

Chimia 49 (1995) 197-203
 © Neue Schweizerische Chemische Gesellschaft
 ISSN 0009-4293

Darf ein Produkt über das Abwasser entsorgt werden?

Urs Baumann* und Pius Kölbener

Abstract. Prior to releasing waste from consumer goods and industrial chemicals into sewage, it is imperative to have their behaviour in sewage purification plants tested in adequate installations. EMPA specialists conduct such analyses, allowing to gather reliable data about the sewage compatibility of this type of product waste. The present study describes efficient test procedures in this range and EMPA experienced assessment criteria.

1. Einleitung

Zur Beantwortung der Titelfrage 'Darf ein Produkt über das Abwasser entsorgt werden?' ist es notwendig, sich mit den Vorgängen in den Kläranlagen zu beschäftigen (Fig. 1). Stoffe, die ungelöst die Abwasserreinigungsanlage (ARA) erreichen, werden grösstenteils in der mechanischen Reinigungsstufe entfernt. Im Abwasser lösliche Stoffe durchfliessen jedoch die mechanische Stufe. Es ist Aufgabe der biologischen Reinigungsstufe, solche Komponenten aus dem Abwasser zu entfernen. Zwei Mechanismen sind in die-

sem Zusammenhang von Bedeutung, biologischer Abbau und Biosorption. Sie werden zusammengefasst im Begriff Bioelimination. Produkte, die bakterientoxisch sind, können allenfalls zu Vergiftungen des Belebtschlammes führen und somit die Reinigungsleistung der biologischen Stufe tiefgreifend beeinträchtigen. Wasserlösliche Stoffe, die nicht bioeliminierbar sind, werden in den Kläranlagen kaum aus dem Wasser entfernt und erreichen dadurch zwangsläufig die Gewässer, in die das gereinigte Abwasser geleitet wird. Derartige Stoffe sollten möglichst geringe Toxizität für Gewässerorganismen auf-

weisen. Es besteht die Gefahr, dass diese Stoffe schliesslich ins Trinkwasser gelangen. Wasserunlösliche Komponenten, die in der mechanischen Reinigungsstufe abgetrennt werden, sowie wasserlösliche, die durch Biosorption die wässrige Phase verlassen, werden dem anaeroben biologischen Abbau zugeführt. Anaerob abbaubare Stoffe werden dabei in Biogas umgewandelt. Anaerob nicht abbaubares Material verbleibt im Klärschlamm und führt bei landwirtschaftlicher Verwendung zu Belastungen der Kulturböden.

Konsumprodukte wie Wasch- und Reinigungsmittel sowie Industriechemikalien, die über das Abwasser entsorgt werden, müssen auf ihre Verhaltensweise in der ARA untersucht werden. Sie sollten möglichst vollständig in der ARA aus dem Abwasser entfernbar sein und dies vorzugsweise durch biologischen Abbau. Selbstverständlich ist auch zu fordern, dass diese Produkte für die Mikroorganismen der biologischen Klärstufe möglichst ungiftig sind. Stoffe, die in den Faulraum gelangen, sind im Idealfall anaerob abbaubar, d.h. in Biogas umsetzbar, im ungünstigsten Fall toxisch für die anaeroben Mikroorganismen.

*Korrespondenz: Dr. U. Baumann
 Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
 Unterstrasse 11
 CH-9001 St. Gallen

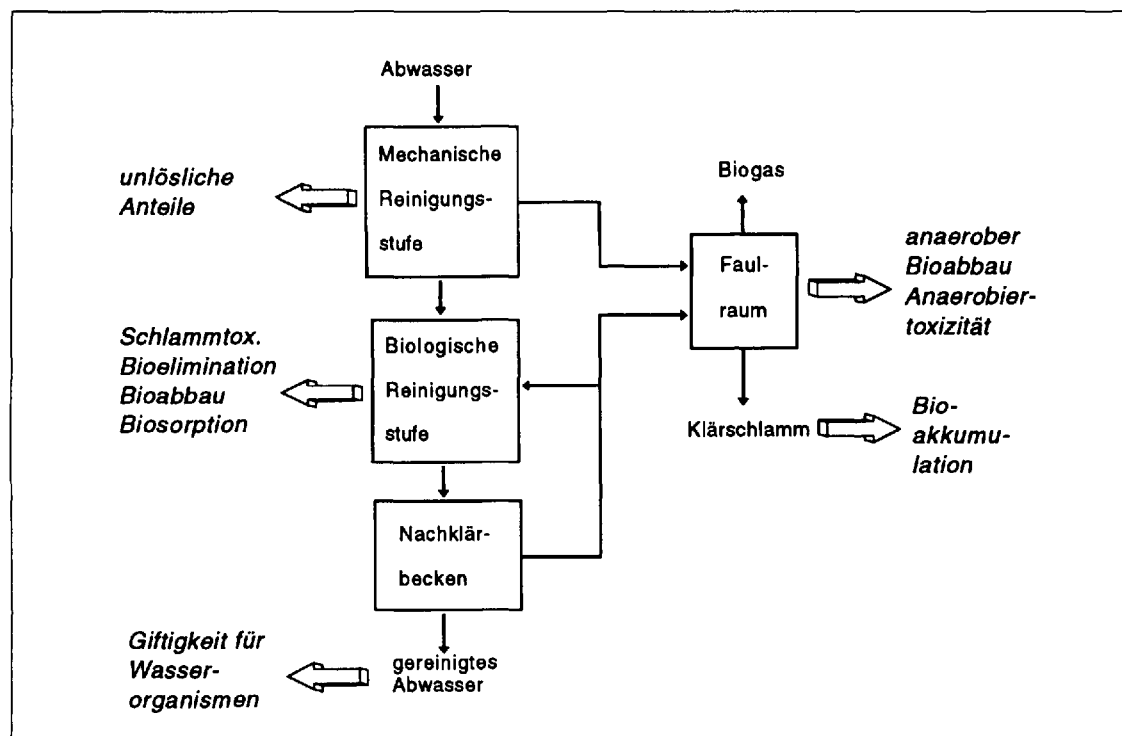


Fig. 1. Gewässerökologisch relevante Fragestellungen

Im Folgenden werden die wichtigsten, in unserer Abteilung im Einsatz stehenden Untersuchungsverfahren zur Beantwortung der obigen Fragestellungen vorgestellt.

2. Untersuchungen unter aeroben Bedingungen

2.1. Wasserlösliche, unflüchtige Produkte

Durch die Entsorgung wasserlöslicher, unflüchtiger Produkte ist die Leistung der biologischen Klärstufe gefordert. In ihr werden aerob biologisch abbaubare sowie an Belebtschlamm adsorbierbare Stoffe aus dem Wasser entfernt (Fig. 2).

Eine einfache Simulation der Vorgänge in der biologischen Reinigungsstufe bietet der OECD 302 B-Test [1], bekannt auch unter der Bezeichnung Zahn-Wellens- oder EMPA-Test. Dass die dabei ermittelten Werte hervorragend auf mechanisch-biologische Abwasserbehandlungsanlagen übertragbar sind, wurde z.B. in [2] gezeigt.

Beim OECD 302 B-Test wird das zu untersuchende Produkt in Wasser gelöst, mit puffernden sowie für das Bakterienwachstum essentiellen Salzen, versetzt und schliesslich Belebtschlamm (Mikroorganismen) aus einer gut funktionierenden biologischen Klärstufe in definierter Menge zugegeben. Durch Einleiten von Luft werden die aeroben Verhältnisse erhalten. Beim EMPA-Test wird von einer Produktkonzentration von 50 mg organischem C/l ausgegangen sowie einer Belebtschlammkonzentration von 200 mg Trokensubstanz/l. In definierten Zeitintervallen

wird dem Abbauprodukt ein Aliquot entnommen und durch Membranfiltration (Porengrösse 0,45 µm) ein bakterienfreies Filtrat gewonnen. In diesem Filtrat erfolgt die Bestimmung des noch vorhandenen organischen Kohlenstoffs (DOC = dissolved organic carbon). Bei dem klassischen OECD 302 B-Test wird die biologische Eliminierbarkeit als Summe von Bioabbau und Biosorption bestimmt.

Die meisten Benutzer des 302 B-Tests versuchen aus der Kinetik der Elimination Aussagen über Biosorption und Bioabbau zu machen, indem sie die rasch eintretende Elimination (innerhalb von 3 h) als Biosorption, langsame Elimination (nach 3 h) hingegen als biologischen Abbau interpretieren. Dass diese Interpretationsweise teilweise zu grob falschen Schlussfolgerungen führen kann, konnte am Beispiel von Polycarboxylaten gezeigt werden [3]. In der Folge wurde an der EMPA St. Gallen der OECD-Test 302 B weiterentwickelt, um verlässliche Informationen betreffend Verhältnis Biosorption/Bioabbau zu erhalten. Heute kommen geschlossene Apparaturen zum Einsatz (Fig. 3), die es erlauben, den aus der Abbaulösung austretenden Gasstrom durch Natronlauge zu leiten, um dadurch das bei echtem biologischen Abbau sich bildende CO₂ als Carbonat zurückzuhalten. Regelmässige Carbonatbestimmungen erlauben den biologischen Abbau über die Mineralisation messend zu verfolgen. Selbstverständlich müssen die Testapparaturen von einem Blindversuch, der wohl Belebtschlamm aber keine Kohlenstoffquelle enthält, begleitet und die dabei festgestellten DOC-Werte resp. CO₂-Emissionen bei den Testversuchen in Abzug gebracht werden.

Da erfahrungsgemäss biologisch abbaubare Stoffe von den Mikroorganismen zur Energiegewinnung zu ca. 80% mineralisiert und zu ca. 20% als Baustoff, in die sich vermehrende Biomasse eingebaut werden, kann aus der beobachteten Carbonatmenge der biologisch abgebaute Produktanteil rechnerisch abgeschätzt werden (Multiplikation mit dem Faktor 1,25). In Fig. 4 sind Untersuchungsdaten für ein leicht biologisch abbaubares nichtionogenes Tensid zusammengestellt. Es zeigt, dass das lineare Fettalkoholethoxylat quantitativ bioeliminierbar ist. Da die aus der Mineralisationskurve berechnete Abbaukurve die Eliminationskurve erreicht, ist gezeigt, dass die Elimination durch biologischen Abbau bedingt ist und nicht durch Biosorption.

Fig. 5 zeigt, dass das untersuchte technische lineare Alkylbenzolsulfonat (LAS) auch nach 28 d nicht quantitativ bioeliminiert wurde. Im gereinigten Abwasser der Kläranlage muss bei Verwendung von entsprechendem LAS somit mit dem Auftreten einer Restbelastung gerechnet werden. Da die berechnete Abbaukurve die Eliminationskurve erreicht, kann die beobachtete Elimination klar dem Bioabbau zugeordnet werden.

In Fig. 6 sind die Resultate der Nonylphenolethoxylatuntersuchung dargestellt. Die Elimination erfolgt auch bei langen Kontaktzeiten (28 d) nicht vollständig. Deshalb muss befürchtet werden, dass in biologischen Klärstufen auch keine quantitative Bioelimination erfolgt. Die berechnete Abbaukurve erreicht die Eliminationskurve nicht. Die Differenz zwischen Elimination und Abbau weist auf Biosorption hin. Der experimentelle Be-

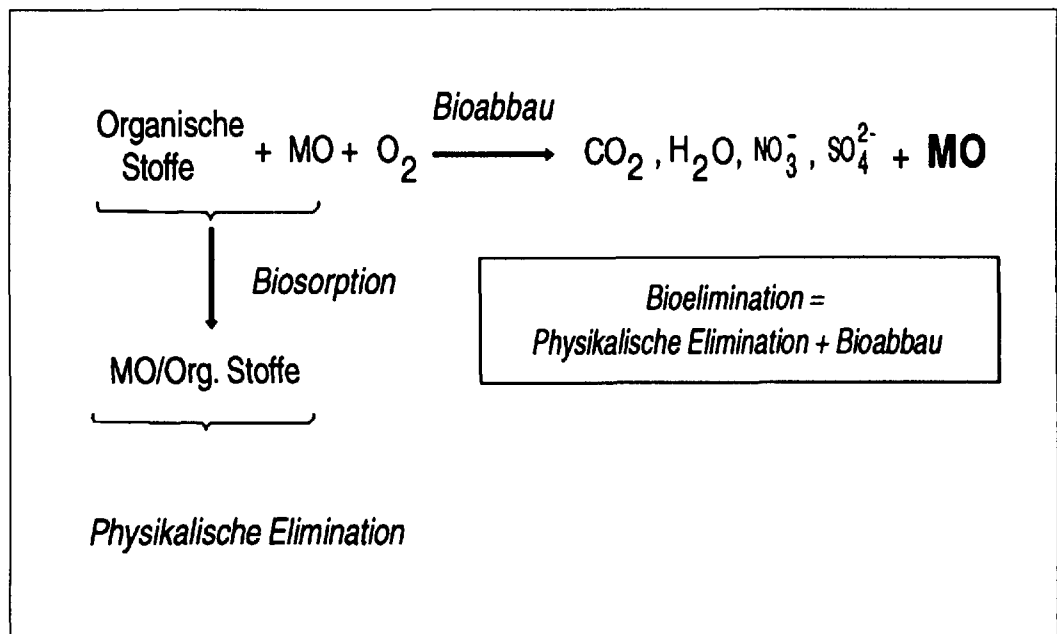


Fig. 2. Vorgänge in der biologischen Reinigungsstufe (MO = Mikroorganismen)

fund stellt keine Überraschung dar. Von Nonylphenoethoxylat ist bekannt [4], dass die Mikroorganismen des Belebtschlamm sehr wohl die Polyethylenoxidkette abzubauen vermögen, nicht aber das dabei entstehende Nonylphenol [5]. Durch den Abbau des hydrophilen Molekülteils nimmt die Wasserlöslichkeit ab und die Tendenz zur Bioadsorption zu.

Werden bei Untersuchungen schlechte Bioeliminationswerte erhalten, muss sichergestellt werden, dass das Produkt nicht durch eine inhärente Belebtschlammtoxizität einem allenfalls möglichen Bioabbau durch Vergiftung der Mikroorganismen zuvorgekommen ist. Dies wird an der EMPA durch die Mitverfolgung der Nitrifikantenaktivität untersucht. Die Nitrifikanten sind Mikroorganismen, die in Belebtschlämmen gut funktionierender ARAs vorkommen und auf die Oxidation von Ammonium zu Nitrat spezialisiert sind. Erfahrungsgemäss zeigen Nitrifikanten hohe Empfindlichkeit gegenüber bakterientoxischen Abwasserinhaltsstoffen und werden daher als Bakterientoxizitätsindikatoren verwendet [6]. An der EMPA wird immer mit Belebtschlämmen aus nitrifizierenden Kläranlagen gearbeitet. Durch Zugabe von Ammoniumionen bei Beginn der Untersuchung wird den Nitrifikanten ihr Substrat zur Verfügung gestellt. In den nach bestimmten Abbauezeiten gewonnenen bakterienfreien Filtraten, die der DOC-Analytik zugeführt werden, wird parallel die noch vorhandene Ammoniumkonzentration ermittelt. Im Normalfall ist nach wenigen Tagen die Ammoniumkonzentration unter die Nachweisgrenze abgesunken. Wird unter dem Einfluss des Testprodukts keine oder eine gegenüber der Blindkontrolle deutlich verzögerte Verminderung der Ammoniumkonzentration festgestellt, ist Nitrifikanttoxizität nachgewiesen. Es muss mit einer Belebtschlammtoxizität gerechnet werden und es ist angezeigt, genauere Toxizitätsexperimente durchzuführen (Abschn. 2.3). Die beobachtete Bioelimination kann wegen der eventuell vorliegenden Vergiftung der Biomasse nicht interpretiert werden. Durch Verminderung der Testproduktkonzentration unter die toxische Konzentration können Bioeliminations- und Mineralisationsdaten trotzdem erhalten werden.

2.2. Wasserunlösliche und flüchtige Produkte

Wasserunlösliche Stoffe können nicht mit der DOC-Analytik erfasst werden. Der Bioabbau wird für diese Stoffe über den Sauerstoffverbrauch oder die CO₂-Produktion verfolgt (Fig. 2). Flüchtige Stoffe



Fig. 3. OECD-Test 302B mit gleichzeitiger Bestimmung der Mineralisation

müssen in geschlossenen Systemen untersucht werden. Zur Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfs (BSB) von Produkten, verwenden wir die in der OECD-Richtlinie 301 F festgehaltene Methode. Dabei wird die Testsubstanz möglichst in definierter Verteilung (bei Festkörpern bestimmte Siebfraktion) in Wasser suspendiert, puffernde sowie für das Bakterienwachstum essentielle Salze und Belebtschlamm zugefügt und das Ganze in gasdicht verschliessbare Gefässe abgefüllt, so dass die Sauerstoffabnahme manometrisch verfolgt werden kann. Die Testapparatur wird lediglich zu ca. 1/3

mit der Lösung gefüllt, um über die eingeschlossene Luft einen genügenden Sauerstoffvorrat zur Verfügung zu stellen. Die Testgefässe enthalten je ein Manometer sowie CO₂-Absorptionsgefässchen zur Elimination von CO₂ aus der Gasphase, da CO₂ die O₂-Druckmessung stören würde. In den thermostatisierten Systemen tritt bei biologisch abbaubaren Stoffen durch die Sauerstoffzehrung eine Druckverminderung auf. Mit Hilfe der idealen Gasgleichung kann aus dieser Druckverminderung der BSB berechnet werden. Bei Stickstoff enthaltenden, abbaubaren Produkten wird intermediär Ammonium gebildet, das

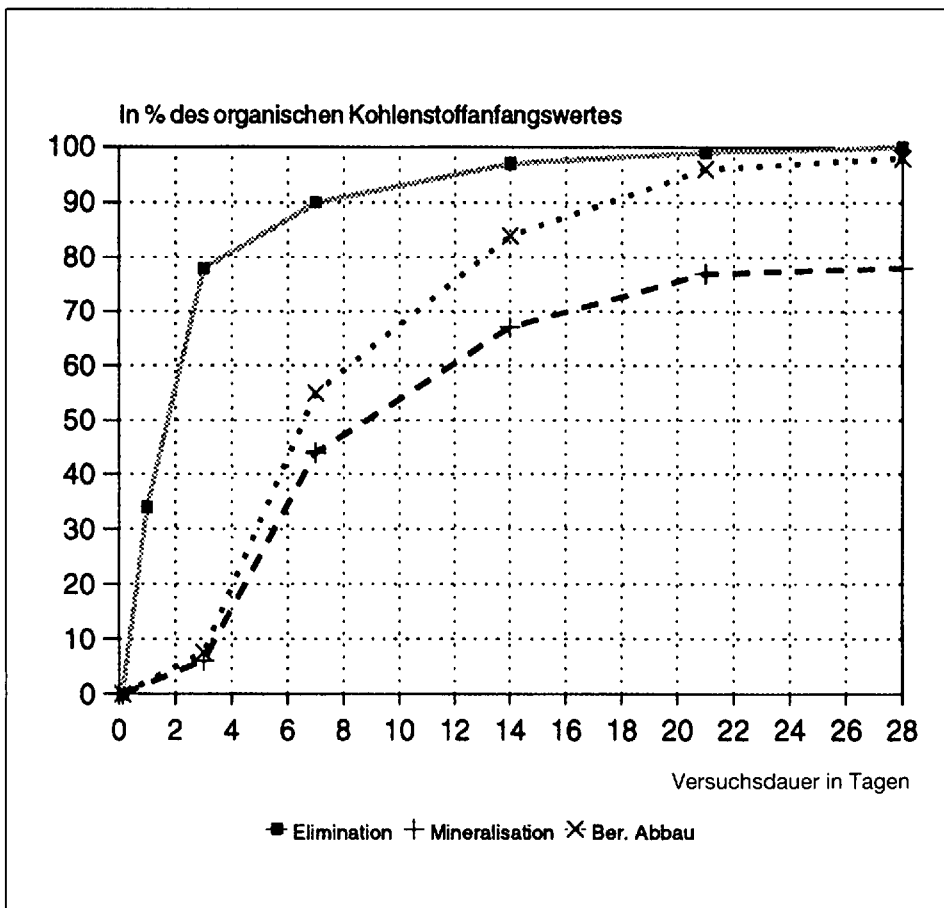


Fig. 4. Bioelimination, Mineralisation und berechneter Abbau von linearem Fettalkoholethoxylat (C12, 14; 9 EO)

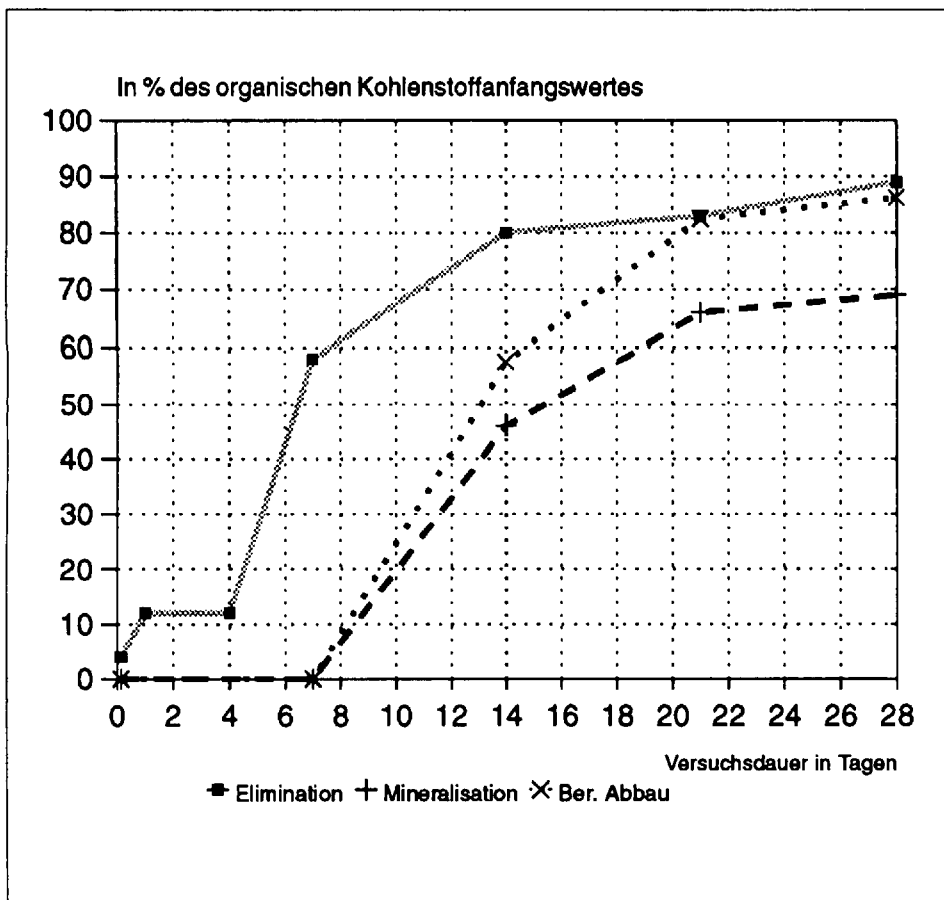


Fig. 5. Bioelimination, Mineralisation und berechneter Abbau eines kommerziell erhältlichen LAS (= lineares Alkylbenzolsulfonat)

anschliessend durch Nitrifikanten in Nitrat oxidiert wird. Dieser Prozess führt ebenfalls zu einer Sauerstoffzehrung und kann zu fehlerhaften Resultaten führen. Durch Zugabe von spezifisch-nitrifikantentoxischen Stoffen ist es möglich, die Kohlenstoffoxidation von der Stickstoffoxidation zu entkoppeln. Wir ziehen es vor, wasserunlösliche, Stickstoff enthaltende, unflüchtige Produkte über die CO₂-Emission (Mineralisation) wie sie in Abschn. 2.1 beschrieben wurde zu untersuchen.

2.3. Untersuchung der Belebtschlammtoxizität

Selbstverständlich kann die Bakterientoxizität von Produkten unabhängig von der Abbauntersuchung bestimmt werden. Dafür bieten sich drei Vorgehensweisen an:

- Untersuchung am Belebtschlamm selber
- Untersuchung an einzelnen Belebtschlammbedienern
- Untersuchung an 'Stellvertreterkeimen'

2.3.1. Untersuchung am Belebtschlamm selber

Die Stoffwechselleistungen des Belebtschlammes können als Indikator für die Vitalität der Biocoenose verwendet werden. Toxische Stoffe vermindern die Vitalität und führen zu geringeren Stoffwechselleistungen. Am bekanntesten ist in diesem Zusammenhang der Sauerstoffzehrungstest. An der EMPA wird dieser Test in Anlehnung an die OECD-Richtlinie 209 durchgeführt. Dabei wird das Testprodukt in O₂-gesättigtem Wasser gelöst, mit biologisch leicht abbaubaren Stoffen versetzt, Belebtschlamm zugegeben und luftfrei in Flaschen gefüllt. Nach bestimmten Zeiten wird die im Wasser noch vorhandene O₂-Konzentration mit einer Sauerstoffelektrode gemessen. Die Verminderung des gelösten O₂ zeigt biologischen Abbau und entsprechende Aktivität der Mikroorganismen (Fig. 2). Diejenige Stoffkonzentration, die die Aufnahme von Sauerstoff auf die Hälfte reduziert, wird als EC₅₀ angegeben.

2.3.2. Untersuchung an einzelnen Belebtschlammbedienern

Wie bereits erwähnt, sind Nitrifikanten in Belebtschlämmen gut geführter ARAs vorhanden. Sie sind als Toxizitätsindikatoren äusserst geeignet [6]. Bei unseren Nitrifikationstoxizitäts-Untersuchungen lehnen wir uns an die ISO-Norm 9509. Dabei wird das Testprodukt in Wasser gelöst, mit Ammoniumionen, Nitrifi-

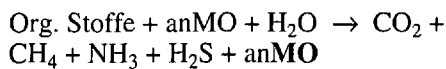
kanten enthaltendem Belebtschlamm versetzt und belüftet. Die Abnahme der Ammonium- resp. die Zunahme der Nitratkonzentration ist Ausdruck der Nitrifikantenaktivität. Diejenige Testproduktkonzentration, bei der die Ammoniumoxidation um 50% vermindert wurde, wird als EC_{50} angegeben.

2.3.3. Untersuchung an 'Stellvertreterkeimen'

Ein elegantes Verfahren nutzt die Lichtemission des Photobakteriums *phosphoreum*, eines marinen Mikroorganismus, aus. Die Lichtemission der Keime ist Ausdruck der Vitalität und kann sehr einfach mit einem Photomultiplier gemessen werden. Diejenige Konzentration des Testprodukts, die die Lichtemission auf 50% reduziert, wird als EC_{50} angegeben. Derartige Messungen erfolgen bei uns in Anlehnung an DIN 38412, Teil 34, wobei von selbstgezüchteten Leuchtbakterien ausgegangen wird.

3. Untersuchungen unter anaeroben Bedingungen

Der anaerobe biologische Abbau kann folgendermassen formuliert werden



anMO = Anaerobe Mikroorganismen

Stehen zur Untersuchung der aeroben Abbaubarkeit eher zu viele als zu wenig Methoden zur Verfügung, präsentiert sich das Gebiet der anaeroben biologischen Abbaubarkeit als noch wenig bearbeitet. Da noch kein endgültig standardisiertes Testverfahren vorliegt, ist es nicht überraschend, wenn noch fast keine Daten zur anaeroben biologischen Abbaubarkeit von Stoffen und Produkten erhältlich sind. Dies dürfte sich jedoch in Zukunft aus folgenden Gründen ändern:

- Der aerobe biologische Abbau von Abwasserinhaltsstoffen in der ARA benötigt sehr viel Sauerstoff und somit viel elektrische Energie (Kompressoren). Der anaerobe Abbau läuft ohne Gaseintrag und liefert Biogas (Energieträger).
- Die Umsetzung des Verursacherprinzips bewirkt, dass die Abwasserproduzenten sehr bald frachtabhängige Abwassergebühren entrichten müssen. Dies führt bei den Verursachern zu hohen Belastungen. Durch anaerobe Abwasservorbehandlungen kann die Abwasserfracht relativ günstig re-

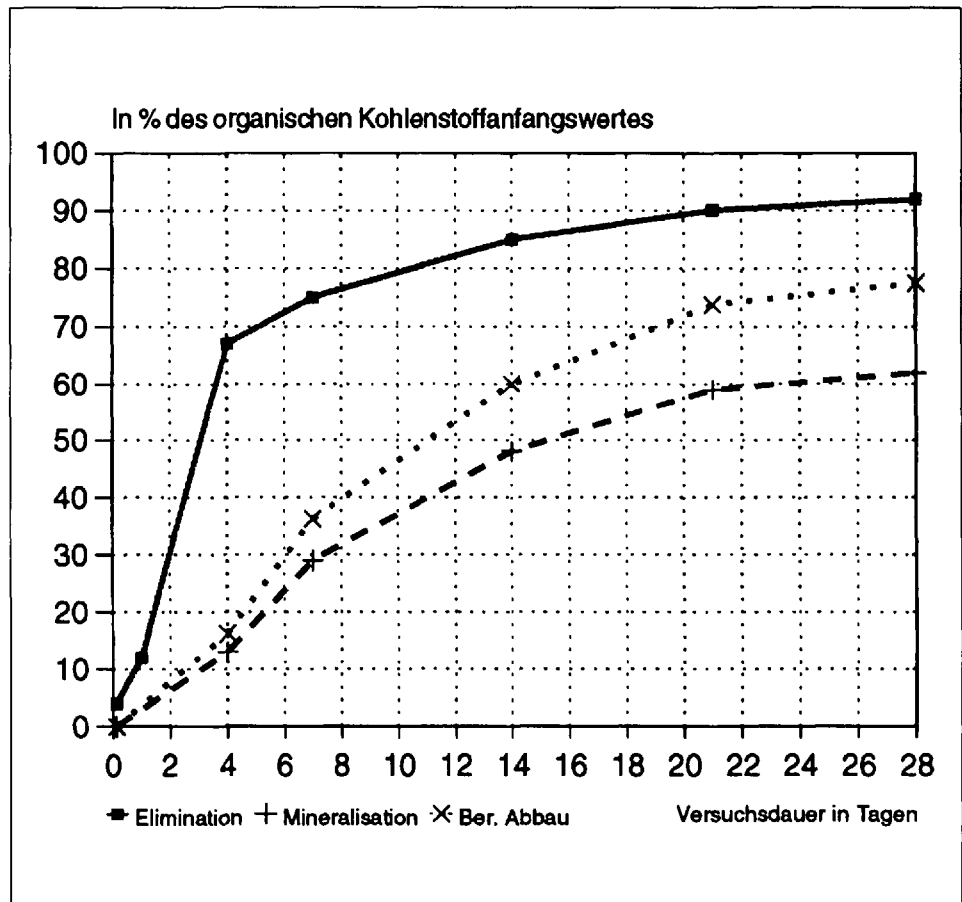


Fig. 6. Bioelimination, Mineralisation und berechneter Abbau von Nonylphenoethoxylat

duziert und somit Kosten gespart werden.

- Der aerobe biologische Abbau führt über die teilweise Inkorporation der abbaubaren Substanzen in den Belebtschlamm zu sehr hohen Schlammengen, deren Beseitigung immer mehr Probleme mit sich bringt. Die bei der anaeroben Abwasserbehandlung anfallenden Schlammengen sind ca. fünfmal geringer.
- Stoffe, die in Kläranlagen in den Faulraum gelangen, sollten auf ihre anaerobe biologische Abbaubarkeit geprüft werden. Sind sie anaerob biologisch abbaubar, ist ihr Umweltverhalten äusserst attraktiv (kein Sauerstoffverbrauch, keine Gewässerbelastung, Energiegewinn durch Biogasbildung).

Aus den obigen Gründen wurde das Gebiet der anaeroben biologischen Abbaubarkeit an der EMPA bearbeitet und ein Testsystem zur Bestimmung der anaeroben biologischen Abbaubarkeit entwickelt [7]. Basis des angesprochenen Tests ist eine Beziehung zwischen dem chemischen Sauerstoffbedarf (CSB) der Probe und der maximal möglichen Methanmenge, die beim vollständigen anaeroben Abbau gebildet werden kann. Die Ableitung dieser Beziehung findet sich in [7].

Experimentell wird wie folgt vorgegangen: Eine Produktmenge mit bestimmtem CSB wird in Wasser gelöst, gepuffert, mit essentiellen Anorganika versetzt und in 1-l-Flaschen zu ca. 1/3 des Volumens eingefüllt. Die Flaschen werden mit Verschlussköpfen versehen, die ein Manometer und ein Injektionsport enthalten (Fig. 7).

Durch eine sich im Injektionsport befindliche Kanüle werden die Systeme evakuiert und mit N_2 begast. Um absolute O_2 -Freiheit zu erreichen, wird die Evakuierung und Begasung zweimal wiederholt. Ohne Luftzutritt wird in die Abbausysteme frischer Faulschlamm injiziert und damit der anaerobe Abbau gestartet. In den auf 35° thermostatisierten Gefässen wird die Biogasproduktion manometrisch verfolgt. Beim Erreichen eines konstanten Biogasdrucks wird Natronlauge durch das Septum in ein sich im Abbaugesäss befindliches leeres Absorptionsgläschen injiziert. Dadurch wird der CO_2 -Anteil des Biogases absorbiert. Aus dem erhaltenen Restdruck (Methandruck) und dem aus dem CSB berechneten maximalen Methandruck kann der Abbau angegeben werden. Mit dem beschriebenen Testsystem wurden Schichten als frachtmässig sehr bedeutsame Textilindustrieabwasser-



Fig. 7. Manometrisches Testsystem

inhaltsstoffe untersucht und erkannt, dass gewisse Schlichtemittel sehr wohl anaerob biologisch abbaubar sind [7]. In Fig. 8 sind die experimentell erhaltenen Werte und die daraus berechneten anaeroben biologischen Abbaubarkeiten angegeben.

Um dem vorerst eingesetzten Quecksilbermanometer auszuweichen, wurde in Zusammenarbeit mit einem Ingenieurbüro ein Messkopf mit piezoelektrischem Drucksensor (Fig. 9) entwickelt [8], der mittlerweile auf dem Markt erhältlich ist [9].

4. Beurteilungskriterien für die aeroben Untersuchungen

Die üblichen Bewertungskriterien für die Resultate der vorgestellten Testverfahren sind für reine Stoffe festgelegt worden. Da an der EMPA fast ausschließlich Produkte, d.h. Stoffmischungen, geprüft werden, ist es unseres Erachtens nicht zulässig, dieselben Kriterien anzuwenden. Wir sind der Überzeugung, dass an Mischungen insofern strengere Ansprüche

gestellt werden müssen, als dass der Grossteil der Inhaltsstoffe eliminiert werden sollte. Zur Erläuterung diene folgendes Beispiel: Eine Mischung, die gesamthaft eine Bioelimination von 80% erreichte, kann z.B. aus 80% eines zu 100% eliminierbaren Stoffes und 20% eines zu 0% eliminierbaren Stoffes zusammengesetzt sein. Bei Mischungen besteht somit immer die Gefahr, dass der nicht bioeliminierte Anteil durch wirklich persistente Produktinhaltsstoffe bedingt ist. Zur Erkennung refraktärer Produktinhaltsstoffe oder stabiler Metaboliten wurde an der EMPA ein Testverfahren (ROC-Test) entwickelt. Er wird in der folgenden Arbeit explizit vorgestellt.

Die Beurteilungspraxis für Produkte ist an der EMPA die folgende:

- Konsumprodukte, wie z.B. Wasch- und Reinigungsmittel

Konsumprodukte werden dann als *gut biologisch eliminierbar* bezeichnet, wenn beim erweiterten OECD-Test 302 B nach 14 Belüftungstagen mindestens 95% des organischen Kohlenstoffs eliminiert wurde. Auch Produkte, die nach 14 d mindestens 90% und nach 28 d mindestens 97% erreichen, fallen unter diese Benotung.

Gut biologisch eliminierbare Produkte, die nach 28 d Mineralisationswerte von mindestens 70% zeigen, erhalten zusätzlich die Beurteilung *gut biologisch abbaubar*.

- Industriechemikalien

Industriechemikalien werden etwas weniger streng beurteilt. Produkte, die nach 14 d eine Bioelimination von mindestens 80% zeigen, erhalten die Benotung *gut biologisch eliminierbar*.

Industriechemikalien mit einer Elimination von mindestens 80% und gleichzeitiger Mineralisation von mindestens 60% (28 d) werden als *gut biologisch abbaubar* bezeichnet.

Eine verfeinerte Beurteilung von Textilhilfsmitteln wurde von einer Arbeitsgruppe aus Behörde-, Industrie- und EMPA-Vertretern vorgenommen und publiziert [10].

5. Schlussbemerkung

Mit Konsumprodukten, die an der EMPA geprüft und als gut biologisch abbaubar erkannt wurden, werben die Inverkehrbringer häufig mit der attestierten ökologischen Eigenschaft. Wir finden die werbemässige Benützung gerechtfertigt, denn sie ist Ausdruck dafür, dass der Inverkehrbringer sein Produkt an sehr viel

strengeren Kriterien messen liess als sie der Gesetzgeber vorsieht.

Wir hoffen, mit dem vorliegenden Artikel gezeigt zu haben, dass mit relativ einfachen Untersuchungen sehr wohl eine Antwort auf die Titelfrage gegeben werden kann.

Eingegangen am 9. Februar 1995

- [1] OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) Guidelines for Testing of Chemicals, 1993.
- [2] A. Killer, H. Schönberger, *Textilveredlung* 1993, 28, 44.
- [3] U. Baumann, L. Lamberti, *Z. Wasser-, Abwasser-Forsch.* 1992, 25, 287.
- [4] A. Di Corcia, R. Samperi, A. Marcomini, *Environ. Sci. Technol.* 1994, 28, 850.
- [5] U. Baumann, *Z. Wasser-, Abwasser-Forsch.* 1991, 24, 237.
- [6] R. Wagner, G. Kayser, *GWF Wasser Abwasser* 1990, 131, 165.
- [7] U. Baumann, W. Schefer, *Textilveredlung* 1990, 25, 248.
- [8] U. Baumann, F. Rezzonico, *GWA* 1993, 73, 753.
- [9] F. Rezzonico, Systemtechnik, CH-8572 Berg.
- [10] U. Baumann, U. Engler, W. Keller, W. Schefer, *Textilveredlung* 1992, 27, 392; auch in *GWA* 1993, 73, 201.

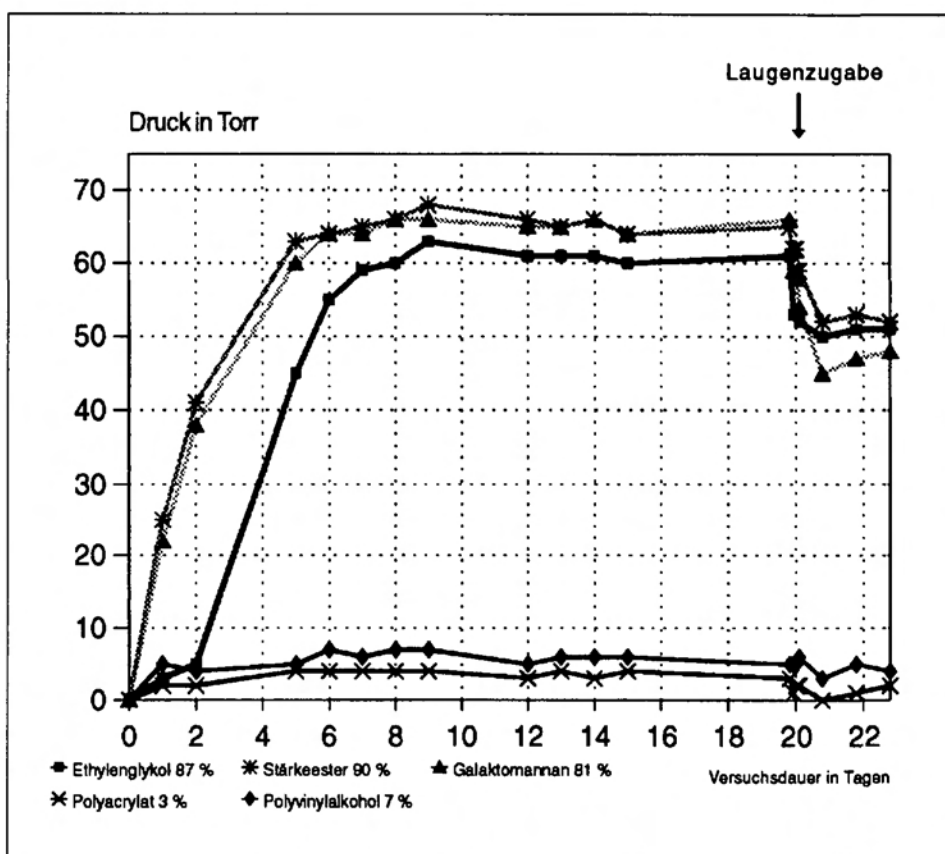


Fig. 8. Manometrische Untersuchung der anaeroben biologischen Abbaubarkeit von Schlichtemitteln (Abbau in %)



Fig. 9. Piezoelektrisches Messsystem DEGRAMAT