etwa 15% im gereinigten Abwasser verbleiben und zu einer Belastung der Gewässer beitragen. Die Mineralisation von Polyacrylat tritt kaum in Erscheinung. Dies zeigt, dass der aus dem Wasser eliminierte Anteil von 85% nicht durch biologischen Abbau, sondern durch reine Adsorption an die Mikroorganismen erfolgte. Der grösste Teil des Polyacrylates findet sich somit im Klärschlamm wieder. Bei der landwirtschaftlichen Verwendung des Klärschlammes führt Polyacrylat zu einer Verschmutzung unserer Kulturböden. Wird der Schlamm jedoch getrocknet und verbrannt, erfolgt die Mineralisation der Substanz und die Rückführung in den Kohlenstoffkreislauf.

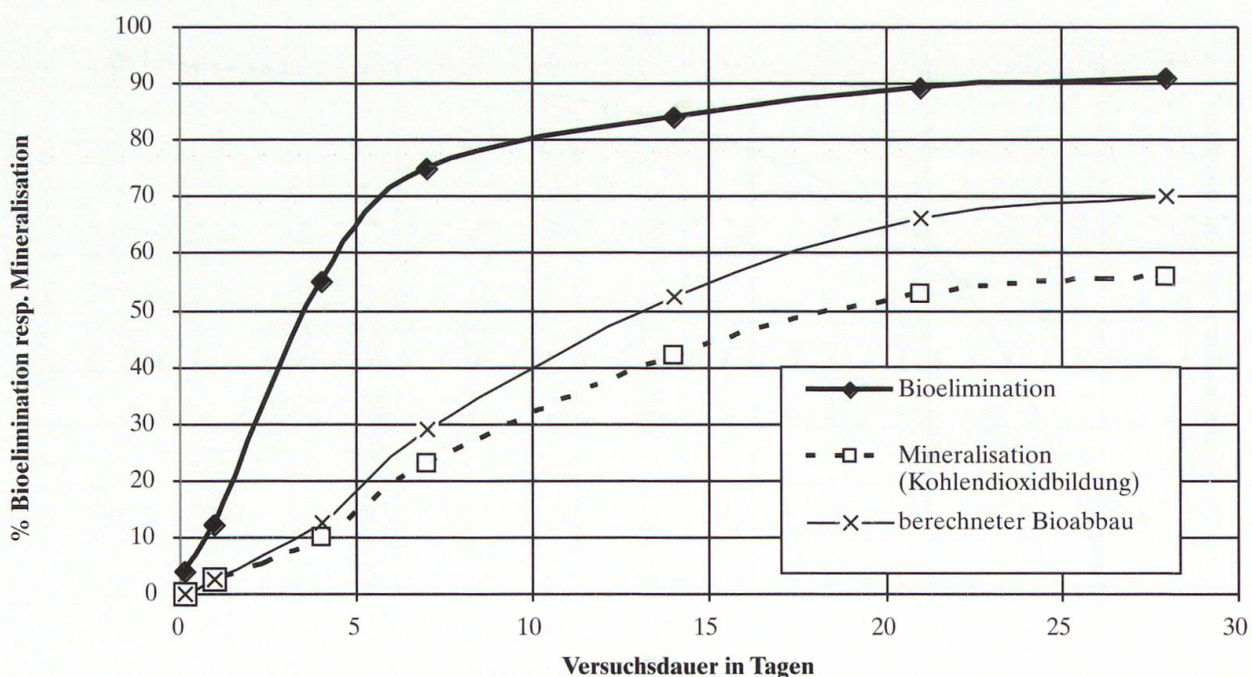
Würden alle im Gebrauch stehenden organischen Stoffe sich wie das lineare Fettalkoholethoxylat verhalten (Abbildung 4), wären die Ausflüsse aus Kläranlagen kaum

mehr belastet und würden zu keinen Folgeproblemen in den Gewässern und schlussendlich im Trinkwasser führen. Leider sind Stoffe, die Untersuchungsergebnisse zeigen wie Nonylphenoethoxylat (Abbildung 6), häufig im Gebrauch. Abbildung 6 kann entnommen werden, dass dieser Stoff zu einer Belastung der Gewässer führen kann und mit dem Auftreten von kontaminiertem Klärschlamm zu rechnen ist. Bei solchen Stoffen ist es angezeigt, sich über die Umweltverträglichkeit der über das geklärte Abwasser respektive über den Klärschlamm (bei Verwendung des Klärschlammes in der Landwirtschaft) in die Umwelt übertretenden Anteile Gedanken zu machen. Häufig handelt es sich bei den im geklärten Abwasser noch vorhandenen Substanzen nicht um die ursprünglichen Abwasserinhaltsstoffe sondern um deren Metaboliten (Teilabbauprodukte), welche sich ökotoxikologisch völlig anders verhalten können als die Ausgangsmaterialien.

3. Gewinnung der nicht abbaubaren Stoffe

Im Folgenden soll ein Testsystem vorgestellt werden, mit welchem die biologisch nicht abbaubaren Metaboliten gewonnen werden können, um sie anschliessend auf ihre ökotoxikologischen Eigenschaften hin zu untersuchen. Die auf ihr Verhalten in der biologischen Klärstufe zu untersuchende Substanz wird in Wasser gelöst und die Lösung mit Hilfe einer Schlauchquetschpumpe auf einen einfachen Laborbioreaktor gepumpt (Abbildung 7). Der Reaktor besteht aus einem Glasrohr, in welchem ein mit Belebtschlamm belegter Polyestervliesstreifen platziert wird. Das Polyestervlies vermag die Mikroorganismenflocken (Belebtschlamm) derart gut zu fixieren, dass sich die unten austretende Flüssigkeit völlig klar präsentiert. Die Aufgabegeschwindigkeit der Abbaulösung (0,2 ml/min) ergibt eine mittlere Verweilzeit der Lösung im Bioreaktor von circa 4 Stunden. Dies entspricht der typischen Verweilzeit des Abwassers in realen Belebungsbecken von Kläranlagen. Selbstverständlich müssen die Laborbioreaktoren belüftet werden, um ausreichende Sauerstoffversorgung

Abbildung 6:
Bioelimination und Mineralisation
von Nonylphenoethoxylat.



der Biologie zu garantieren. In der unten am Reaktor austretenden Luft kann der Kohlendioxidgehalt mit einem nichtdispersiven Infrarotdetektor bestimmt werden und hieraus die Mineralisation der Testsubstanz berechnet werden. Die klare Flüssigkeit, die den Bioreaktor verlässt, entspricht dem Ausfluss der Kläranlage. Darin wird der noch vorhandene Kohlenstoffgehalt bestimmt und daraus die Bioelimination berechnet. Erweist sich der Bioreaktorausfluss als mit organischen Stoffen belastet, sind ökotoxikologische Folgeuntersuchungen angezeigt. Durch Exposition von Algen in diesem Ausfluss kann eine allfällige Algentoxizität erkannt werden. Analog erfolgt die Exposition von Wasserflöhen (Daphnien), um dadurch die Daphnientoxizität zu erhalten. Zur Erkennung genotoxischer Komponenten werden mikrobiologische Genotoxizitätsexperimente durchgeführt. Das gesamte Untersuchungskonzept wurde von BAUMANN (1998) beschrieben.

4. Nicht abbaubare Stoffe in Ostschweizer Gewässern

Gereinigtes Abwasser aus Kläranlagen enthält immer geringe Mengen an organischen Stoffen. Abflusskonzentrationen bis 10 mg gelöster organischer Kohlenstoff pro Liter werden toleriert (Gewässerschutzverordnung 1998). Kläranlagen, in welchen die Abflusskonzentrationen höher liegen, sind nicht selten. Für die Klärmeister sind solche Situationen sehr unangenehm, denn sie haben auf die Zusammensetzung des Abwassers kaum Einfluss.

Exemplarisch soll ein Beispiel aus der Region vorgestellt werden. Seit Mitte 1997 traten auf zwei Ostschweizer Gewässern, dem Rotbach unterhalb der Kläranlage Bühler und der Glatt unterhalb der Kläranlage Herisau, extreme, anhaltende Schaumbildungen in Erscheinung. Biologische Untersuchungen des Amtes für Umweltschutz Appenzell A. Rh. ergaben, dass das schäumende Wasser

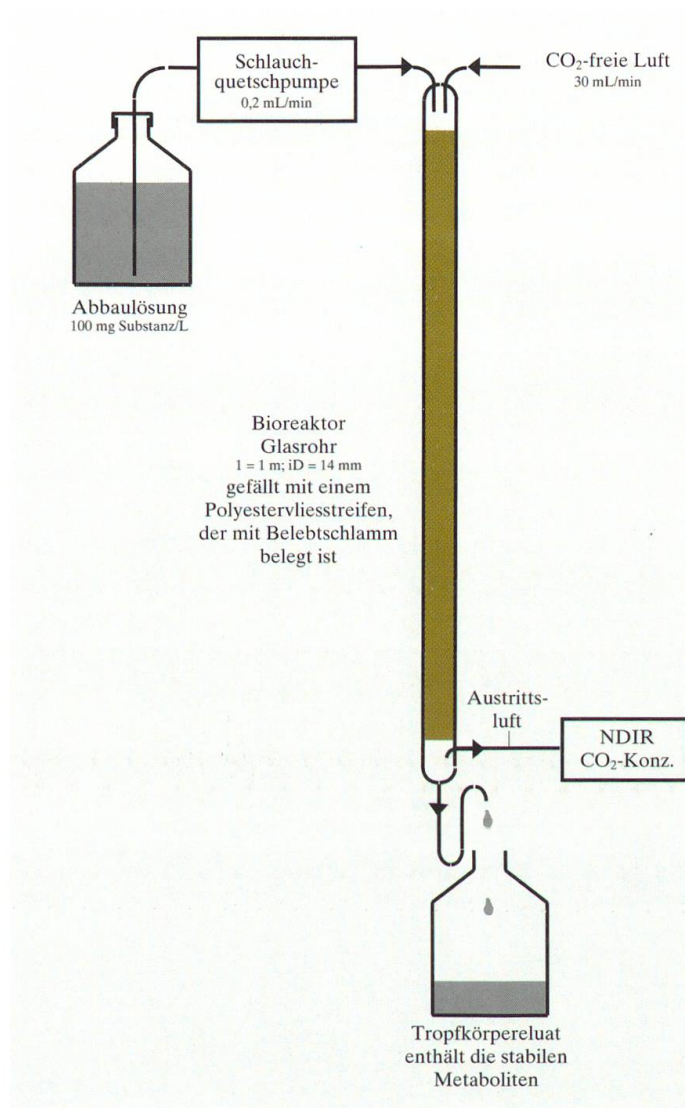


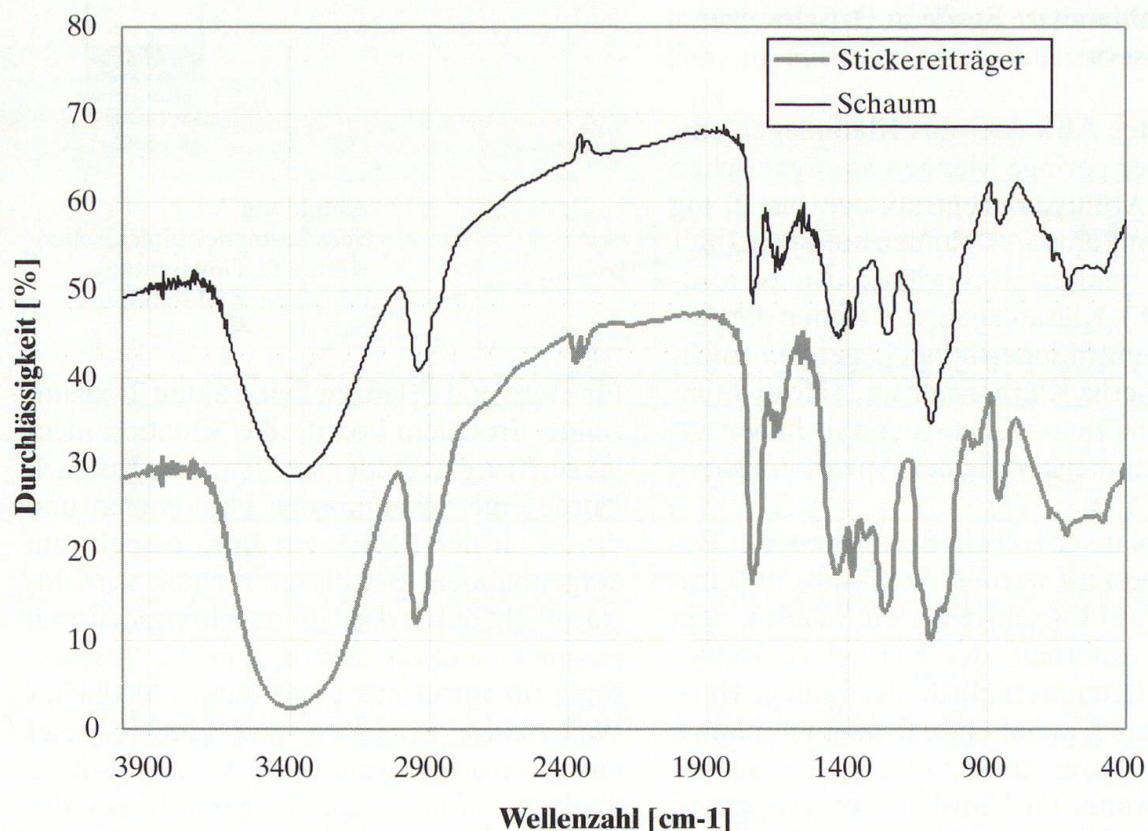
Abbildung 7:
Simulation der biologischen
Klärstufe. Gewinnung
der stabilen Metaboliten.

für Tiere und Pflanzen keine akute Toxizität zeigte. Trotzdem konnte die Situation nicht längerfristig geduldet werden. Am Rotbach wurde eine Schaumprobe entnommen und davon an der EMPA ein Infrarotspektrum aufgenommen. Bei dieser Technik wird Infrarotlicht durch das Untersuchungsmaterial geschickt und die Absorption der Testsubstanz für infrarotes Licht unterschiedlicher Wellenlänge gemessen. Abbildung 8 zeigt das Infrarotspektrum des Schaumes. Solche Spektren können als <Fingerabdruck> der Stoffe betrachtet werden. Dank moderner

EDV-Systeme ist es möglich, die erhaltenen Spektren mit tausenden von Spektren aus Spektrenbibliotheken zu vergleichen. Im vorliegenden Fall entsprach das Schaumspektrum weitgehend dem Spektrum von Polyvinylalkohol (PVA). Doch was führte zum plötzlichen Auftreten dieses Stoffes im Abwasser? Recherchen des Amtes für Umweltschutz Appenzell A.Rh. ergaben, dass in Textilausrüstbetrieben im Einzugsgebiet der Kläranlage Bühler resp. Herisau Stickereien verarbeitet werden, welche auf Stickereiträger aus PVA hergestellt wurden. Diese PVA-Vliese resp. Filme stabilisieren das zu bestickende Gewebe beim Stickprozess. Sie erlauben somit die Herstellung exakter Stickereien. In Abbildung 8 ist auch das Infrarotspektrum des Stickereiträgers abgebildet. Die Übereinstimmung der beiden Spektren ist evident.

Nach dem Stickprozess muss das Trägermaterial, das PVA, entfernt werden. Da PVA ein wasserlöslicher Kunststoff ist, erfolgt die Entfernung durch Auswaschen. Dadurch gelangt das gesamte Trägermaterial ins Abwasser. Scheinbar sind die involvierten Kläranlagen nicht in der Lage dieses PVA biologisch zu entfernen. PVA erwies sich in Laborexperimenten prinzipiell als biologisch abbaubar. Leider erfolgt der Bioabbau nur durch adaptierte Belebtschlämme, bei neutralen pH-Werten und bei Temperaturen oberhalb von 10°C (SCHÖNBERGER et al. 1996). Diese Rahmenbedingungen scheinen in den involvierten Anlagen mindestens teilweise nicht gegeben zu sein, sodass ein grosser Teil der Stickereiträger im Ausfluss der Kläranlage noch immer vorhanden ist. In der Zwischenzeit sind die entsprechenden Firmen aufgefordert worden, die ausgewaschenen Stickereiträger durch eine Abwasservorbehandlung aus dem Wasser zu entfernen.

Abbildung 8:
Infrarotspektren des Stickereiträgers
und der Schauprobe vom Rotbach.



5. Diskussion und Ausblick

Kläranlagen sind nicht in der Lage, wasserlösliche, biologisch nicht abbaubare und nicht an den Belebtschlamm adsorbierbare Stoffe aus dem Wasser zu entfernen. Derartige Stoffe treten in unsere Oberflächengewässer über und können zu Schäden bei aquatischen Organismen führen. Da ein grosser Teil unseres Trinkwassers direkt aus Oberflächenwasser oder über das Grundwasser gewonnen wird, ist mit dem Auftreten solcher unerwünschter Stoffe auch im Trinkwasser zu rechnen.

Leider ist die Zahl der Stoffe, welche in Kläranlagen nicht vollständig eliminiert werden, im Steigen begriffen. Darunter fallen viele Industrie-, Haushaltschemikalien, aber auch Stoffe, welche noch kaum Beachtung gefunden haben wie zum Beispiel Medikamente (GARTISER et al. 1996). Bedauerlicherweise sind die Vorgaben des Gesetzgebers betreffend Abbaubarkeit von Stoffen, die ins Abwasser gelangen, noch äusserst lückenhaft. Nur von waschaktiven Stoffen (Tensiden) wird die primäre Abbaubarkeit (mindestens der erste Abbauschritt) verlangt (Stoffverordnung 1986). Durch diese Vorgabe sind die durch Tenside bedingten Schaumteppiche auf unseren Gewässern weitgehend verschwunden. Dass diese gesetzlichen Vorgaben nicht ausreichen, zeigen die vielen Überschreitungen des Qualitätszieles für den gelösten organischen Kohlenstoff in unsern oberirdischen Gewässern (Qualitätsziel 1 bis 4 mg C/l; Gewässerschutzverordnung 1998). Der schlechte Gesundheitszustand der Forellen in Ostschweizer Gewässern könnte eine Folge sein (Amt für Umweltschutz des Kantons St.Gallen 1998). Leider handelt es sich dabei nicht nur um ein regionales Problem, wurden doch entsprechende Leber- und Nierenschäden auch andernorts festgestellt. In geklärtem Abwasser treten auch vermehrt hormonaktive Stoffe auf (KARLAGANIS et al. 1996; SCHLUMPF et al. 1996). Verweiblichung ist bereits bei mehreren aquatischen Arten in

Erscheinung getreten. In diesem Zusammenhang stehen auch Metaboliten von Nonylphenoethoxylat (Abbildung 6) in Verdacht.

Zusammenfassend muss festgehalten werden, dass die Kläranlagen mit vielen heute im Gebrauch stehenden Substanzen nicht mehr fertig werden und dass die Zahl der Stoffe im gereinigten Abwasser zunimmt. Erste unerwünschte Auswirkungen davon sind bereits sichtbar. Es ist ein Gebot der Verantwortung, von Stoffen, die über das Abwasser entsorgt werden, vollständige biologische Abbaubarkeit zu verlangen. Nur dadurch sind wir sicher, dass chronische Vergiftungen im aquatischen Lebensraum nicht um sich greifen und sauberes Wasser zu keinem knappen Gut wird.

Literaturverzeichnis

- AMT FÜR UMWELTSCHUTZ (1998): Umweltschutz im Kanton St.Gallen. – 2/1998, 16–21.
- BAUMANN, U., ABELE, M., PLETSCHER, E., SIEGFRIED, M. (1997): Verhalten von Stoffen in biologischen Klärstufen. – Tenside Surf. Det., 34, 336–340.
- BAUMANN, U., BENZ, M. (1998): Einfache Versuchsanordnung zur Gewinnung gewässerökologisch relevanter Daten. – UWSF, Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie, 10, 214–220.
- GARTISER, S., BRINKER, L., ERBE, T., KÜMMERER, K., WILLMUND, R. (1996): Belastung von Krankenhausabwasser mit gefährlichen Stoffen im Sinne 7a WHG. – Acta hydrochim. hydrobiol., 24, 90–97.
- GEWÄSSERSCHUTZVERORDNUNG (1998) vom 28. Oktober.
- KARLAGANIS, G., STUDER, C., WEBER, A. (1996): Xenobiotika mit endokriner Wirkung in der Umwelt. – UWSF, Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie, 8, 221–226.
- OECD (1993): Guidelines for the Testing of Chemicals. – Head of Publications Service, OECD 2, rue André-Pascal, 75775 Paris Cedex 16, France.
- SCHLUMPF, M., LICHTENSTEIGER, W. (1996): Hormonaktive Xenobiotika. – UWSF, Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie, 8, 321–332.
- SCHÖNBERGER, H., BAUMANN, U., KELLER, W. (1996): Bedingungen für den mikrobiologischen Abbau von Polyvinylalkohol. – Textilveredlung, 31, 19–26.
- STOFFVERORDNUNG (1986): Verordnung über umweltgefährdende Stoffe vom 9. Juni 1986.