

Mikrobielle Konkurrenz in Biofilmen

Oskar Wanner und Willi Gujer

1. Biofilme und Abwasserreinigung

Wenn sich im Wasser auf einer festen Unterlage Mikroorganismen ansiedeln und einen dünnen Bewuchs bilden, wird dieser als Biofilm bezeichnet. Ein solcher Bewuchs lässt sich in Seen und in fließendem Wasser beobachten. Er spielt auch eine wichtige Rolle in einigen Verfahren zur biologischen Reinigung von Abwasser. Wird Abwasser z. B. über einen mit etwa faustgrossen Steinen gefüllten Reaktor, einen sogenannten Tropfkörper, verteilt, bildet sich auf den Steinen, über die das Wasser rieselt, innert weniger Tage ein Biofilm aus: Mikroorganismen verwenden die im Abwasser enthaltenen organischen Stoffe als Energiequelle und als Bausteine für ihr Wachstum und entfernen so diese Stoffe aus dem Wasser.

Bei biologischer Reinigung nach diesem Prinzip wird von Verfahren mit festsitzender Biomasse gesprochen. Davon unterschieden werden die Verfahren mit suspendierter Biomasse, bei denen die Mikroorganismen im Wasser frei schwebend gehalten werden, wie z. B. im Belebtschlammverfahren. Die Verfahren der zweiten Gruppe stellen im Betrieb grössere Anforderungen, da die Mikroorganismen durch dauerndes Umrühren am Absinken gehindert, dann aus dem Abfluss entfernt und schliesslich wieder in den Reaktor zurückgepumpt werden müssen. Dies hat jedoch auch den Vorteil, dass damit verfahrenstechnische Eingriffe und eine Optimierung des Betriebs der Reinigungsanlagen möglich sind. Die Grundlage für eine solche Optimierung sind häufig mathematische Modelle, die in verschiedenen Varianten seit ca. 1965 entwickelt worden sind. Solche Modelle haben heute einen hohen Stand erreicht und werden in Zukunft noch vermehrt Anwendung finden.

Verfahren mit festsitzender Biomasse sind im Betrieb einfacher, Versuche in Richtung Prozesssteuerung dagegen werden kaum gemacht, da die Modellierung dieser Verfahren noch ganz in den Anfängen steckt. Dies hat seine Ursache darin, dass es viele grundlegende Fragen hinsichtlich Auf-

Concurrence microbienne dans les biofilms

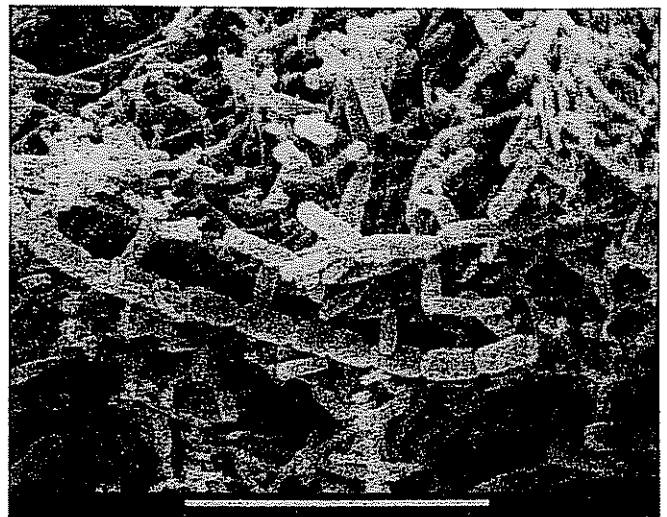
Oskar Wanner et Willi Gujer

1. Biofilms et épuration des eaux usées

On désigne par biofilm la fine pellicule végétale qui se forme par suite de l'installation de microorganismes sur une surface solide immergée dans l'eau. Ce phénomène, observable dans les lacs et les eaux courantes, joue également un rôle important dans certains procédés d'épuration biologique d'eaux usées. Si des eaux usées sont par exemple déversées sur un réacteur rempli de pierres à peu près grosses

Fig. 1
Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Biofilmes [1]
(Massstab = 10 μm).

Biofilm photographié à l'aide d'un microscope électronique à balayage [1] (échelle = 10 μm).



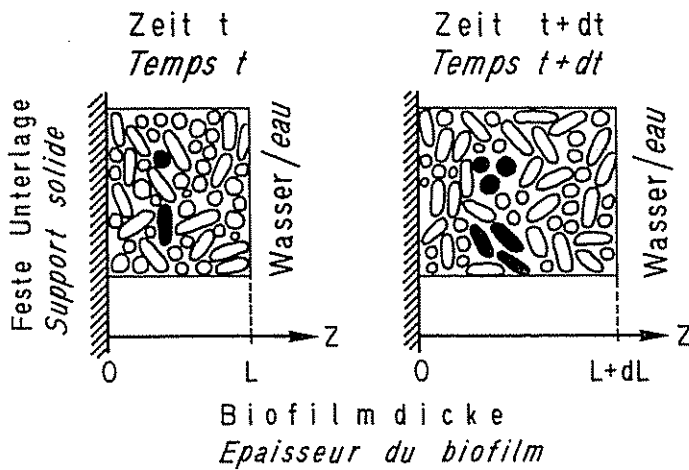


Fig. 2
Schematische Darstellung des Biofilmwachstums. Im Zeitintervall dt wachsen die einzelnen Mikroorganismen, sie teilen sich und verdrängen ihre Nachbarn: die Dicke des Biofilms L nimmt um dL zu.

Représentation schématique de la croissance d'un biofilm. Au cours de l'intervalle de temps dt , les différents microorganismes croissent, se divisent et supplantent leurs voisins: l'épaisseur L du biofilm augmente de dL .

bau und Verhalten von festsitzender Biomasse gibt, die heute noch weitgehend unbeantwortet sind. Was für ein Biofilm entwickelt sich zum Beispiel in einem Abwasser, das Nährstoffe für verschiedene Mikroorganismenarten enthält? Verdrängt die am schnellsten wachsende Art die anderen? Was passiert, wenn zwei Arten denselben Nährstoff aufnehmen? Worauf ist es zurückzuführen, dass sich manchmal grössere Stücke des Biofilms von ihrer Unterlage plötzlich ablösen? Alle diese Fragen lassen sich natürlich am besten mit gezielten experimentellen Untersuchungen beantworten.

2. Experimentelle Untersuchungen an festsitzender Biomasse sind schwierig

Zwar können die Nährstoffmengen, die von den Mikroorganismen aus dem Wasser entfernt werden, oder die Dicke eines Biofilms noch relativ einfach gemessen werden, die experimentelle Erforschung der im Filminnern ablaufenden Vorgänge hingegen ist schwierig. Biofilme sind ja nur wenige Zehntel Millimeter dick, und über diese kurze Distanz hinweg können sich die Verhältnisse in ihrem Innern drastisch ändern. Zum Beispiel stehen den Mikroorganismen in der Tiefe des Films sehr oft keine Nährstoffe mehr zur Verfügung, weil die in der Nähe des Wassers sitzenden Organismen den gesamten Nachschub an Nährstoffen aus dem Wasser aufbrauchen. Es leuchtet ein, dass es für einen solchen Fall nicht genügt, nur die Art und Menge der in der Biomasse enthaltenen Mikroorganismen zu bestimmen, sondern dass auch deren räumliche Verteilung untersucht werden muss. Mit elektronenmikroskopischen Aufnahmen ist dies möglich (Fig. 1). Das Problem ist jedoch, dass damit nur eine Momentaufnahme der Filmzusammensetzung zu erhalten ist, und dass der Film dabei zerstört wird. Ein Biofilm ist aber ein lebendes Gebilde, das laufend wächst und seine Zusammensetzung ändert. Überdies ist damit über die Nährstoffsituation zum Zeitpunkt der Aufnahme noch nichts ausgesagt. Versuche, die Veränderung der Nährstoffkonzentrationen über die Biofilmtiefe hinweg mit Hilfe von Mikroelektroden zu messen, brachten bis jetzt nur wenig Erfolg. Das traditionelle Vorgehen bei der Erforschung von Biofilmen beruht auf makroskopischen Beobachtungen ihres Verhaltens. Es basiert vor allem auf Messungen, bei denen der Biofilm nicht zerstört wird, die damit aber auch keine direkten Aussagen über die Verhältnisse in der Tiefe des Films zulassen. Indi-

comme le poing, ce que l'on appelle un lit bactérien, on peut assister au bout de quelques jours à la formation d'un biofilm sur les pierres exposées à l'écoulement de l'eau: les microorganismes utilisent les matières organiques contenues dans l'eau comme source d'énergie et comme élément de croissance et les éliminent ainsi de l'eau.

Lorsque l'épuration biologique s'effectue selon ce principe, on parle d'un procédé à biomasse fixée. Il convient de les distinguer des procédés à biomasse en suspension par lesquels les microorganismes sont maintenus en suspension dans l'eau, comme, par exemple dans le procédé à boues activées. Ces derniers procédés s'avèrent plus exigeants sur le plan de l'exploitation, car les microorganismes doivent être constamment brassés pour éviter leur précipitation, puis éliminés de l'effluent et finalement recyclés par pompage dans le réacteur. Ce traitement présente toutefois l'avantage de permettre des interventions techniques et l'optimisation du fonctionnement des installations d'épuration. Cette optimisation s'appuie souvent sur des modèles mathématiques, qui ont été conçus depuis 1965 environ. Ces modèles ont aujourd'hui atteint un haut niveau et leur application ne fera que s'accroître à l'avenir.

Dans le cas de biomasse fixée, les procédés sont d'une exploitation plus aisée; les essais en vue d'automatiser la conduite du processus sont cependant rares car l'élaboration de modèles n'en est qu'à ses débuts. Cela est dû au grand nombre de questions fondamentales encore sans réponse aujourd'hui concernant la structure et le comportement de la biomasse fixée. Quel type de biofilm se développe par exemple dans un effluent contenant des substances nutritives destinées à différentes espèces de microorganismes? L'espèce dont la croissance est la plus rapide supplante-t-elle les autres? Que se passe-t-il lorsque deux espèces assimilent la même substance? Par quel phénomène des morceaux plus ou moins grands de biofilm se détachent-ils parfois subitement de leur support? La réponse à ces questions s'obtient bien sûr le plus aisément à l'aide d'essais expérimentaux bien adaptés.

2. Difficultés des investigations expérimentales sur la biofilms fixée

Certes, les quantités de substances nutritives éliminées de l'eau par les microorganismes ainsi que l'épaisseur d'un biofilm peuvent être facilement mesurées, mais ce n'est pas le cas pour l'observation des processus à l'intérieur du film. Son épaisseur n'est en effet que de quelques dixièmes de millimètre; distance à l'intérieur de laquelle les conditions peuvent toutefois évoluer de façon très sensible. Très souvent par exemple, les microorganismes situés au fond du film ne disposent plus d'aucun nutriment, celui-ci étant consommé par les organismes situés à proximité de l'eau. Cela montre bien qu'il ne suffit pas de déterminer l'espèce et la quantité de microorganismes contenus dans la biomasse, mais qu'il est nécessaire d'en préciser la répartition spatiale. Cela est possible grâce au microscope électronique (fig. 1). Le problème est que le résultat ne représente qu'un instantané de la composition du film et que celui-ci est détérioré lors de la manipulation. Un biofilm constitue cependant une structure vivante dont la composition évolue constamment; en outre, aucune information n'est fournie quant à la situation relative aux nutriments au moment de l'observation microscopique. Les expériences réalisées jusqu'à présent à l'aide de microélectrodes pour déterminer l'évolution des concentrations de substances nutritives à l'intérieur du biofilm n'ont guère abouti à des résultats probants. La méthode traditionnelle d'étude des biofilms s'appuie sur l'observation macroscopique de leur comportement, notamment sur des mesures n'entraînant certes aucune destruction du biofilm mais ne permettant aucune évaluation directe des conditions qui prévalent au fond du film. Une évaluation indirecte est cependant possible à l'aide de modèles mathémati-

rekt sind solche Aussagen jedoch möglich mit Hilfe mathematischer Modelle. An der EAWAG wurden in den letzten Jahren mehrere experimentelle Projekte sowohl für Laborsysteme [1] als auch technische Systeme [2,3] durchgeführt. Diese Arbeiten lassen aber noch immer viele Fragen offen.

Die Schwierigkeiten experimenteller Untersuchungen an Biofilmen lassen sich wie folgt zusammenfassen: Mehrere Größen – Mikroorganismen und Nährstoffe – müssen gleichzeitig erfasst werden, da sie sich gegenseitig beeinflussen, und es ist wichtig, ihre räumliche Verteilung und zeitliche Veränderung zu kennen. Diese Größen sind jedoch einer direkten Messung kaum zugänglich.

Angesichts dieser Situation ist an der EAWAG vor ein paar Jahren im Rahmen eines Forschungsschwerpunkts damit begonnen worden, das Biofilm-Problem mit Hilfe von systemanalytischen Methoden zu untersuchen. In enger Zusammenarbeit zwischen Ingenieuren und Informatikern sind unsere Vorstellungen über das, was sich im Innern eines Biofilms abspielen könnte, entwickelt und in eine mathematische Form gebracht worden.

3. Mathematisches Modell der mikrobiellen Konkurrenz in Biofilmen

Fig. 2 veranschaulicht die dem Modell zugrunde liegenden Vorstellungen über das Wachstum eines Biofilms. Diese Vorstellungen lassen sich auch mathematisch formulieren:

$$\frac{dL}{dt} = u_L = \int_0^L \bar{\mu} dz \quad \text{mit} \quad \bar{\mu} = \sum_{i=1}^n \mu_i f_i \quad 1$$

Diese Gleichungen besagen, dass die Geschwindigkeit u_L , mit welcher sich der Biofilm ausdehnt, gleich ist der über die Tiefe z des Films hinweg kumulierten mittleren spezifischen Wachstumsgeschwindigkeit $\bar{\mu}$ der Biomasse, und dass $\bar{\mu}$ bestimmt ist durch die spezifischen Wachstumsgeschwindigkeiten μ_i und Volumenanteile f_i aller n im Film vorkommenden Mikroorganismenarten. Die Gleichung 1 stellt also eine Beziehung zwischen Volumenausdehnung und Produktion der Biomasse her, sagt aber noch nichts aus über die räumliche Verteilung und zeitliche Veränderung der einzelnen Mikroorganismenarten im Biofilm. Dazu ist eine weitere Gleichung nötig:

$$\frac{\partial f_i}{\partial t} = (\mu_i - \bar{\mu}) f_i - u \frac{\partial f_i}{\partial z} \quad 2$$

Diese Gleichung beschreibt für eine Mikroorganismenart i zu jedem Zeitpunkt t und für jeden Punkt z im Biofilm die zeitliche Veränderung ihres Volumenanteils f_i an der Biomasse. Einerseits hängt die zeitliche Veränderung von f_i davon ab, ob die spezifische Wachstumsgeschwindigkeit μ_i der Art i grösser oder kleiner ist als diejenige der ganzen Biomasse, $\bar{\mu}$, andererseits von der Geschwindigkeit u , mit der sich die Biomasse am Punkt z ausdehnt, und davon, wie stark sich f_i räumlich, d. h. über die Tiefe des Films hinweg, ändert. Die Gleichungen 1 und 2 beschreiben in allgemeiner Form das Wachstum und die Verteilung der Mikroorganismen im Biofilm. «In allgemeiner Form» heisst, dass bei der Ableitung der Gleichungen nicht von einem speziellen Reaktor oder speziellen Mikroorganismenarten ausgegangen worden ist. Deshalb können die Gleichungen zur Beschreibung irgendeines Problems verwendet werden, sobald die hydraulischen und geometrischen Parameter des Reaktors und die Gesetze bekannt sind, welche die Wachstumsgeschwindigkeiten der im Film vorkommenden Mikroorganismenarten bestimmen. Alle bisher bekannten Modelle der Mikroorganismenverteilung in Biofilmen beschreiben hingegen Spezialfälle oder Näherungslösungen für die hier präsentierten Gleichungen.

ques. Au cours des dernières années, quelques projets expérimentaux ont été réalisés par l'EAWAG tant pour des systèmes à l'échelle du laboratoire [1] que pour des systèmes à l'échelle technique [2,3]. Ces projets laissent encore toujours de nombreuses questions sans réponse.

En résumé, les difficultés qui se présentent lors d'analyses expérimentales de biofilms sont les suivantes: plusieurs données (microorganismes et substances nutritives) doivent être analysées simultanément, compte tenu de leur interaction, et il importe de connaître leur répartition dans l'espace ainsi que leur évolution dans le temps. Ces grandeurs ne peuvent cependant pas faire l'objet d'une mesure directe. Aussi l'EAWAG a-t-elle commencé il y a quelques années, dans le cadre d'un projet de recherche, à étudier ce problème à partir de méthode d'analyse systémique. Notre conception des phénomènes qui se déroulent à l'intérieur d'un biofilm a pu ainsi être développée grâce à l'étroite collaboration entre ingénieurs et informaticiens et transcrite sous une forme mathématique.

3. Modèle mathématique de la concurrence microbienne dans les biofilms

La fig. 2 illustre notre conception de la croissance d'un biofilm. On peut l'exprimer en termes mathématiques de la façon suivante:

$$\frac{dL}{dt} = u_L = \int_0^L \bar{\mu} dz \quad \text{avec} \quad \bar{\mu} = \sum_{i=1}^n \mu_i f_i \quad 1$$

Selon ces équations, la vitesse de croissance du biofilm u_L est égale à la vitesse de croissance spécifique moyenne de la biomasse $\bar{\mu}$ (cumulée dans la profondeur z du biofilm), $\bar{\mu}$ étant déterminée par les vitesses de croissance spécifiques μ_i et les parts de volume f_i de toutes les n espèces de microorganismes présents dans le film. L'équation 1 établit donc un rapport entre l'augmentation de volume et la production de biomasse, mais elle ne dit encore rien de la répartition dans l'espace et de l'évolution dans le temps des différents microorganismes dans le biofilm. D'autres équations sont nécessaires:

$$\frac{\partial f_i}{\partial t} = (\mu_i - \bar{\mu}) f_i - u \frac{\partial f_i}{\partial z} \quad 2$$

Cette équation établit, pour une espèce de microorganisme donnée i , l'évolution de sa part du volume f_i de la biomasse à un moment t de son évolution et à un endroit z du biofilm. D'une part, l'évolution dans le temps de f_i dépend de la différence entre la vitesse de croissance spécifique μ_i et celle de la biomasse, $\bar{\mu}$, d'autre part, elle dépend de la vitesse de dilatation u de la biomasse au point z ainsi que de l'évolution spatiale, c'est-à-dire en profondeur, de f_i .

Les équations 1 et 2 représentent la croissance et la répartition des microorganismes dans le biofilm d'une façon générale; autrement dit, elles ne s'appuient pas sur un réacteur particulier ni sur un groupe spécifique de microorganismes. C'est pourquoi ces équations peuvent s'appliquer à toute situation pourvu que soient connus les paramètres hydrauliques et géométriques du réacteur ainsi que les lois qui régissent la vitesse de croissance des microorganismes présents dans le film. Tous les modèles de répartition connus jusqu'à présent ne présentent en revanche que des cas particuliers ou des solutions approximatives.

Un autre argument plaide en faveur de la validité générale des équations 1 et 2: leur déduction [4] ne repose que sur quelques principes physiques fondamentaux (bilans des masses). Ainsi des équations semblables à celles qui décrivent l'interaction dans le transport et la consommation de nutriments à l'intérieur des biofilms ont été élaborées pour les microorganismes. Connues depuis des années [5] et

Fig. 3

Zeitliche Entwicklung der Biofilmdicke und der Volumenanteile verschiedener Mikroorganismenarten im Biofilm. Die Volumenanteile beschreiben die räumliche Verteilung der heterotrophen (1), autotrophen (2) und inaktiven (3) Mikroorganismen zwischen der festen Unterlage (unten) und dem Wasser (oben) [4].

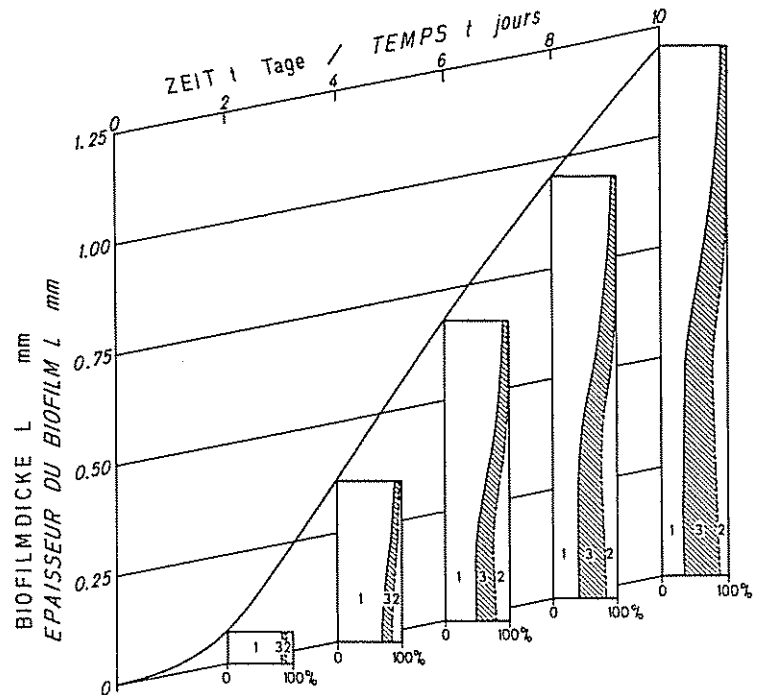
Evolution dans le temps de l'épaisseur du biofilm et des parts de volume occupé par les différentes espèces de microorganismes. Ces parts de volume indiquent la répartition spatiale des microorganismes hétérotrophes (1), autotrophes (2) et inactifs (3) entre le support solide (en bas) et l'eau (en haut) [4].

Ein weiterer Grund für die allgemeine Gültigkeit der Gleichungen 1 und 2 liegt darin, dass ihre Herleitung [4] nur auf einigen wenigen, sehr grundlegenden physikalischen Prinzipien (Massenbilanzen) beruht. Damit sind für die Mikroorganismen Gleichungen hergeleitet worden, die denjenigen entsprechen, welche die Wechselwirkung von Transport und Verbrauch von Nährstoffen in Biofilmen beschreiben. Diese Gleichungen, die schon seit Jahren bekannt sind [5] und überall Verwendung finden, liefern zusammen mit den Gleichungen 1 und 2 ein umfassendes mathematisches Modell der Konkurrenz von Mikroorganismen in Biofilmen. Das Modell erlaubt es, unser Wissen über die im Biofilmminner ablaufenden Vorgänge zu vertiefen, die für das Biofilmverhalten wesentlichsten Faktoren zu identifizieren und nicht messbare Größen indirekt experimentell zu bestimmen. Numerische Berechnungen mit dem Modell für konkrete Probleme sind praktisch nur mit Hilfe eines Computers möglich. In Fig. 3 ist das Ergebnis einer solchen Berechnung dargestellt, die einer kürzlich veröffentlichten Arbeit [4] entnommen ist. Die Figur zeigt einen frei wachsenden Biofilm, in dem drei verschiedene Mikroorganismenarten vorkommen. Zuerst wächst die Dicke des Biofilms exponentiell. Nach etwa drei Tagen verlangsamt sich ihre Zunahme, weil jetzt die Nährstoffe in der Tiefe des Films knapper werden. Mit der Zeit nähert sich das Wachstum einem konstanten Wert, der von der Differenz zwischen Wachstumsgeschwindigkeit und Absterberate der Mikroorganismen bestimmt wird.

4. Mechanismen der Biomasseerneuerung

Wenn im Wasser sehr viele Nährstoffe vorhanden sind, wie das im Abwasser der Fall ist, müsste der Biofilm gemäss Fig. 3 andauernd weiterwachsen. Dies widerspricht jedoch der praktischen Erfahrung. Es muss demnach Mechanismen geben, die das Biofilmwachstum beschränken. Denkbar ist, dass durch die Kraft des über den Biofilm strömenden Wassers ein dauernder Abrieb von Mikroorganismen von der Filmoberfläche stattfindet, oder dass Vorgänge in der Tiefe des Films zur Ablösung ganzer Biofilmpartien führen. In der Tat lassen sich im Wasser, das über einen Biofilm geflossen ist, aus dem Film abgeschwemmte Mikroorganismen nachweisen, und beide Mechanismen der Abschwemmung werden in der Praxis beobachtet.

Mit Hilfe des Modells können diese Mechanismen nun näher untersucht werden. Fig. 4 zeigt das Ergebnis einer solchen Untersuchung. Links ist der Fall dargestellt, in dem Mikroorganismen laufend von der Filmoberfläche abgerieben werden. Hier stellt sich nach etwa zehn Tagen ein Gleichgewicht zwischen Abrieb und Produktion von Biomasse ein; die Biofilmdicke bleibt jetzt praktisch konstant. Dasselbe gilt auch für die Abbauleistung, das heisst für die Nährstoffmengen, die pro Zeiteinheit und Biofilmfäche aus dem Wasser entfernt werden. In Fig. 4, rechts, ist dargestellt, wie sich nach 6,5 Tagen ein grosser Teil des Films plötzlich ablöst. Hier wird also kein Gleichgewichtszustand erreicht. Wenn von der Vorstellung ausgegangen wird, dass die Ablösung periodisch und an verschiedenen Stellen zu verschiedenen Zeitpunkten stattfindet, dann lässt sich für diesen Fall jedoch eine mittlere Abbauleistung berechnen. Der Vergleich der



très souvent utilisées, ces équations, ajoutées aux équations 1 et 2, constituent un modèle mathématique global de la concurrence microbienne dans les biofilms. Ce modèle nous permet d'approfondir notre connaissance des phénomènes internes aux biofilms, d'identifier les facteurs déterminants du comportement des biofilms et de définir indirectement par la voie expérimentale des grandeurs non mesurables.

Pour résoudre des problèmes concrets, les calculs numériques à partir de ce modèle sont pratiquement impossibles sans ordinateur. La fig. 3 présente le résultat d'un calcul extrait d'un travail publié récemment [4]. Elle présente un biofilm à croissance libre contenant trois espèces différentes de microorganismes. Tout d'abord, l'épaisseur du biofilm s'accroît de façon exponentielle. Au bout de trois jours environ, ce développement se ralentit en raison de la raréfaction des nutriments au fond du film. Avec le temps, la croissance tend vers une valeur constante, déterminée par la différence entre le taux de croissance et le taux de dépérissement des microorganismes.

4. Mécanismes de régénération de la biomasse

Selon la fig. 3, si l'eau est riche en nutriments, comme le sont les eaux usées, le biofilm devrait croître en permanence. Or, l'expérience tend à démentir cette hypothèse. Il doit donc exister des mécanismes qui limitent la croissance du biofilm. Il est tout à fait concevable que la force d'abrasion provoquée par l'écoulement de l'eau sur le biofilm entraîne l'élimination constante de microorganismes à la surface du film ou encore que certains processus au fond du film provoquent le décollement de morceaux entiers de biomasse. En réalité, ces deux mécanismes se vérifient dans la pratique et l'on constate dans de l'eau qui s'est écoulée sur un biofilm, la présence de microorganismes détachés de ce film. Notre modèle permet maintenant l'analyse détaillée de ces mécanismes. La figure 4 en donne un exemple. Dans le cas présenté à gauche, les microorganismes sont constamment abrasés à la surface du film. Au bout de dix jours environ, un équilibre s'établit entre l'abrasion et la production de biomasse; l'épaisseur du biofilm demeure pratiquement constante. Cela s'applique aussi à la capacité d'élimination des nutriments contenus dans l'eau, évaluée par unité de temps et de surface du biofilm. La partie droite de la fig. 4 montre comment une fraction importante du film se détache subitement au bout de 6,5 jours (décollement). Aucun équilibre

ABBAULEISTUNG EINES BIOFILMS in $g\ m^{-2}\ d^{-1}$:
 CAPACITE D'ELIMINATION D'UN BIOFILM en $g\ m^{-2}\ d^{-1}$:

	im stationären Zustand <i>en état stationnaire</i>	Mittelwerte <i>Valeurs moyennes</i>
Organische Komponenten CSB <i>Matières organiques DCO</i>	1.33	1.75
Ammonium	2.33	1.73
Sauerstoff / <i>Oxygène</i>	11.01	8.75

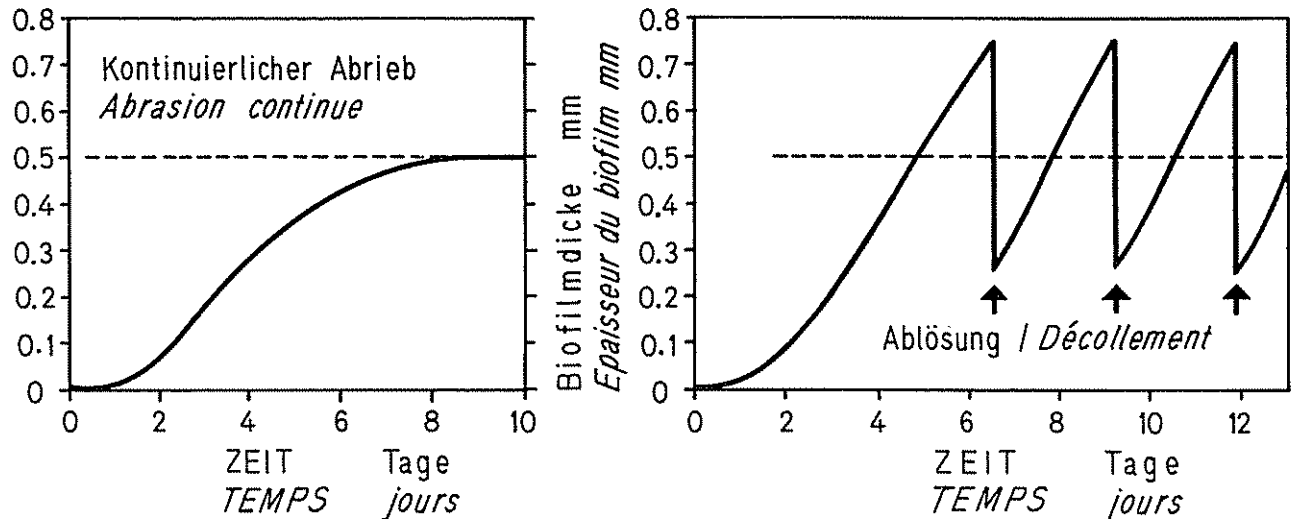


Fig. 4
 Abbauleistung und zeitliche Entwicklung der Dicke eines Biofilms für die Fälle dauernden Abriebs von Mikroorganismen von der Filmoberfläche (links) und periodischer Ablösung ganzer Biofilmportionen (rechts). Die Werte der Abbauleistung im Ablösungsfall sind über eine Ablösungsperiode gemittelt. Der Biofilm enthält sowohl heterotrophe als auch autotrophe Mikroorganismen [4].

Capacité d'élimination et évolution dans le temps de l'épaisseur d'un biofilm. A gauche, abrasion continue de la surface du film; à droite, décollement périodique de fractions de film et valeurs moyennes de la capacité d'élimination pour une période de décollement. Le biofilm contient des microorganismes hétérotrophes et autotrophes [4].

beiden Fälle hinsichtlich ihrer Abbauleistung zeigt, dass sich diese stark unterscheiden. Dies rührt daher, dass die verschiedenen Mikroorganismenarten im Film räumlich ungleich verteilt sind (Fig. 3) und daher von der Abschwemmung auch unterschiedlich betroffen werden. Das Modell weist demnach darauf hin, dass der Mechanismus der Biomasseerneuerung von grosser Bedeutung ist für die Abbauleistung eines Biofilms, für diejenige Grösse also, die für die Praxis vor allem von Interesse ist. Die Konsequenz dieser Vorhersage ist, dass die Ursachen und Mechanismen der Biomasseerneuerung nun in gezielten Experimenten näher untersucht werden sollten.

5. Ist das Modell in der Praxis verwendbar?

Unser Wissen von den Faktoren, die das Verhalten von festsetzender Biomasse steuern, ist heute noch recht klein. Weitere Untersuchungen wie diejenige über die Biomasseerneuerung sind nötig, um unsere Vorstellungen von den im Innern eines Biofilms ablaufenden Vorgängen zu erweitern. Denn erst wenn konkrete Vorstellungen vorliegen, lassen sich gezielte Experimente planen und durchführen, um diese Vorstellungen zu überprüfen. Für den praktischen Einsatz des Modells bei der rechnerischen Auslegung und der Optimierung des Betriebs von Reaktoren mit festsetzender Biomasse ist es also noch zu früh. Erste Schritte in dieser Richtung sind zwar unternommen worden [6], haben aber eher

n'est atteint dans ce cas. En supposant que cet «écaillage» s'effectue périodiquement à des endroits différents, on peut alors évaluer une capacité d'élimination moyenne. La comparaison des deux cas sur ce plan révèle de grandes différences. En effet, les différentes espèces de microorganismes sont inégalement réparties dans le biofilm et, par conséquent, elles ne subissent pas de la même façon ce phénomène d'érosion (fig. 3). Ce modèle indique donc l'importance du mécanisme de régénération de la biomasse pour la capacité d'élimination des nutriments par un biofilm, ce qui, en fin de compte, attire notre attention dans la pratique. Par conséquent, les causes et les mécanismes de la régénération de la biomasse devraient désormais faire l'objet d'une recherche approfondie à l'aide d'investigations expérimentales bien orientées.

5. Ce modèle est-il applicable dans la pratique?

Notre connaissance des facteurs qui guident le comportement de la biomasse fixée est encore très limitée. D'autres études semblables à celle concernant la régénération de la biomasse sont nécessaires pour que l'on comprenne mieux les processus qui se déroulent à l'intérieur d'un biofilm. Ce n'est que sur la base d'idées concrètes que l'on peut planifier et effectuer des expériences précises permettant d'en vérifier l'exactitude. Il est encore trop tôt pour envisager l'application de notre modèle au dimensionnement et à l'optima-

exemplarischen Charakter. Angesichts der vielen noch offenen Fragen liegt der Wert des hier vorgestellten Modells vor allem darin, dass damit ein Instrument geschaffen ist, das der Forschung auf dem Gebiet der festsitzenden Biomasse weitere Impulse vermitteln kann.

- [1] Siegrist, H.R.: Stofftransportprozesse in festsitzender Biomasse, Diss. ETHZ, Nr. 7726, Zürich 1985.
- [2] Gujer, W., Boller, M.: Operating Experience with Plastic Media Tertiary Trickling Filters for Nitrification, *Wat. Sci. Tech.*, 16, 201-213 (1984).
- [3] Boller, M., Gujer, W.: Nitrifikation im nachgeschalteten Tropfkörper, kombiniert mit Tiefenfiltration, *Gas Wasser Abwasser*, 64, 677-688 (1984).

Die Autoren

Dr. *W. Gujer* arbeitet seit 1974 an der EAWAG. Seit 1976 ist er Leiter der Abteilung für Ingenieurwissenschaften. Seine wichtigsten Forschungsaktivitäten beziehen sich auf die biologische Abwasserreinigung und die Gewässerschutzplanung. Als Lehrbeauftragter unterrichtet er mehrere Kurse in Verfahrenstechnik und Gewässerschutz an der ETHZ.

Dr. *Oskar Wanner* beschäftigt sich seit dem Abschluss seines Studiums als Maschineningenieur mit der Verwendung systemanalytischer Methoden bei der Untersuchung natürlicher Systeme. Seinen Dr. sc. nat. erwarb er am Institut für Molekularbiologie und Biophysik der ETHZ, wo er während mehreren Jahren an der experimentellen und mathematischen Analyse eines Hormonregelsystems arbeitete. An der EAWAG hat er seit 1979 an mehreren interdisziplinären Forschungsprojekten mitgearbeitet, auf den Gebieten «Transport und Transformation von Verunreinigungssubstanzen im Grundwasser», «Fließgewässermodellierung» und «Abwasserreinigung mit festsitzender Biomasse».



lisation du fonctionnement de réacteurs à biomasse fixée. Les premiers pas ont certes été faits dans cette direction [6], mais ils ont surtout valeur d'exemple. Compte tenu du nombre de questions encore sans réponse, l'intérêt essentiel de ce modèle est qu'il constitue un instrument susceptible de promouvoir la recherche dans le domaine de la biomasse fixée.

- [4] Wanner, O., Gujer, W.: A Multi-Species Biofilm Model, *Bio- tech. Bioeng.* (1985), im Druck.
- [5] Himmelblau, D.M., Bischoff, K.B.: «Process-Analysis and Simulation», John Wiley and Sons Inc. 1968.
- [6] Wanner, O., Gujer, W.: Competition in Biofilms, *Wat. Sci. Tech.*, 17, 27-44 (1984).

Les Auteurs



Monsieur *Willi Gujer* travaille depuis 1974 à l'EAWAG, où il dirige depuis 1976 le département de génie civil. Ses principales activités de recherche portent sur l'épuration biologique des eaux usées et la planification de la protection des eaux. En qualité de chargé de cours, il enseigne à l'EPF Zurich dans les domaines de l'ingénierie et de la protection des eaux.

Monsieur *Oskar Wanner* s'intéresse depuis la fin de ses études d'ingénieur mécanicien à l'utilisation de méthodes d'analyse de systèmes naturels. Il a soutenu sa thèse de doctorat en sciences naturelles à l'institut de biologie moléculaire et de biophysique de l'EPF Zurich, où il a travaillé pendant plusieurs années à l'analyse expérimentale et mathématique d'un système de régulation hormonale. A l'EAWAG, il a collaboré depuis 1979 à plusieurs projets de recherche interdisciplinaires dans différents domaines: transport et transformation de substances polluantes dans les eaux souterraines, modelage d'eaux courantes et épuration des eaux usées à l'aide de biomasse fixée.



Teilnehmer des 5. Nachdiplomstudiums in Siedlungswasserbau und Gewässerschutz, jeweils von links nach rechts, vorderste Reihe: *Thomas Burg, Heinz Mutzner, Dieter Raab, Siglinde Schiele, Georg Cassimatis*; zweite Reihe: *Asterios Podas, Steven Banwart, Heinz Böni, Margareth Meyer, Jean-Claude Pulver, Lorenz Tschudi, Dorit Marti* (und nicht im Bild) *Ewa Warnicke*.

Participants au 4^{ème} cours post-grade en matière de constructions hydrauliques dans les agglomérations et de protection des eaux, de gauche à droite, premier rang: *Thomas Burg, Heinz Mutzner, Dieter Raab, Siglinde Schiele, Georg Cassimatis*; 2^{ème} rang: *Asterios Podas, Steven Banwart, Heinz Böni, Margareth Meyer, Jean-Claude Pulver, Lorenz Tschudi, Dorit Marti* et (absente sur la photo) *Ewa Warnicke*.

Struktur und Eigenschaften von Koordinationsverbindungen mit Oberflächen im Wasser: Spektroskopische Untersuchungen

Herbert Motschi

Die Chemie natürlicher Gewässer spielt sich zu einem überwiegenden Teil an der Phasengrenze Festkörper/Wasser ab. Den grössten Teil aktiver Oberfläche liefern die feinsten suspendierten Partikel biologischer oder mineralogischer Herkunft; ein schweizerischer Mittellandsee enthält grössenordnungsmässig 10^7 kolloidale Partikel pro ml Wasser. Nährstoffreiche Seen werden vorwiegend mit organischem Material beladen; durch Mineralisationsprozesse und Erosion gelangen aber auch anorganische Partikel in die Gewässer. Silizium, Aluminium, Titan und Eisen bilden die häufigsten Oxide der Erdkruste, und sie sind daher auch häufig in atmosphärischen Staubpartikeln anzutreffen. Im Kontakt mit Wasser liegen diese Elemente allerdings nicht als Oxide vor, sondern sie werden zu hydratisierten Oxiden oder Hydroxiden transformiert. Auf diese Weise entstehen auf der Oberfläche (OF) oxidischer Partikel Hydroxyl-Funktionen, welche die Adsorptionseigenschaften von Metallionen, Anionen und organischen Komplexbildnern beeinflussen. Durch die Sedimentation dieser Partikel werden adsorbierte chemische Verbindungen und Ionen in unterschiedlichem Mass auf den Grund transportiert. Die Verteilung von chemischen Spezies zwischen gelöster und fester Phase lässt sich ingenieurmässig berechnen, indem diese formal als Verteilungsgleichgewicht eines aus mehreren Komponenten und Phasen zusammengesetzten Systems behandelt wird. In einem vereinfachten Seen-Box-Modell ist der Kreislauf eines Metallions aufgezeigt (Fig. 1).

Structure et propriétés des liaisons de coordination avec les surfaces en milieu aqueux: Analyses spectroscopiques

Herbert Motschi

Les transformations chimiques des eaux naturelles se déroulent en majeure partie à l'interface solide/eau. L'essentiel de la surface active est constituée de fines particules d'origine biologique ou minéralogique en suspension. Un lac de Suisse centrale par exemple contient environ 10^7 particules colloïdales par ml d'eau. Les lacs riches en substances nutritives sont surtout chargés de matière organique; toutefois, les processus de minéralisation et l'érosion favorisent l'apparition dans les eaux de particules inorganiques. Le silicium, l'aluminium, le titane et le fer constituent les oxydes les plus abondants de la croûte terrestre et il n'est pas rare de les retrouver par conséquent dans des particules de poussière atmosphérique. Cependant, au contact de l'eau, ces éléments ne se présentent pas sous forme d'oxydes, car ils sont transformés en oxydes hydratés ou hydroxydes. Ainsi apparaissent à la surface des particules d'oxydes des fonctions hydroxyles qui influent sur les propriétés d'adsorption des ions métalliques, des anions et des agents complexants organiques. Par la sédimentation de ces particules, les ions et les composés chimiques adsorbés sont déposés sur le fond dans des proportions variables. L'étude de la distribution des espèces chimiques entre la phase dissoute et la phase solide peut être traitée de manière formelle en définissant l'équilibre de répartition d'un système composé de plusieurs phases et constituants. La figure 1 montre à partir d'un schéma simple la circulation d'un ion métallique dans un lac.

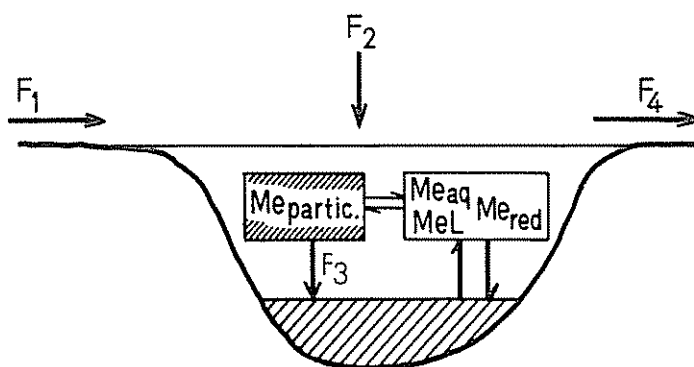


Fig. 1: Verteilung von Metallionen (Me) in einem See.

- F_1 : Eintrag durch Zufluss
- F_2 : Eintrag durch atmosphärische Niederschläge
- F_3 : Sedimentationsrate
- F_4 : Abfluss

Die Metallionen verteilen sich zwischen suspendierten Partikeln und gelöster Form, wo sie Komplexbildungsreaktionen (Me_L) und Redox-Reaktionen eingehen können (Me_{red}).

Durch reduktive Bedingungen am Hypolimnion können gewisse Metalle wieder in Lösung gelangen (z. B. $Fe(III)_{partic.} \xrightarrow{e^-} Fe(II)_{dissol.}$).

Répartition des ions métalliques (Me) dans un lac.

- F_1 : apport par affluent
- F_2 : apport par précipitations atmosphériques
- F_3 : taux de sédimentation
- F_4 : écoulement

Les ions métalliques se lient à des particules en suspension ou, sous forme dissoute, entrent dans des réactions de complexation (Me_L) et d'oxydo-réduction (Me_{red}).

Certaines conditions réductives de l'hypolimnion peuvent entraîner la redissolution de métaux. Par exemple: $Fe(III)_{partic.} \xrightarrow{e^-} Fe(II)_{dissol.}$.

Die Oberflächen von natürlichen kolloidalen Teilchen sind in der Regel sehr heterogen zusammengesetzt, so dass sie für Adsorptionsstudien kaum als Modelloberflächen verwendet werden können. Wässrige Oxyde sowie organische Polyelektrolyte sind für die Kationenadsorption als Modelloberflächen eingehend untersucht worden [1-3]. Das von Stumm und Schindler entworfene Koordinationsmodell be-

La surface des particules colloïdales naturelles présente en général une composition très hétérogène, ce qui limite leur emploi en tant que surfaces-modèles dans des études d'adsorption. Des oxydes aqueux de même que des polyelectrolytes organiques employés à ce titre ont fait l'objet d'analyses approfondies quant à l'adsorption des cations [1, 2]. Le modèle de coordination conçu par Stumm et Schind-

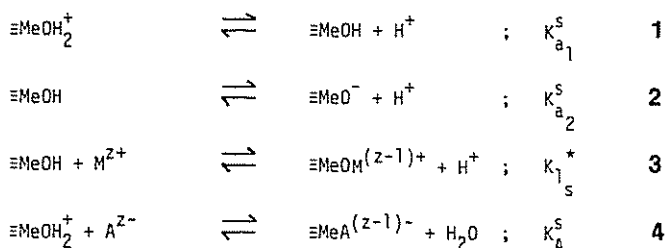


Tabelle 1:
Oberflächenreaktion der Hydroxylgruppe ($\equiv\text{MeOH}$)

Tableau 1:
Réactions de surface du groupe des hydroxyles ($\equiv\text{MeOH}$)

schreibt einerseits die amphotere Natur der Hydroxylgruppe (Reaktionen 1 und 2) und andererseits die ambivalenten Eigenschaften gegenüber Metallionen und Anionen (Reaktionen 3 und 4). Aus Titrationsexperimenten können zwei Aziditätskonstanten bestimmt werden, ebenso die Stabilitätskonstanten der OF-Komplexbildung mit Kationen und Liganden (K_{1s}^* , K_A^s). Mit diesem Satz an Gleichgewichtsreaktionen können im Prinzip alle Adsorptionsisothermen thermodynamisch konsistent beschrieben werden. Solche Gleichgewichte sind in sehr empfindlicher Art und Weise sowohl von der Natur der Oberfläche als auch von der Art der spezifisch adsorbierten Kationen und Anionen abhängig. Dies alles lässt eine inner-sphärische (d. h. direkte) Bindung zwischen Adsorbat und Oberfläche plausibel erscheinen. Andere, ebenso konsistente Modelle sehen die dirigierende Rolle der Doppelschicht im Vordergrund, d. h. der an der Phasengrenze Festkörper/Wasser bestehende Potentialgradient tritt in Wechselwirkung mit dem Dipolmoment der angrenzenden Wasserschicht (Fig. 2).

ler décrit d'une part la nature amphotère des hydroxyles (réactions 1 et 2) et d'autre part les propriétés ambivalentes à l'égard des anions et des ions métalliques (réactions 3 et 4). Des expériences de titrage ont permis de déterminer deux constantes d'acidité, ainsi que les constantes de stabilité correspondant à la complexation en surface des cations et coordinats (K_{1s}^* , K_A^s). En principe, grâce à cette loi sur les réactions d'équilibre, il est possible de décrire toutes les isothermes d'adsorption de façon cohérente du point de vue thermodynamique. De tels équilibres sont, d'une manière extrêmement sensible, tributaires de la nature de la surface tout comme du type des cations et des anions spécifiquement adsorbables. Cela fait apparaître qu'une liaison intrasphérique (c'est-à-dire directe) entre l'adsorbat et la surface est vraisemblable. D'autres modèles tout aussi cohérents soulignent le rôle prépondérant de la double couche; donc en d'autres termes, le gradient du potentiel existant à l'interface solide/eau entre en interaction avec le moment dipolaire de la couche d'eau limitrophe (fig. 2).

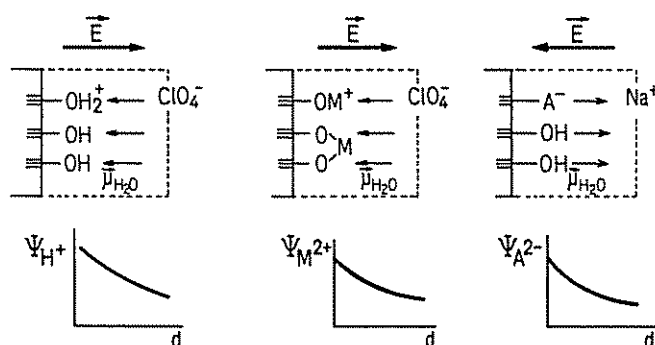


Fig. 2:
Die elektrische Doppelschicht:
Durch spezifische Adsorption von potentialbestimmenden Ionen (H^+ , OH^- , Metallionen (M^{2+} , Anionen A^{2-})) entsteht an der Grenzfläche ein Potentialgradient. Je nach Oberflächenladung dirigiert das an der Phasengrenze entstehende elektrische Feld die Ausrichtung der angrenzenden Wassermoleküle («Doppelschicht»).

La double couche électrique:
L'adsorption spécifique d'ions déterminant le potentiel électrique (H^+ , OH^- , ions métalliques (M^{2+}), anions (A^{2-})) fait apparaître une variation du potentiel à l'interface. Selon la charge de la surface, le champ électrique créé détermine l'orientation des molécules voisines («double couche»).

Thermodynamische Modelle stehen notgedrungen in einer mehrdeutigen Beziehung zu tatsächlich vorhandenen strukturellen Einheiten. In diesem Artikel sollen daher spektroskopische Methoden diskutiert werden, die eine Aussage über die Wechselwirkung zwischen Adsorbat und OF oxydischer Partikel im hydratisierten Zustand zulassen.

Les modèles thermodynamiques ont forcément des difficultés pour tenir compte de l'existence des différents groupes appartenant à la structure. Cet article se propose donc de comparer des méthodes spectroscopiques susceptibles de mettre en évidence l'interaction entre adsorbat et surface de particules d'oxydes à l'état hydraté.

Spektroskopie hydratisierter Oberflächen

Bedingt durch den sehr kleinen Anteil funktionell aktiver Oberfläche (Austauschkapazität in der Größenordnung von 0,1 bis 1 $\mu\text{equiv./m}^2$) weisen nur wenige spektroskopische Methoden die benötigte Empfindlichkeit auf. Eine weitere Einschränkung kommt durch die Auflage, die Oberfläche möglichst im hydratisierten Zustand zu messen, wodurch zahlreiche Techniken, welche für Gas-Adsorptionsphänomene, d. h. Ultrahochvakuummethoden, verwendet werden, wegfallen. Eine Auswahl an Methoden, die die zur Diskussion stehenden Kriterien erfüllen können, ist in Fig. 3 wiedergegeben. Die jeweilige Spektroskopie ist eng verknüpft mit einem inherent charakteristischen Zeitbereich, d. h. Struktur und Dynamik können nicht voneinander losgelöst diskutiert werden.

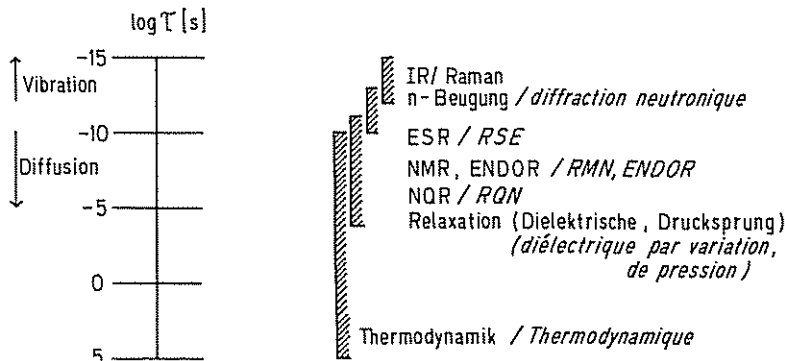
Spektroskopie de surfaces hydratées

En raison de la très faible part de surface active (capacité d'échange de l'ordre de 0,1 à 1 $\mu\text{eq/m}^2$), rares sont les méthodes spectroscopiques qui présentent la sensibilité requise. Leur nombre est encore restreint par la nécessité d'analyser la surface dans la mesure du possible à l'état hydraté, condition qui élimine de nombreuses techniques utilisées pour les phénomènes d'adsorption de gaz, à savoir les méthodes à ultrarvide. La figure 3 suggère un certain nombre de méthodes susceptibles de satisfaire aux critères requis. Chaque spectroscopie est étroitement liée à une gamme de fréquences caractéristique; c'est-à-dire qu'on ne peut pas dissocier l'étude de la structure de celle de la dynamique.

Fig. 3:

Zusammenhang zwischen Zeitbereichen von Struktur und molekularer Dynamik verglichen mit der Frequenzskala ausgewählter Spektroskopien.

Ist die Bewegung des Moleküls rasch verglichen mit der Zeitskala der Spektroskopie, so beobachtet man ein isotropes Spektrum; umgekehrt, ist die Frequenz der Spektroskopie höher als die der entsprechenden molekularen Bewegung, so wird das beobachtete Spektrum anisotrop (Fig. 4). Überlappen sich die beiden Bereiche, so kann die molekulare Dynamik erfasst werden. (Bsp.: Cu(II)-Komplexe sind in der Regel sehr labil: $k(\text{NH}_3) = 2,0 \cdot 10^9 \text{M}^{-1} \text{s}^{-1}$).



Relation entre domaines de temps et dynamique moléculaire comparé avec l'échelle de fréquences de certaines spectroscopies.

Si le mouvement de la molécule est rapide par rapport à l'échelle de temps de la spectroscopie, on observe un spectre isotrope. En revanche, si la fréquence de la spectroscopie est supérieure à celle du mouvement moléculaire correspondant, le spectre observé est anisotrope (fig. 4b). La coïncidence des deux phénomènes permet de comprendre la dynamique moléculaire. (Ex.: les complexes Cu(II) sont très instables en règle générale: $k(\text{NH}_3) = 2,0 \cdot 10^9 \text{M}^{-1} \text{s}^{-1}$).

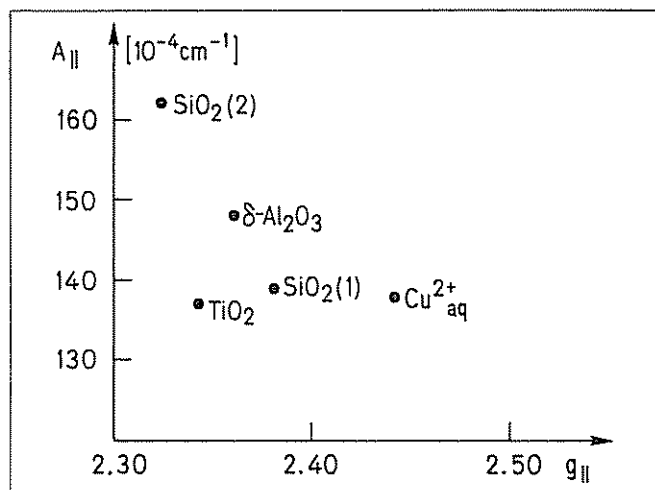


Fig. 4a: Kupfer(II)-ESR-Parameter für oxidische Modelloberflächen in wässrigen Lösungen.

($g_{||}$ = g-Faktor in axialer Richtung (siehe Fig. 7), $A_{||}$ = Hyperfeinkopplung mit den Isotopen ^{63}Cu und ^{65}Cu in axialer Richtung).
 $\text{Cu}^{2+}_{\text{aq}}$ = Cu(II)-Aquo-Ion in porösem Silica
 $\text{SiO}_2(1)$ = Aerosil (300)
 $\text{SiO}_2(2)$ = Silica-Sol (aus Hydrolyse von elementarem Si)

Paramètre RSE du cuivre (II) pour surfaces d'oxydes types en solution aqueuse.

($g_{||}$ = facteur g dans la direction axiale (cf. Fig. 7),
 $A_{||}$ = couplage hyperfin avec les isotopes ^{63}Cu et ^{65}Cu dans la direction axiale).
 $\text{Cu}^{2+}_{\text{aq}}$ = Cu^{2+} - ion aqueux dans le cas de la silice poreuse
 $\text{SiO}_2(1)$ = Aerosil (300)
 $\text{SiO}_2(2)$ = Sol de silice

Cu(II)-ESR-Messungen zur Charakterisierung der Oberflächenkoordination

Das Cu(II)-Ion ist dank seiner Elektronenkonfiguration (d^9) als paramagnetische Sonde sehr gut zur Durchführung von ESR(Elektronen-Spin-Resonanz)-Messungen geeignet. Die Analyse des ESR-Spektrums führt zu Informationen über die Geometrie des Cu(II)-Komplexes sowie zu Hinweisen über die Natur und Anzahl der koordinierten Liganden. Von Interesse sind folgende spektroskopischen Parameter: einerseits die sog. g-Faktoren, welche durch das Ligandenfeld beeinflusst werden, andererseits die Hyperfeinkopplung

IR/ Raman
n-Beugung / diffraktion neutronique
ESR / RSE
NMR, ENDOR / RMN, ENDOR
NQR / RQN
Relaxation (Dielektrische, Drucksprung)
(diélectrique par variation, de pression)
Thermodynamik / Thermodynamique

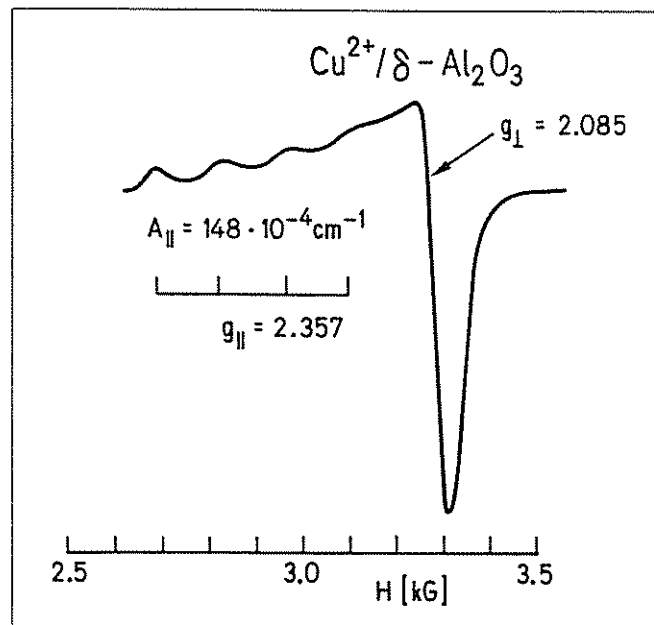


Fig. 4b: ESR-Spektrum von $\text{Cu}^{2+}/\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ in wässriger Suspension. Erscheinungsbild eines anisotropen Spektrums, d. h. räumliche Komponenten ($g_{||}$ = axialer g-Wert, g_{\perp} = äquatorialer g-Wert) sind zeitlich aufgelöst.

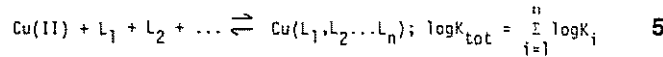
Spectre RSE de $\text{Cu}^{2+}/\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ en suspension aqueuse. Image d'un spectre anisotrope: les composants spatiaux ($g_{||}$ = valeur de g axiale, g_{\perp} = valeur de g équatoriale) sont analysés dans le temps.

Mesures de RSE sur Cu(II) pour caractériser la coordination superficielle

En raison de sa configuration électronique (d^9), l'ion Cu(II) constitue une sonde paramagnétique parfaitement appropriée aux mesures de RSE (Résonance Spin Electronique). L'analyse du spectre de RSE informe sur la géométrie des complexes du Cu(II) de même que sur la nature et le nombre des coordinats. L'intérêt réside dans les paramètres spectroscopiques suivants: d'une part, ce que l'on appelle les facteurs g, qui subissent l'influence du champ des coordinats, et d'autre part, les liaisons hyperfines A, nées de l'inter-

lungen A, welche aus der Wechselwirkung des ungepaarten Elektrons mit kernmagnetischen Momenten benachbarter Kerne entstehen [4]. Messungen an hydratisierten Oxiden haben ergeben, dass die ESR-Parameter $g_{||}$ und $A_{||}$ (d. h. die Komponenten in Richtung der molekularen Symmetrieachse) bereits sehr empfindlich auf die Natur des Oxids reagieren [5]. Eine «Landkarte» der ESR-Parameter von Cu(II) auf diversen oxidischen Oberflächen (Fig. 4) zeigt den Bereich solcher Daten auf.

Eine verstärkte Abnahme des $g_{||}$ -Parameters zeigt eine zunehmende Tendenz der Oberflächenkomplexbildung an. Dieser Befund stimmt qualitativ überein mit Stabilitätskonstanten, die für die Oberflächenreaktion nach Gleichung 3 ermittelt worden sind. Eine Korrelation zwischen der Bruttostabilität eines Cu(II)-Komplexes und dem $g_{||}$ -Parameter wurde empirisch für eine Reihe von Modellverbindungen gefunden:



Das Ergebnis dieser Korrelation ist in Fig. 5 transponiert auf eine Anzahl von $g_{||}$ -Werten für Cu(II), das auf verschiedene Oberflächen und Ionenaustauscher adsorbiert worden ist.

Daraus erhaltene Schätzwerte von Stabilitätskonstanten für oxidische Oberflächen, aber auch für Beispiele von Huminstoffen (d. h. Fulvinsäuren) und Aktivkohle, welche bekanntlich carboxyliche und phenolische funktionelle Gruppen enthalten, fallen in den Rahmen von experimentell bestimmten Daten.

action entre l'électron libre et les moments magnétiques nucléaires de noyaux voisins [4]. Il ressort de mesures effectuées sur des oxydes hydratés que les paramètres de RSE $g_{||}$ et $A_{||}$ (c'est-à-dire les composants dans la direction de l'axe de symétrie moléculaire) réagissent déjà de façon très sensible à la nature de l'oxyde [5]. Une «carte» des paramètres de RSE de Cu(II) sur diverses surfaces oxydiques (fig. 4) révèle l'étendue de ces données.

Une diminution accrue du paramètre g indique une augmentation de la complexation de surface. Du point de vue qualitatif, ce résultat concorde avec les constantes de stabilité obtenues par équation pour la réaction de surface 3. Une corrélation entre la stabilité globale d'un complexe de Cu(II) et le paramètre $g_{||}$ a été établie de façon empirique pour toute une série de liaisons types:

Dans la figure 5, le résultat de cette corrélation est transposé sur un certain nombre de valeurs $g_{||}$ pour du Cu(II) adsorbé par des surfaces et des échangeurs d'ions divers.

Les valeurs des constantes de stabilité ainsi déduites pour des surfaces d'oxydes mais aussi pour des exemples d'humines (c'est-à-dire d'acides fulviques) et de charbons actifs (reconnus pour contenir des groupes fonctionnels carboxyloxy et phénoliques) tombent en accord avec les valeurs expérimentales.

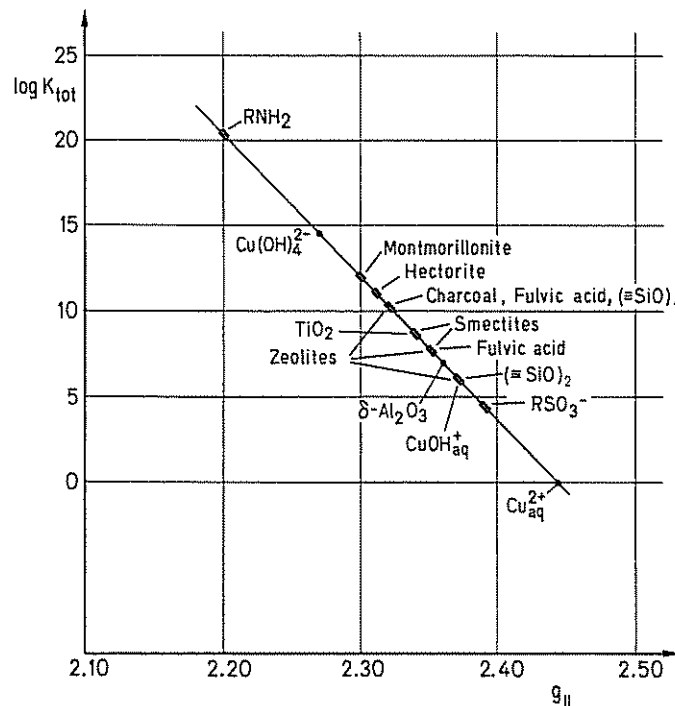
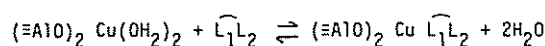


Fig. 5: Klassifikation der Stabilitätskonstanten von Cu(II)-OF-Komplexen nach ihren $g_{||}$ -Werten für verschiedene Oberflächen [4].
 RNH₂: Amino austauscherharz
 RSO₃: Sulfonat-Ionenaustauscher

Classification des constantes de stabilité des complexes de surfaces Cu(II) selon leurs valeurs $g_{||}$ pour différentes surfaces [4].
 RNH₂: Résine échangeuse d'ions amine
 RSO₃: Résine échangeuse d'ions sulfonate

Ternäre OF-Komplexe auf δ -Al₂O₃

Ausgehend vom Cu-Aquo-Oberflächenkomplex mit δ -Al₂O₃ können zwei koordinierte Wasserliganden durch stärker koordinierte Liganden substituiert werden. Liganden mit zunehmender Koordinationstendenz führen zu einer Abnahme des $g_{||}$ -Parameters, was eine erhöhte Stabilität der ternären OF-Komplexe bedeutet. Diese Reaktion kann schematisch folgendermassen geschrieben werden:



Complexes superficiels ternaires sur δ -Al₂O₃

A partir du complexe de surface aqueux Cu lié à δ -Al₂O₃, deux ligands coordonnés peuvent être remplacés par des ligands à plus grande force de coordination. Les ligands à tendance «coordinante» croissante entraînent une diminution du paramètre $g_{||}$, ce qui implique une stabilité accrue des complexes de surface ternaires. Cette réaction peut être décrite par l'équation suivante:

Besonders günstige Liganden für Cu(II) enthalten Aminofunktionen (Beispiele: NTA wie in Fig. 6, Ammoniak, Glycin). Die Bildung ternärer Komplexe übt einen signifikanten Einfluss auf die Verteilung von Metallionen zwischen gelöster und partikulärer Phase aus.

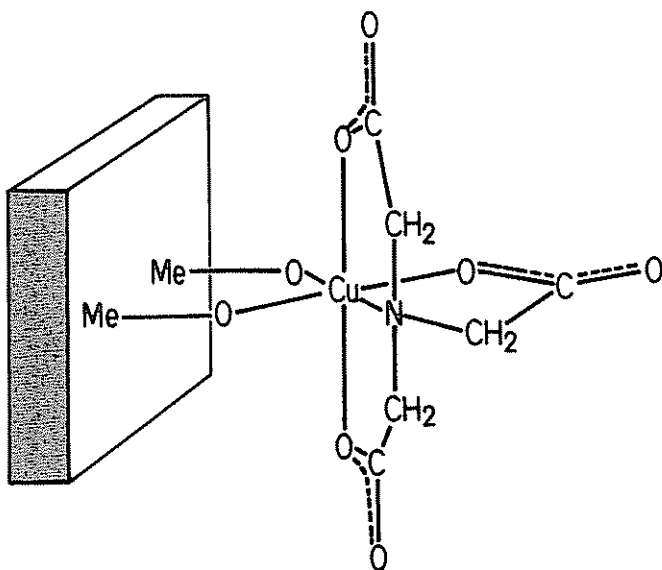


Fig. 6:
Schematische Darstellung des ternären OF-Komplexes $(=AlO)_2Cu(NTA)$

Représentation schématique du complexe de surface ternaire $(=AlO)_2Cu(NTA)$

ENDOR-Spektroskopie an OF-Komplexen

Um die aus den ESR-Spektren gewonnenen Einsichten zu vertiefen, sind in Zusammenarbeit mit dem Physikalisch-chemischen Institut der ETHZ erstmals ENDOR-Spektren (= Electron Nuclear Double Resonance) an Molekülen auf Oberflächen gemessen worden. Die ENDOR-Spektroskopie ermöglicht die Auflösung schwacher Wechselwirkungen zwischen dem ungepaarten Elektron und von Kernen innerhalb einer Reichweite von ca. 5 Å. Aus diesen Hyperfein-Daten können strukturelle Parameter abgeleitet werden, z. B. Entfernungen des paramagnetischen Zentrums zu den entsprechenden Ligandkernen. Die für das Kupfer(II)-Ion typische tetragonale Konfiguration bestätigt sich z. B. auch für den Oberflächenkomplex $(=AlO)_2Cu(OH_2^{\delta-})_2(OH_2^{\delta-})_2$.

Bindungsabstände können vor allem dann zuverlässig berechnet werden, wenn die Wechselwirkung zwischen den beiden magnetischen Momenten dipolarer Natur ist. Oft ist das nicht der Fall, da durch chemische Bindung das Elektron eine Delokalisation auf benachbarte Kerne erfährt. In solchen Fällen wird die beobachtete Kopplung beträchtlich grösser als die aus den Abständen errechnete rein dipolare. Die räumliche Symmetrie einer solchen Bindung ist in der Regel nicht kugelsymmetrisch, so dass das Spektrum dreidimensional analysiert werden muss; Spektren adsorbierter Spezies können durch ihre wahllose Orientierung ohnehin nicht in bestimmten Hauptachsenrichtungen untersucht werden. Durch den Vergleich mit Spektren von Modellverbindungen aus Einkristallen können vernünftige Parameter für die Spektrensimulation gefunden werden [6].

Dies ist jedoch nicht immer der Fall: Beispielsweise beobachtet man im ENDOR-Spektrum von adsorbiertem Oxovanadium ($VO^{2+}/\delta-Al_2O_3$) Signale durch die Kopplung mit den Lewis-Zentren (^{27}Al) der Oberfläche, welche weitaus stärker aufgespalten sind, als man für dipolare Kopplungen aufgrund von Modellbetrachtungen [7] erwarten würde (vgl. Fig. 7: anstelle von Cu ist V Koordinationszentrum). Die Delo-

Les ligands particulièrement propices au Cu(II) contiennent des fonctions amines (exemples: ammoniac, glycine, Nitrilotriacétate = NTA; fig. 6). La formation de complexes ternaires exerce une grande influence sur la répartition des ions métalliques entre la phase dissoute et la phase particulaire.

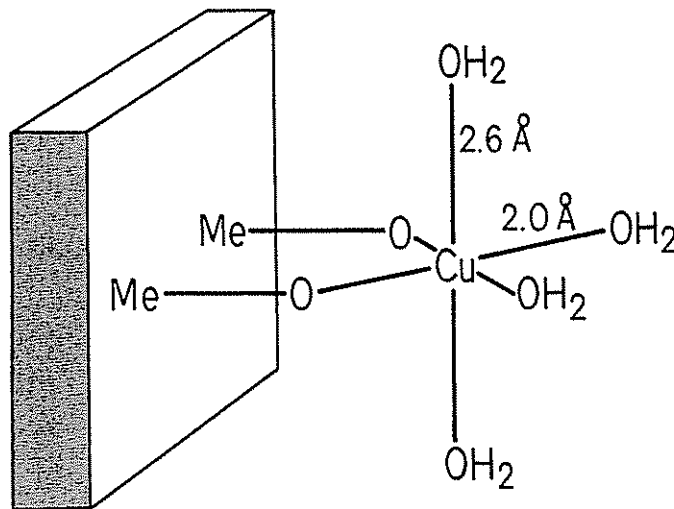


Fig. 7:
Aus 1H -ENDOR Spektrum ermittelte Bindungsabstände für den Oberflächen-Komplex $(=AlO)_2Cu(H_2O)_4$.

Longueurs de liaison obtenues à partir du spectre ENDOR 1H pour le complexe de surface $(=AlO)_2Cu(H_2O)_4$.

Spektroskopie ENDOR de complexes de surface

Afin d'approfondir les données obtenues à partir des spectres de RSE, on a mesuré pour la première fois en collaboration avec l'Institut physico-chimique de l'EPFZ des spectres ENDOR (Electron Nuclear Double Resonance) sur des molécules de surface. La spectroscopie ENDOR permet de mettre en évidence les faibles interactions de l'électron libre avec les noyaux voisins jusqu'à une distance de 5 Å environ. De ces données très sensibles peuvent être déterminés des paramètres structuraux, par exemple les distances du centre paramagnétique aux noyaux correspondants des ligands. Par exemple, la configuration tétragonale typique de l'ion cuivrique est également confirmée pour le complexe de surface $(=AlO)_2Cu(OH_2^{\delta-})_2(OH_2^{\delta-})_2$.

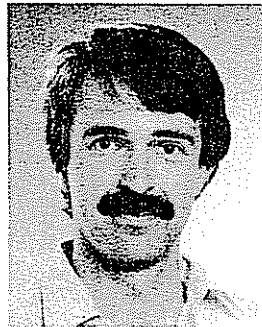
Un calcul fiable des longueurs de liaison est surtout possible lorsque l'interaction entre les deux moments magnétiques est de nature dipolaire. C'est rarement le cas, car l'électron subit, par liaison chimique, une délocalisation sur des noyaux voisins. Dans ce cas-là, le couplage observé est sensiblement plus important que le couplage purement dipolaire calculé à partir des longueurs de liaison. En règle générale, la symétrie spatiale d'une telle liaison n'est pas sphérique, de sorte que le spectre doit faire l'objet d'une analyse tridimensionnelle. Les espèces adsorbées sont orientées au hasard. De ce fait il n'est pas possible d'analyser leurs spectres dans la direction des axes principaux. La comparaison avec des spectres de liaisons types de monocristaux permet de trouver des paramètres raisonnables pour la simulation de spectres [6]. Mais ce n'est toutefois pas toujours le cas. Par exemple, dans le spectre ENDOR d'oxovanadium adsorbé ($VO^{2+}/\delta-Al_2O_3$), on observe des signaux dont le doublement est largement supérieur à ce que l'on pourrait attendre de couplages dipolaires sur la base d'observations types [7]. Ceci est dû au couplage avec les centres de Lewis (^{27}Al) de la surface (cf. fig. 7: au lieu du Cu, le V est centre de coordination). La délocalisation de l'électron libre du fragment de vanadyl avec un groupe fonctionnel de surface

kalisierung des ungepaarten Elektrons aus dem Vanadylfragment mit einer oberflächenfunktionellen Einheit bedeutet in diesem Fall der direkte experimentelle Nachweis einer inner-sphärischen Koordination an der Grenzfläche zwischen hydratisiertem Oxid und gelöstem Metallion.

Oberflächen in natürlichen Systemen sind notgedrungen sehr heterogen zusammengesetzt; dennoch können wir viele ihrer Eigenschaften verstehen lernen, auch wenn wir sie aus modellmässigen und experimentellen Gründen fragmentieren müssen. Spektroskopische Methoden sind ein komplementäres Mittel zur Klärung der Fragen nach der Natur der Bindung: OF-Koordination vs. elektrostatische Wechselwirkungen, Wasserstoffbrücken, van der Waalskräfte oder Donnanpotentiale. Die Kriterien zur Unterscheidung dieser Wesensmerkmale bei Adsorptionsprozessen gelingt in keinem Fall leicht; in der Regel herrscht die Überlagerung von verschiedenen Beiträgen vor. Auflösungs- und Nukleierungsprozesse mineralischer Phasen sind sehr eng gekoppelt mit Adsorptions- und Transporteigenschaften an Grenzflächen. Es ist die Dynamik solcher Prozesse, welche letzten Endes das Gesicht der aquatischen Geochemie prägt und verändert.

Der Autor

Dr. Herbert Motschi ist Chemiker und seit 1981 an der EAWAG. Sein spezielles Interesse gilt den Bindungsmechanismen von Wasserinhaltsstoffen an hydratisierten Oberflächen. Nach seiner Dissertation in Anorganischer Chemie an der ETHZ besuchte Herbert Motschi ein Jahr lang die Iowa State University (Ames, USA) und befasste sich mit der Reaktivität von Kohlenstoffmonoxid an Oberflächen und in Lösung.



constitue dans ce cas la preuve expérimentale directe d'une coordination intra-sphérique à l'interface entre un oxyde hydraté et un ion métallique dissous.

La composition des surfaces dans des systèmes naturels est forcément très hétérogène; nous pouvons toutefois découvrir bon nombre de leurs propriétés, même si nous devons les fragmenter pour des raisons expérimentales. Les méthodes spectroscopiques représentent un moyen complémentaire permettant d'expliquer la nature de la liaison: coordination de surface et interactions électrostatiques, pont hydrogène, forces de Van der Waal ou potentiels de Donnan. La différenciation de ces caractéristiques lors de processus d'adsorption est loin d'être aisée; la coexistence de différents phénomènes est souvent de règle. Les processus de dissolution et de nucléation de phases minérales sont très étroitement liés aux propriétés d'adsorption et de transport aux interfaces. C'est la dynamique de ces processus qui, en fin de compte, crée et modifie l'aspect de la géochimie aquatique.

- [1] Stumm, W., Huang, C.P., Jenkins, S.R., *Croat.-Chim. Acta* 42, 223 (1970)
- [2] Schindler, P.W., Wälti, E., Fürst, B., *Chimia* 30, 107-109 (1976).
- [3] Marinsky, J.A., Gupta, S., Schindler, P., *J. Colloid Interface Sci.* 89, 412 (1982).
- [4] Carrington, A. and McLachlan, A.P., "Introduction to Magnetic Resonance", Harper, 1969.
- [5] Motschi, H., *Colloids and Surfaces* 9, 333-347 (1984).
- [6] Rudin, M., Motschi, H., *J. Coll. Interface Sci.* 98, 385 (1984).
- [7] Motschi, H., Rudin, M., *Colloid and Polymer Sci.* 262, 579 (1984).

L'Auteur

Monsieur *Herbert Motschi*, Docteur en chimie, travaille depuis 1981 à l'EAWAG. Il s'intéresse en particulier aux mécanismes de liaison de substances au niveau de surfaces hydratées. Après sa soutenance de thèse en chimie inorganique à l'EPF Zurich, Herbert Motschi a passé un an à l'Université d'Etat de l'Iowa (Ames, USA) et s'est penché sur la réactivité de l'oxyde de carbone en surface et en solution.

Ökonomisch-ökologische Input-Output Analyse

Markus Baechler

Die Stoffkreisläufe in vielen Ländern und Regionen werden nicht nur durch Klima, Flora, Fauna, und Geologie, sondern ganz wesentlich durch die menschliche Zivilisation bestimmt. In Vordergrund für den Menschen stand bisher sein Nutzen an den natürlichen und den vom Menschen geschaffenen Produkten. (Dieser Nutzen ist entweder ein subjektiver Nutzen, wie er im Kaufentscheid des Konsumenten sichtbar wird, oder er ist ein objektiver Wert, wie ihn Preise ausdrücken.) Heute stehen in den hochentwickelten Ländern jedoch fast stärker die von den zivilisationsbedingten Stoffflüssen ausgehenden *Schäden* im Zentrum des öffentlichen Interesses, sowie die Möglichkeiten ihrer Verringerung. Dabei sind aber nicht nur die Schäden selbst schwierig zu bewerten, sondern auch die *Kosten* und die *Eignung* von Massnahmen, die Abhilfe schaffen sollen.

Zur Verminderung dieser Schäden, für die Neugestaltung und Neubewertung der sie verursachenden menschlichen Tätigkeiten wäre die *Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Stoffflüssen und den ihnen zugrundeliegenden Gütern und Aktivitäten erforderlich*. Ohne diese Kenntnis können – zum Beispiel – Emissionen aus vielen diffusen Quellen nicht verhältnismässig und ökonomisch effizient bekämpft werden.

Analyse d'input-output économique et écologique

Markus Baechler

Dans beaucoup de pays et de régions, les cycles des matières sont déterminés non seulement par le climat, la flore, la faune et la géologie, mais surtout par la civilisation humaine. Jusqu'à présent, l'homme s'intéressait avant tout au profit qu'il pouvait tirer des produits naturels et de ceux créés par la main de l'homme. (Ce profit pouvant être un profit subjectif comme il s'exprime dans la décision d'achat des consommateurs, ou bien une valeur objective fixée, par exemple, par le prix.) Aujourd'hui cependant, les *dommages* créés par les flux de substances dus à la civilisation, ainsi que les possibilités de les réduire occupent de plus en plus l'intérêt public dans les pays industrialisés. Il est toutefois difficile d'évaluer l'étendue de ces dommages ainsi que les *coûts* et la *validité* des mesures visant à les combattre.

Afin de réduire ces dommages, il faudrait bien *connaître les interactions entre les biens et activités humaines d'une part et les flux de substances qui en résultent d'autre part*, pour pouvoir réorganiser et réévaluer les activités humaines concernées. Sans cette connaissance, il est impossible de combattre, par exemple, les émissions provenant de sources diffuses d'une manière adéquate et efficace du point de vue économique.

Eine solche ökologische Sicht menschlichen Tuns verlangt damit eine Synthese von *ökonomischer* Betrachtung von Technologie, Eignung, Nutzen und Kosten einer Tätigkeit mit *naturwissenschaftlicher* Analyse von Technologie, Stoff-, Energieflüssen und Emissionen derselben.

Als Ansatz, mit dem diese Synthese gelingen könnte, soll in diesem Artikel die *Input/Output-Analyse* vorgestellt werden. Sie wurde in den Dreissiger-Jahren von W. Leontief entwickelt, um die Beziehungen und Verflechtungen der Zweige einer Volkswirtschaft untereinander erfassen und untersuchen zu können [1]. Die Input/Output-Analyse beruht im Prinzip auf einer Tabelle, in welcher die Lieferungen jeder Branche an alle anderen Branchen aufgeführt sind. Diese Lieferungen stellen einerseits den Output der liefernden Branche dar und gehen andererseits als Inputs in die Produktion der belieferten Wirtschaftszweige ein. Wird diese Input-/Output-Tabelle um die Endnachfrage von Staat und Haushalten ergänzt, sowie um «primäre Inputs» (Importe, Arbeit, Kapital), so sind Lieferungen und Empfänger aller wirtschaftlichen Leistungen miteinander verknüpft (Fig. 1).

Fig. 1
Beispiel für eine Input/Output-Tabelle (Ausschnitt).

MENGEN QUANTITES (AX) an vers von de	Land-wirtschaft agriculture	chemische Industrie industrie chimique	chemische Reinigung nettoyage à sec	MENGEN QUANTITES (D) Haushalte ménages	MENGEN QUANTITES (X) Summe somme
Landwirtschaft agriculture	15	5	0	80	100
chem. Industrie industrie chimique	30	45	10	65	150
chem. Reinigung nettoyage à sec	0	0	0	120	120
Importe importations	10	30	0	0	
Arbeit travail	20	140	15	0	175

Fig. 2
Herleitung des technischen Input/Output-Koeffizienten (Matrix A zu Fig. 1).

$$\begin{pmatrix} 15 \\ 30 \\ 0 \end{pmatrix} : 100 = \begin{pmatrix} 0.15 \\ 0.3 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 5 \\ 45 \\ 0 \end{pmatrix} : 150 = \begin{pmatrix} 0.033 \\ 0.3 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 10 \\ 0 \end{pmatrix} : 120 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.083 \\ 0 \end{pmatrix} \Rightarrow A = \begin{pmatrix} 0.15 & 0.33 & 0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.083 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Der Grundgedanke *ökologischer* Anwendungen der Input/Output-Analyse besteht darin, das Branchenverzeichnis um die «Branchen» *Luft, Boden und Wasser* zu erweitern, in «Stoff»-Mengen statt in Dollars oder Franken zu bilanzieren und so z. B. Flüsse in diese und durch diese Medien mit der ganzen Geschichte ihrer Herkunft abzubilden. (Eine Illustration hierzu bildet Fig. 6.) Auf diese Weise können mit der Input/Output-Methodik wirtschaftliche und ökologische Auswirkungen von politischen Massnahmen und neuen Technologien offengelegt werden.

Im folgenden Abschnitt sollen zuerst die technischen Grundlagen und die Darstellung eines Input/Output-Modells erläutert werden. Dabei wird von der einfacheren, älteren Version des Input/Output-Modells ausgegangen. Die mathematische Darstellung wird mit einem Zahlenbeispiel illustriert. Dann werden Weiterentwicklungen und Kritiken eingebracht und daraus der Rahmen abgeleitet, der die Erfassung und Auswertung von ökonomischen und naturwissenschaftlichen Daten in einem kombinierten Modell ermöglichen soll.

Une telle analyse écologique de l'activité humaine exige une synthèse entre d'une part une considération *économique* de la technologie, de la qualification, de l'utilité et des coûts d'une activité et d'autre part, une analyse *scientifique naturelle* de la technologie, des flux de substances et d'énergie ainsi que des émissions de cette même activité.

Cet article se propose de présenter un moyen qui devrait permettre de réaliser cette synthèse, à savoir l'*analyse d'input-output*. Elle a été développée dans les années trente par W. Leontief pour pouvoir enregistrer et examiner les relations et interdépendances entre les différentes branches d'une économie [1]. L'analyse d'input-output est fondée en principe sur un tableau qui comprend les livraisons de chaque branche vers toutes les autres branches. Ces livraisons sont d'un côté l'output de la branche de départ et se retrouvent de l'autre côté comme input dans la production de la branche d'arrivée. Si on complète ce tableau d'input-output par la demande finale de l'Etat et des ménages, ainsi que par des «inputs primaires» (importations, travail, capital), les livraisons et les bénéficiaires de toutes les prestations économiques sont reliés (fig. 1).

Exemple d'un tableau d'input-output (extrait)

Déduction du coefficient technique d'input-output (matrice A de la fig. 1)

La pensée fondamentale de l'utilisation *écologique* de l'analyse d'input-output veut élargir la liste des branches, pour y inclure les «branches» *air, sol et eau* et veut en même temps établir le bilan en quantités de «substances» au lieu de le faire en dollars ou en francs. De cette manière, par exemple, les flux qui entrent dans ces milieux ou qui les traversent sont enregistrés avec toute l'histoire de leur provenance (voir fig. 6.). Ceci permet de découvrir les répercussions économiques et écologiques de mesures politiques et de nouvelles technologies grâce à la méthode d'input-output.

Le paragraphe suivant explique tout d'abord les bases techniques et la représentation d'un modèle d'input-output à partir d'une version ancienne et plus simple de ce modèle. La représentation mathématique sera illustrée par un exemple numérique. Ensuite, on y introduira la suite du développement et on formulera des critiques pour obtenir le cadre qui devra enfin permettre l'enregistrement et l'exploitation de données économiques et scientifiques dans un modèle combiné.

Dieser Rahmen soll in der Abteilung für Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt an der EAWAG als Basis für die Modellierung einer Regionalstudie (Regionalstudie unteres Bünztal, RESUB) eingesetzt und erprobt werden.

1. Die Input/Output-Tabelle

Die Verknüpfung der Branchen einer Volkswirtschaft untereinander wird in der sog. Input/Output-Tabelle dargestellt. In ihrer ursprünglichen Form sind sowohl auf der Abszisse wie auf der Ordinate alle Branchen der Volkswirtschaft aufgeführt. Die i-te Zeile enthält dann die Lieferungen der i-ten Branche an alle anderen Branchen. Entsprechend verzeichnet die j-te Spalte die Vorleistungen aller Branchen, welche in die Produktion der Branche j eingehen. Als Illustration wird in Fig. 1 eine Input/Output-Tabelle mit drei Beispiel-Branchen vorgestellt, in der z. B. die Landwirtschaft 15 kt landwirtschaftlicher Vorprodukte und 30 kt chemische Produkte in ihrer Produktion einsetzt (nebst importierten Gütern und Arbeit)*.

Betrachtet man nun einen bestimmten Prozess, z. B. Spalte 3 aus Fig. 1 (chemische Reinigung) als technisch gegeben und unterstellt man, dass keine Produktionsmittel und Vorprodukte verschwendet werden, so kann man die Zahlen dieser Spalte durch den Gesamt-Output der Branche (kg gewaschene Wäsche, die Zeilensumme der Zeile 3) dividieren und erhält so die Input-Erfordernisse pro Einheit Output einer Branche (pro kg gewaschene Wäsche), deren sog. *technische Input/Output-Koeffizienten* (siehe Fig. 2). sie stellen die Beschreibung eines Produktionsprozesses anhand der Struktur seiner Inputs dar.

Umgekehrt erhält man natürlich wieder die Input-Mengen, wenn man die technischen Input/Output-Koeffizienten wieder mit den Output-Zahlen multipliziert, d. h. in Matrixschreibweise:

$AX + D = X$, mit **A**: Matrix der Input/Output-Koeffizienten
D: Vektor der Endnachfrage = $(I-A)X$
X: Output-Vektor = $(I-A)^{-1}D$
I: Einheitsmatrix (mit Einsen in der Hauptdiagonalen und Nullen überall sonst).

Fig. 3

Die abgeleiteten Koeffizienten-Matrizen $(I-A)$ und $(I-A)^{-1}$:
 Die Matrix $(I-A)$ besagt, wie gross der Anteil von jedem Produkt ist, der für die Endverbraucher noch übrig bleibt.
 Die Inverse von $(I-A)$ besagt, wieviel von jedem Gut brutto, d. h. inkl. der Vorprodukte, produziert werden muss, um eine bestimmte Konsumgüterkombination **D** herzustellen.

$$(I-A) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0.15 & 0.033 & 0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.083 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.85 & -0.033 & 0 \\ -0.3 & 0.7 & -0.083 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\Rightarrow (I-A)^{-1} = \begin{pmatrix} 1.1963 & 0.0564 & 0.0046 \\ 0.5127 & 1.4527 & 0.1205 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

* Aus Fig. 1 ist übrigens ersichtlich, wieso sich die Ökonomen lieber an Wert-Tabellen (in Dollars) statt an Mengen-Tabellen (in tausend Tonnen-Einheiten etwa) halten: Das Produkt der Landwirtschaft z. B. gibt es nicht und es gibt bekanntlich auch keine vernünftigen Regeln für das Zusammenzählen von Futtermitteln und Saatgut, von Raps, Heu, Weizen, Schweinefleisch und Milch usw. Durch *weitere Differenzierung* der groben Kategorie «Branche» in definierte betriebliche Prozesse («Produktion von . . .») ist dieses Problem aber lösbar.

On a prévu d'utiliser et d'essayer ce cadre dans le département Gestion de déchets et bilan des matières de l'EAWAG en tant que base pour le modelage d'une étude régionale (étude régionale du Bünztal inférieur, RESUB).

1. Le tableau d'input-output

Les interdépendances entre les branches d'une économie sont représentées dans un tableau d'input-output. Dans la forme primitive, toutes les branches de l'économie s'alignent aussi bien sur l'axe des abscisses que sur l'axe des ordonnées. La ligne i contient toutes les livraisons de la branche i vers toutes les autres branches. La colonne j, elle, comprend les prestations préalables de toutes les branches qui entrent dans la production de la branche j. La fig. 1 montre en tant qu'exemple un tableau d'input-output avec trois branches, dans lequel, par exemple, l'agriculture a besoin de 15 kt de produits agricoles semi-finis et de 30 kt de produits chimiques pour réaliser sa production (à part les biens importés et le travail)*.

Si on considère un processus précis, par exemple, la colonne 3 de la fig. 1 (nettoyage à sec), comme donné du point de vue technique et si on suppose qu'il n'y a pas de gaspillage de moyens de production et de produits semi-finis, on peut diviser les chiffres de cette colonne par l'output total de la branche (kg de linge lavé, la somme de la ligne 3) et on obtient ainsi les besoins d'input par unité d'output d'une branche (par kg de linge lavé); c'est ce qu'on appelle son *coefficient technique d'input-output* (cf. fig. 2). Il fournit la description d'un processus de production par le biais de la structure de ses inputs.

Vice versa, on obtient évidemment de nouveau les quantités d'input si on multiplie les coefficients techniques d'input-output avec les chiffres d'output; c. à. d. dans l'écriture matricielle:

$AX + D = X$, avec **A**: matrice des coefficients input-output
D: vecteur de la demande finale = $(I-A)X$
X: vecteur output = $(I-A)^{-1}D$
I: matrice unité (1 dans la diagonale principale et 0 ailleurs)

Les matrices de coefficient dérivées $(I-A)$ et $(I-A)^{-1}$:
 La matrice $(I-A)$ montre la part de chaque produit qui reste à la disposition des consommateurs finaux. L'inverse de $(I-A)$ indique la quantité brute qu'il faut produire de chaque bien (y compris les produits semi-finis) pour établir une combinaison de biens de consommation précise **D**.

* La figure 1 montre pourquoi les économistes préfèrent les tableaux de valeurs (dollars) aux tableaux de quantités (en milliers de tonnes): le produit de l'agriculture, par exemple, n'existe pas et il n'y a pas de règles rationnelles pour additionner des matières de fourrage et des semences, du colza, du foin, du blé, de la viande porcine et du lait etc. Par une *différenciation encore plus poussée* de la catégorie «branche» jusqu'à obtenir des processus de fabrication bien définis («production de . . .»), on peut résoudre ce problème.

Werden die Mengenangaben in der Tabelle mit den entsprechenden Produkt-Preisen multipliziert, entsteht die wertmässige I/O-Tabelle (in Geldeinheiten). In den Spalten stehen dann die Preise der Vorprodukte, die zur Herstellung einer Einheit Output (z. B. einer Tonne Rohmilch) benötigt werden, d. h. im Prinzip einer Kalkulation der (variablen) Stückkosten des produzierten Gutes. Die Spalten können darum auch als Kostenfunktion der Güter betrachtet werden. Mit der wertmässigen I/O-Tabelle können z. B. die Ausbreitungen von Preiserhöhungen im System oder Preis- und Beschäftigungseffekte von Lenkungsmaßnahmen berechnet werden (siehe z. B. [2], S. 37ff).

2. Entwurf eines ökonomisch-ökologischen I/O-Modells

Die Kombination von ökonomischen und ökologischen Aussagen muss verschiedene sprachliche und methodische Hindernisse überwinden. Eines könnte man als das «Problem der Einheiten» bezeichnen: Ökonomen äussern sich oft z. B. über «die Umweltqualität» als «ein Gut», Naturwissenschaftler werden bei solchen Verallgemeinerungen sprachlos oder unwirsch.

Übliches Kriterium für die ökonomische Abgrenzung von Gütern und Märkten ist die Ähnlichkeit der *Gebrauchsmöglichkeiten* verwandter Produkte, d. h. deren Substituierbarkeit. Für ökologische Fragestellungen ist jedoch meist die Ähnlichkeit der *Zusammensetzung* massgeblich, was eine *viel feinere* Unterteilung bedingt. Das heisst nicht, dass diese beiden Perspektiven unvereinbar sein müssen: Wird *innerhalb ökonomischer Güter weiter differenziert* bis zu eindeutiger chemischer Zusammensetzung, sind ökonomische wie ökologische Aussagen möglich, bezogen auf entsprechende Grössen. Damit sich Ökonomie und Ökologie über den «Einheiten-Graben» die Hand reichen können, müssen also die «Branchen» aufgegliedert werden in identifizierbare technisch-betriebliche Prozesse und Güter mit definierter Zusammensetzung.

Eine zweite Forderung betrifft die Möglichkeit *Kuppelproduktion* abzubilden. Unter Kuppelproduktion versteht man die notwendige gleichzeitige Produktion zweier oder mehrerer Güter in *einem* Prozess, wie z. B. die Entstehung von Stadtgas bei der Koksherstellung oder die Gewinnung von Cadmium bei der Ausbeutung von Zinkvorkommen. Auch die Produkte chemischer Prozesse sind in festen Verhältnissen gekoppelt. In der Ökologie werden Abfälle und Emissionen als Kuppelprodukte von Produktionsprozessen und Haushaltaktivitäten behandelt. Bedeutet nun «Branche» sowohl einen Produktionsprozess wie auch *ein Gut* (den wich-

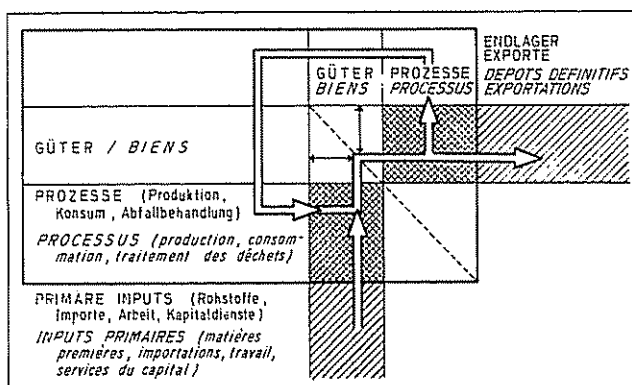


Fig. 4

Grundmuster einer ökologischen I/O-Tabelle

Die dunklen Felder sind die Output-Tabelle (wohin geht wieviel von Output x eines Prozesses y) und die Vorleistungs- oder Input-Tabelle (wieviel von welchem Vorprodukt geht in einen Prozess ein). Eingerahmt ist der Zirkulationsbereich. Schraffiert sind «Importe» bzw. «Exporte» (im Sinne von Fig. 6) in und aus dem System.

Si on multiplie les indications de quantité du tableau avec les prix des produits respectifs, on obtient le tableau *i/o exprimé en valeurs* (en unités monétaires). Dans les colonnes se trouvent les prix des produits semi-finis qui sont nécessaires à la production d'une unité d'output (p. ex. d'une tonne de lait en nature), c. à d. en principe un calcul du coût à la pièce (variable) du bien produit. Voilà pourquoi, on peut considérer les colonnes comme fonction du coût des biens. Ce tableau *i/o exprimé en valeurs* permet de calculer p. ex. l'extension d'augmentations de prix dans le système ou bien les effets de mesures dirigistes sur les prix et sur l'emploi (voir p. ex. [2], page 37 et suivantes).

2. Projet d'un modèle i/o économique-écologique

La combinaison d'énoncés économiques et écologiques doit surmonter certains obstacles linguistiques et méthodiques: l'un d'eux peut être désigné comme le «problème des unités»: les économistes désignent souvent p. ex. la «qualité de l'environnement» comme un «bien», les scientifiques par contre n'apprécient pas du tout de telles généralisations. Le critère habituel pour la délimitation économique de biens et de marchés est la similitude des *possibilités d'utilisation* de produits semblables, c. à d. la possibilité de les substituer les uns aux autres. Les écologistes, par contre, s'intéressent plutôt à la similitude de la *composition*, ce qui exige une subdivision *beaucoup plus fine*. Ceci ne veut pas dire pour autant que ces deux perspectives doivent être inconciliables: si on *continue la différenciation des biens économiques* jusqu'à leur composition chimique, aussi bien les énoncés économiques qu'écologiques deviennent possibles, si on se réfère au même ordre de grandeur. Donc, pour réaliser l'union de l'économie et de l'écologie au-delà du «fossé des unités», il faut subdiviser les «branches» jusqu'à obtention de processus identifiables du point de vue technique et fonctionnel ainsi que de biens à composition bien définie.

Une deuxième revendication concerne la possibilité de représenter une *production couplée*. Par production couplée, on comprend la nécessité d'une production simultanée de deux ou plusieurs biens dans *un seul* processus, comme p. ex. la formation de gaz urbain lors de la production de coke, ou l'extraction de cadmium lors de l'exploitation de mines de zinc. Les produits résultant de réactions chimiques sont aussi liés dans des rapports spécifiques. L'écologie considère les déchets et les émissions comme des produits liés au processus de production et à l'activité des ménages. Si le terme de «branche» désigne en *même temps* un processus de production et *un bien* (l'output économique le plus important de cette branche), ceci implique que tous les autres outputs de la branche (désirables et indésirables) sont négligés sur le tableau. En économie, c'est p. ex. Rosenbluth [3] qui a formulé cette critique et c'est la raison pour laquelle certains pays établissant des statistiques d'input-output en sont venus depuis un certain temps à dresser les tableaux *i/o* dans le format qu'on appelle «commodity-by-industry».

Autrement dit, on aligne les biens sur l'axe des ordonnées et les processus de production sur l'axe des abscisses. Les inputs et outputs d'un processus se distinguent par le signe de leur coefficient dans la matrice **A**. Ceci respecte la possi-

Configuration de base d'un tableau écologique i/o:

Les surfaces sombres sont le tableau d'output (la direction et le volume d'un output x , provenant d'un processus y) et le tableau des prestations préalables ou le tableau d'input (le volume et la nature de chaque produit semifiini nécessaire à un processus donné). Ce qui est encadré, c'est la *région de circulation*. Les surfaces hachurées sont les «importations» et les «exportations» (dans le sens de la fig. 6) du système.

Ordnung darstellt. Das System wird damit von seinem eigenen Verhalten in der Vergangenheit abhängig, es wird zum (dynamischen) *Differenzgleichungssystem*. Gegenüber längerfristigen Prognosen regionaler Stoffflüsse sollte man jedoch trotz der Möglichkeit dynamischer Modellierung eine gewisse Vorsicht walten lassen, da über grössere Zeiträume die Konstanz der Input/Output-Koeffizienten nicht mehr garantiert ist. Die Verwendung konstanter Koeffizienten impliziert nämlich, dass die gleichen Güter über den ganzen Zeitraum in gleichen Proportionen und in gleicher Technologie hergestellt werden, d. h. sie unterschlagen die

Le modèle, tel qu'il a été esquissé, est un système d'équation statique et linéaire. Toutes les données (quantitatives) dans le tableau d'input-output sont des *unités de flux*. Les *effectifs* et la *durée de séjour*, donc la *dynamique* ont cependant aussi leur importance dans les problèmes de la politique d'environnement.

Cette dynamique peut être intégrée dans le modèle de la manière suivante: comme le tableau d'input-output, pour des raisons de consistance, n'enregistre que des flux, c. à. d. la *modification* d'un effectif, on décrit p. ex. l'augmentation d'un effectif comme une *exportation*, donc comme un

Fig. 6

Beispiel: Der Phosphorfluss durch eine Region, wie er durch importierte Futtermittel induziert wird.

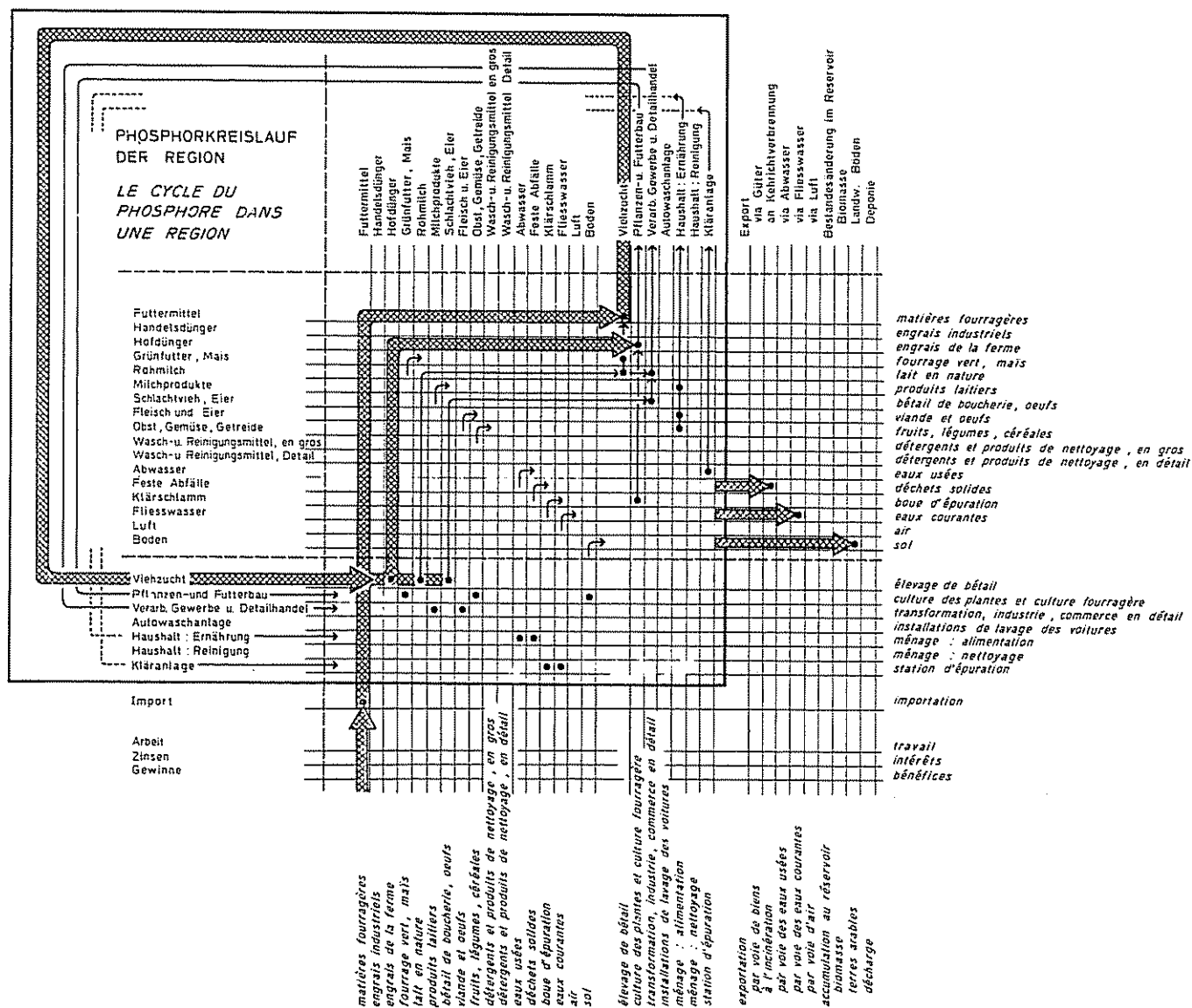
Anstelle der Verfolgung eines Gutes, das ins System «importiert» wird, könnten natürlich auch die Quellen eines «exportierten» Gutes zurückverfolgt werden. Die Pfeile dienen hier der Erläuterung der Systematik – in Forschungsarbeiten müssen in die Tabelle anstelle von Punkten Werte für die Mengen eingesetzt werden. Die einzelnen Zahlen müssen zudem ausserhalb der Tabelle bezüglich Herkunft und Erhebung dokumentiert werden, damit ihre Ermittlung nachvollzogen werden kann und ihre Zuverlässigkeit abschätzbar ist.

Auf der Diagonalen der beiden leeren Felder im Zirkulationsbereich (eingerahmt) kann *bilanziert* werden – im oberen Feld, ob die Output-Mengen nach Gütern den eingesetzten Mengen entsprechen, im unteren Feld, ob *pro Prozess* die ganze eingesetzte Menge auch im Output erfasst worden sei.

Exemple: le flux du phosphore à travers une région, comment il est induit par des matières fourragères importées.

Au lieu de suivre un bien «importé» dans le système, on peut aussi remonter aux origines d'un bien «exporté». Les flèches servent ici à expliquer la systématique – dans des travaux d'étude, on doit, pour exprimer des quantités, remplacer les points sur le tableau par des valeurs. En outre, tous les chiffres doivent s'appuyer sur une documentation séparée qui indique leur provenance. Ceci permet de refaire l'analyse et de déterminer sa fiabilité.

Sur la diagonale des deux cases vides dans la région de circulation (encadrée), on peut faire le *bilan* – dans la partie supérieure pour contrôler si les quantités d'output par biens sont égales aux quantités introduites, dans la partie inférieure pour vérifier si dans chaque processus toute la quantité introduite a été enregistrée dans l'output.



wirtschaftliche und technologische Entwicklung. Sobald jedoch die Eigenschaften neuer Technologien bekannt sind und das Ausmass ihrer Anwendung abgeschätzt werden kann, kann die Input/Output-Analyse durch Einsetzen der neuen Koeffizienten aufzeigen, welche Konsequenzen die neue Technik nach sich zieht. Sie erscheint damit als geeignetes Instrument zur Identifikation kritischer Güter und Prozesse in bestehenden und neuen Anwendungen, etwa für die Umweltverträglichkeitsprüfung.

3. Folgerungen

Wie die zitierte Literatur zeigt, existieren schon seit einiger Zeit Versuche, mit der Input/Output-Methodik eine kombinierte ökonomisch-naturwissenschaftliche Betrachtung ökologischer Phänomene zu ermöglichen. Was dabei aber noch nie konsequent umgesetzt wurde, ist die Erkenntnis, dass in hochentwickelten und dichtbesiedelten Regionen die *Umweltqualitäten eine Folge von Stoffflüssen* sind, die aus dem Fluss «ökonomischer» Güter stammen, d. h. von *Mengen* und sich daraus ergebenden Konzentrationen. Selbst Ökonomen wie Isard [5] und Victor [4], die mit Ökologen zusammenarbeiteten und in grösserem Ausmass naturwissenschaftliche Daten verwendeten, blieben so weit als irgend möglich bei *Dollar*-Flüssen und setzten naturwissenschaftliche Daten nur dort in ihre Modelle ein, wo ihnen die ökonomischen Daten fehlten. Entsprechend glaubten sie auch, eine strenge Einteilung in «economic commodities» und «ecologic commodities» vornehmen zu können.

Meines Wissens fehlte bisher auch der Versuch, «ökonomische» Güter bis auf umweltrelevante Einheiten (Flüsse und Konzentrationen bestimmter Substanzen) zu differenzieren. Insgesamt stellt die Input/Output-Analyse einen Ansatz dar, der eine konsistente Verknüpfung von ökonomischer und naturwissenschaftlicher Betrachtung ermöglichen sollte, eine einfache mathematische Handhabung eines komplexen Systems in Simulation und Optimierung erlaubt und insbesondere durch den modularen Aufbau des Modells beabsichtigt, der den schrittweisen Ausbau um einzelne Prozesse und Substanzen erlaubt, so dass das Modell neuen Fragestellungen unter Verwendung der bisherigen Resultate angepasst werden kann.

- [1] Leontief, W., Quantitative Input and Output Relations in the Economic System of the United States, the Review of Economic Statistics, XVIII, 105-125 (1936)
- [2] Yan, Ch., Introduction to Input-Output Economics, New York 1969
- [3] Rosenbluth, G., Input-Output Analysis: A Critique, Statistische Hefte, 9, No. 4, 255-268 (1968)
- [4] Victor, P.A., Pollution: Economy and Environment, London 1972
- [5] Isard, W. et. al., Ecologic and Economic Analysis for Regional Development, N.Y., 1972
- [6] Costanza, R., and Neill, Ch., Energy Intensities, Interdependence, and Value in Ecological Systems: A Linear Programming Approach, J. of theor. Biol. 106, 41-57 (1984)

Der Autor

Lic. oec. publ. *Markus Baechler* studierte an der Universität Zürich Volkswirtschaft, Ökonometrie und Informatik und ist seit 1984 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Abteilung Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt der EAWAG. Er arbeitet an Kostenuntersuchungen von Abfallbehandlungsverfahren und an den Vorbereitungen einer Regionalstudie.



départ du système (fig. 5). Pour *l'effectif*, on introduit une *équation supplémentaire* dans le modèle, équation qui représente sa diminution en fonction de sa construction dans le passé, c. à. d. une équation aux différences d'un ordre supérieur. Le système dépend dès lors de son propre comportement dans le passé, il devient un *système d'équations différentielles* (dynamique).

Une certaine prudence est cependant de mise vis-à-vis des prévisions à long terme des flux de substances régionaux, ceci malgré la possibilité de construire un modèle dynamique. A long terme, en effet, on ne peut plus garantir que les coefficients d'input-output soient constants, car l'emploi de coefficients constants implique que les mêmes biens soient produits pendant tout le temps dans les mêmes proportions et avec la même technologie, c. à. d. indépendamment du développement économique et technologique. Mais dès qu'on connaît les propriétés des nouvelles technologies, et dès qu'on peut évaluer les répercussions de leur application, l'analyse d'input-output peut, par l'introduction des nouveaux coefficients, prévoir les conséquences de l'emploi de cette nouvelle technologie. Elle nous apparaît dès lors comme l'instrument idéal pour identifier des biens et des processus dangereux dans leur emploi actuel ou futur et contrôler par exemple leur impact sur l'environnement.

3. Conclusions

La littérature permet de constater que les tentatives de rendre possible une observation à la fois économique et écologique de phénomènes écologiques par la méthode d'input-output existent déjà depuis un certain temps.

On n'y avait cependant jamais considéré le fait que dans des régions très développées et très peuplées, les *qualités de l'environnement résultent des flux de substances* qui proviennent du flux des biens «économiques», c. à. d. des *quantités* et donc des concentrations. Même des économistes tels que Isard [5] et Victor [4] qui ont pourtant travaillé ensemble avec des écologistes et qui ont utilisé des données scientifiques, s'en sont tenus aux flux de *dollars* si possible et n'ont introduit les données scientifiques dans leurs modèles que s'ils étaient à court de données économiques. Ils croyaient de même pouvoir faire une distinction stricte entre «economic commodities» et «ecologic commodities».

A ma connaissance, il n'y a pas eu jusqu'à maintenant de tentative de différencier des biens «économiques» jusqu'aux unités importantes pour l'environnement (flux et concentration de certaines substances).

En tout, l'analyse d'input-output est une possibilité qui devrait permettre de relier les observations économiques et scientifiques d'une manière consistante, qui permet en même temps un traitement mathématique assez simple d'un système de simulation et d'optimisation pourtant complexe et qui séduit surtout par la construction modulaire du modèle qui permet d'y ajouter progressivement certains processus et certaines substances. De cette manière, on peut adapter le modèle à de nouveaux problèmes, tout en employant des résultats déjà obtenus.

L'Auteur

Monsieur *Markus Baechler*, lic. oec. publ., a fait des études d'économie politique, d'économétrie et d'informatique à l'université de Zurich. Il est collaborateur scientifique auprès du département Gestion de déchets et bilan des matières de l'EAWAG depuis 1984. Actuellement, il effectue des investigations de coûts comparés sur des procédés de traitement de déchets et participe à l'élaboration d'une étude régionale de bilans de matières.

Neues über die EAWAG und ihre Mitarbeiter

Professor *Kurt Grob* konnte am 11. Juli in bester Gesundheit seinen 65. Geburtstag feiern. Prof. Grob hat während 25 Jahren auf dem Gebiete der hochauflösenden Gaschromatographie Pionierarbeit geleistet. Insbesondere entwickelte er die Herstellung von langlebigen und breit anwendbaren Glaskapillarkolonnen. Er führte das nach ihm benannte Verfahren zur Bestimmung der Kolonnenqualität (Grob-Test) ein und entwickelte neue Injektionstechniken (splitless und on-column).

Seine Beiträge zur Verbesserung der gaschromatographischen Methoden gründen auf systematischen Untersuchungen der Oberflächeneigenschaften von Glas und des chemischen Verhaltens der verschiedenen stationären Phasen. Grobs methodische Entwicklungen verhalfen der hochauflösenden Gaschromatographie in vielen Gebieten zum Erfolg, so z. B. in verschiedenen Bereichen der chemischen Industrie, in der Umweltforschung, in der organischen Geochemie, in der Gerichtsmedizin, in der Lebensmittelanalyse und in der klinischen Chemie.

In der Wasseranalytik erlaubt das «Ausblasverfahren nach Grob» (closed-loop gaseous stripping) die quantitative Bestimmung der Spurenkonzentrationen einzelner Umweltchemikalien bis hinunter auf 10^{-9} g/l Wasser.

Die von Grob entwickelten Methoden werden heute in zahlreichen Laboratorien von Universitäten, Industrie und Behörden eingesetzt. Kurt Grob förderte die breite Anwendung seiner Verfahren, indem er seine Resultate regelmässig publizierte und praxisbezogene Kurse an der EAWAG sowie an anderen Instituten in der ganzen Welt erteilte.

Die hervorragenden Leistungen von Prof. Grob wurden zweimal durch die Verleihung des Ehrendokortitels gewürdigt (Universität Bern und ETHZ). Er wurde während seiner gesamten wissenschaftlichen Karriere von seiner Frau, *Gertrud Grob*, tatkräftig unterstützt.

Mit seiner ausserordentlich hohen wissenschaftlichen Produktivität, seinem aussergewöhnlichen didaktischen Talent und seiner konsequent durchgeführten Forschung hat Kurt Grob seinen Kollegen, der EAWAG und der ETHZ einen grossen Dienst erwiesen. Nur ungern sehen wir seiner leider unumgänglich gewordenen Abwesenheit entgegen, wenn er nämlich Ende Sommer den wohlverdienten Ruhestand antreten wird. Am 30. 8. 85 findet aus Anlass seines Rücktritts im Hörsaal der EAWAG ein eintägiges Symposium statt.

Dr. *Jürg Hoigné* wurde für seine Verdienste um die ETHZ zum Professor der ETH ernannt.

Bekannt ist von seiner hervorragenden Forschung, die früher der Strahlungschemie und seit 1973 der Kinetik von Oxidationsprozessen galt, vor allem seine Arbeit über die Wechselwirkung von Ozon und dem Hydroxylradikal (OH^\cdot) mit gelösten inorganischen und organischen Verbindungen. Damit bereitete er die Grundlagen, die für einen sinnvollen Einsatz von Ozon in der Wasserversorgungstechnik nötig waren, vor.

Seine Mitarbeiter und er haben sich neuerdings auch im Gebiet der aquatischen Photochemie vertieft. Viele Erkenntnisse daraus sind auch auf Oxidationsreaktionen anwendbar, die sich in der Atmosphäre abspielen und die für das Verständnis der Prozesse, die zu saurem Regen und Nebel führen, wichtig sind.

Jürg Hoigné wird weiterhin seine Vorlesungen über aquatische Chemie und Wasseraufbereitungsprozesse an der ETHZ halten.

Nouvelles concernant l'EAWAG et ses collaborateurs

Le 11 juillet, le Professeur *Kurt Grob* fêta son 65ème anniversaire. Pendant 25 ans, le Professeur Grob a effectué un travail de pionnier dans le domaine de la chromatographie gazeuse à haute résolution. Il a en particulier conçu la fabrication de colonnes capillaires en verre de longue durée et aux multiples applications. Il est à l'origine du procédé qui porte son nom permettant d'évaluer la qualité de la colonne et a élaboré de nouvelles techniques d'injection (sans split et on-column).

Sa contribution à l'amélioration des méthodes de chromatographie gazeuse s'appuient sur des analyses systématiques des qualités de surface du verre et du comportement chimique des différentes phases stationnaires. Les développements méthodiques du Professeur Grob ont permis l'emploi réussi de la chromatographie gazeuse dans de nombreux domaines, tels que l'industrie chimique, la recherche en matière d'environnement, la géochimie organique, la médecine légale, l'analyse des aliments et la chimie clinique.

Sur le plan de l'analyse de l'eau, la méthode de «closed-loop gaseous stripping» du Professeur Grob permet l'évaluation quantitative des concentrations de différents composés chimiques contenus dans l'eau jusqu'à 10^{-9} g/l.

Les méthodes conçues par le Professeur Grob sont aujourd'hui employées dans de nombreux laboratoires relevant des universités, de l'industrie et des autorités. Kurt Grob a favorisé la vaste utilisation de ses méthodes en publiant régulièrement ses résultats et en dispensant un enseignement pratique aussi bien à l'EAWAG que dans d'autres instituts du monde entier.

Les remarquables réalisations du Professeur Grob ont été par deux fois récompensés par l'attribution du titre de docteur *honoris causa* (Université de Berne et EPFZ). Tout au long de sa carrière scientifique, il a pu compter sur le soutien remarquable de son épouse, Madame *Gertrud Grob*.

De par sa productivité scientifique incomparable, son talent didactique extraordinaire et ses recherches conséquentes, Kurt Grob a rendu un immense service à ses collègues de l'EAWAG et de l'EPFZ. Nous regretterons tous son absence lorsqu'il aura pris, à la fin de l'été, une retraite bien méritée. A l'occasion de sa retraite un symposium d'une journée a lieu à l'auditoire de l'EAWAG le 30 août 1985.

Monsieur *Jürg Hoigné* a obtenu le titre de Professeur à l'EPFZ. M. J. Hoigné auparavant spécialiste de chimie des radiations a effectué un travail de pionnier sur la cinétique des processus d'oxydation. On connaît surtout ses travaux de recherche sur l'interaction de l'ozone et du radical OH^\cdot avec des solutés inorganiques et organiques. M. Hoigné a établi les fondements nécessaires à l'application judicieuse de l'ozone en matière de technologie de l'approvisionnement en eau.

Ses collaborateurs et lui-même sont aussi engagés aujourd'hui dans la photochimie aquatique. Une grande partie de leur recherche s'applique également aux réactions d'oxydation qui surviennent dans l'atmosphère et qui jouent un rôle important dans la compréhension des processus qui entraînent les pluies et le brouillard acides.

M. J. Hoigné continuera d'enseigner dans l'EPFZ en chimie aquatique et traitement des eaux.

Herrn *Johannes Staehelin* wurde am 23. April 1985 anlässlich des Kongresses «Wasser – Berlin 85» von der Internationalen Ozon-Vereinigung der Prix Jacques Hallopeau in der Höhe von 10 000 FF überreicht. Der ehemalige Doktorand von Prof. Hoigné erhielt diesen nur alle 2 Jahre verteilten Preis für seine Dissertationsarbeit.

Monsieur *Johannes Staehelin* dont la thèse en doctorat a été préparée sous le contrôle de M. Jürg Hoigné s'est vu décerné le 23 avril 1985 à l'occasion du congrès «Eaux-Berlin '85» le Prix Jacques Hallopeau, d'un montant de 10 000 FF, attribué tous les deux ans par la Société internationale de l'ozone à des travaux de recherche méritants.

Seminare

Ab 25. 10. 85 finden im Hörsaal der EAWAG wiederum jeden Freitag jeweils ab 15.15 Uhr die ca. einstündigen Seminarvorträge statt.

Das Programm ist ab Ende September bei Herrn *Ueli Bundi* erhältlich.

Séminaire

Comme de coutume chaque semestre des séminaires d'environ une heure auront lieu chaque vendredi à 15.15 heures dans l'auditoire de l'EAWAG (à partir du 25 octobre).

Le programme définitif pourra être obtenu vers fin septembre auprès de M. *Ueli Bundi*.

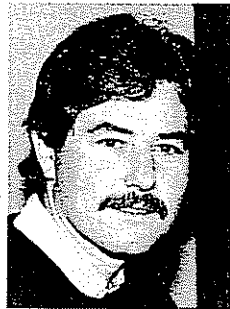
In den folgenden Abschnitten erläutert Dr. *Kerry Kelts*, Leiter des Fachbereichs Geologie in der Abteilung Multidisziplinäre Limnologische Forschung (MLF), die von ihm geplanten Arbeiten auf dem Gebiete der Hydrogeologie und Limnogeologie.

Gegenwärtig erlebt die Geologie eine Phase des Umbruchs, ausgelöst durch neue Erkenntnisse der Meeresforschung mit ihrer innovativen Methodik, die den Weg zu einer multidisziplinären Betrachtungsweise der weltweit ineinander verflochtenen Wechselwirkungen ebnete. Die Theorie der Plattentektonik vereinte gegensätzliche Ansätze innerhalb der geodynamischen Spekulation, mehr noch, sie eröffnete der Vorhersage von geologisch bedingten Änderungen auf der Erde ungeahnte Horizonte.

Heutzutage neigt man in den geologischen Wissenschaften dazu, den Akzent vor allem auf die Deutung der geologischen Ereignisse, vornehmlich der seltenen, plötzlichen Vorkommnisse zu legen, zumal diese die globalen biochemischen Kreisläufe grundlegend veränderten. An der These, wonach der Untergang der Dinosaurier durch den Aufschlag eines Kometen auf die Erde hervorgerufen worden sei, entzündete sich der jahrhundertalte Streit zwischen den Anhängern der Katastrophentheorie und ihren Gegnern mit hitzigen Wortgefechten aufs neue. Trotzdem wurde aus dieser Aufprallhypothese mit den darin aufgestellten Erwägungen über das Massensterben vor 65 Mio Jahren mit grosser Kelle geschöpft, um den Schauplatz eines nuklearen Winters zu modellieren.

Erst in jüngster Zeit wurde erkannt, dass auch der Mensch zu einem nicht zu unterschätzenden, weltweit modifizierenden Faktor wurde, dessen Potential den in natürlichen Vorgängen schlummernden Kräften in nichts nachsteht. So ist heute z. B. noch nicht abzuschätzen, inwiefern die Abholzung unseren Wasserhaushalt beeinflusst oder wie sich die durch den Menschen verursachte Anreicherung der Atmosphäre mit Spurengasen auf den klimatischen, den Wasser- oder Kohlenhaushalt auswirken wird. Von den Geologen werden aber immer häufiger diesbezügliche Prognosen, welche weit in die Zukunft reichen, verlangt. Auf was basieren derartige geologische Zukunftsprognosen?

In den Sedimenten – den Archiven längst vergangener Zeiten – sind unzählige Informationen gespeichert, die dem Geologen erlauben, die bewegte Geschichte der Metamorphose einer Landschaft zu rekonstruieren. Als Datenträger par excellence dient hier das Wasser.



Le présent article du Dr. *Kerry Kelts* fournit matière à réflexion sur les axes de développement au sein de la section de géologie du département de recherche limnologique multidisciplinaire (MLF).

La géologie a la réputation d'être une science historique et déductive. En tant que telle, elle a largement contribué à la compréhension de l'environnement suisse. Les premiers pionniers dans le domaine de la géologie alpine ont assuré à la Suisse une renommée qui sert d'étalon dans les observations sur le terrain.

En quoi le géologue se distingue-t-il des autres scientifiques? Son originalité réside peut-être dans la compréhension des processus physiques et chimiques sur une longue période. Rares sont ceux qui, comme lui, peuvent visualiser les Alpes «se déplaçant» d'un centimètre par an, vitesse à laquelle, nous le savons, les continents évoluent. Dans quelle mesure cela concerne-t-il l'EAWAG? Commençons par un peu d'histoire. Pendant et après la deuxième guerre mondiale, le besoin se fit sentir d'inventorier, de comprendre et de protéger les nappes phréatiques. L'EAWAG joua un rôle capital dans la sensibilisation du public et de nombreuses agences communales, cantonales et fédérales s'adressèrent spontanément à l'EAWAG pour obtenir des informations aussi bien sur la localisation des sources que sur les zones de protection des eaux souterraines. Ce souci de protection s'est entre-temps largement répandu en Suisse et un vaste réseau de services-conseils en géologie est à même de faciliter la réalisation de projets de routine. Maintenant, le département de géologie de l'EAWAG peut s'attaquer à des projets de recherche qui complètent les capacités gouvernementales et industrielles et qui visent au-delà des besoins immédiats.

Aujourd'hui, la géologie évolue, en grande partie grâce aux résultats obtenus en recherche marine qui ont permis une nouvelle méthodologie et une approche multi-disciplinaire des interactions à une échelle globale. La théorie de la tectonique des plaques, par exemple, a apporté une nouvelle dimension de prévisibilité géodynamique.

En matière de sciences géologiques, les tendances courantes mettent l'accent sur l'interprétation de certains «événements géologiques», en particulier ces modifications rares mais soudaines qui affectent les cycles bio-géochimiques globaux. Des controverses ont éclaté, réveillant des blessures plusieurs fois centenaires de catastrophistes opposés à ceux qui préfèrent imaginer la douce pérennité de la terre et des formes de vie. Un exemple porte sur un événement soudain survenu à la limite du crétacé et du tertiaire. Lorsque l'on imputa l'extinction des dinosaures aux conséquences de l'impact d'une comète, nombreux sont ceux qui renoncèrent au débat, lui reprochant son pur académisme. Pourtant,

Ohne Zweifel liegen die erwähnten Beispiele der Plattentektonik und des Massensterbens ausserhalb des Schwerpunktes der EAWAG-Geologie. Jedoch soll gezeigt werden, wie die hochauflösenden und damit aussagekräftigen Aufzeichnungen in den Sedimenten, aus denen sich nach dem neuesten Stand der Wissenschaft globale geologische Entwicklungen eruieren lassen, in EAWAG-Projekten weiter verfolgt werden können. Angestrebt wird, zukünftige Probleme die unsere Umwelt in Mitleidenschaft ziehen könnten, anhand von scheinbar analogen «fossilen» Entwicklungen zu identifizieren.

Die geologische Abteilung der MLF ist sehr klein und soll als kritischer, beratender und aktivierender Partner des Seenforschungsteams auftreten sowie als animierende Instanz für die hydrologischen und limnologischen Forschungen an der EAWAG – sofern dabei geologische Aspekte berührt werden – wirken. Ein Vorhaben dieser Tragweite lässt sich nur in enger Zusammenarbeit mit den verschiedenen Instituten des Departements für Erdwissenschaften der ETH verwirklichen. Zur Zeit wird ein Lehr- und Forschungsprogramm ausgearbeitet, in dessen Rahmen folgende Arbeiten vorgesehen sind:

– Vergleichende Sedimentologie von Seen:

Die Ablagerungen von Seen bilden einen wesentlichen Bestandteil des ökologischen Werdegangs ihrer Becken. Zur Bestimmung des Einflusses vom Kohlendioxid auf Klimaveränderungen kann z. B. der Vergleich von Sedimentprofilen verschiedener Seen beigezogen werden. Kritische Entwicklungsperioden mit erkannten, entscheidenden Klimaveränderungen, z. B. vor 20 000 bis 10 000 Jahren und vor 5000 bis 8000 Jahren, zeigen in den Sedimentfolgen charakteristische Modifikationsmuster. Dazu werden stratigraphische Analysen der Schichtfolgen von punktuellen Bohrproben benötigt. Hauptsächlich werden wir uns bemühen, bessere Kriterien zur Interpretation von Ablagerungen aus grauester Vorzeit zu entwickeln. Häufig horten Karbonatminerale äusserst wertvolle Indizien über primäre (autogene) und sekundäre (diagenetische) Reaktionen, die durch Isotopen- oder andere geochemische Methoden zu Tage gefördert werden können.

Isotopische Tests in Verbindung mit sedimentologischen Untersuchungen gehören inzwischen zum gängigen Instrumentarium der Landschafts- und Gewässeranalyse. Wir beabsichtigen, derartige Untersuchungen in enger Zusammenarbeit mit dem Laboratorium für stabile Isotopen des geologischen Instituts ETHZ und der radiologischen Abteilung der EAWAG durchzuführen. Die Korrelation und die Datierung der einzelnen Abläufe sind in einem Projekt zusammengefasst, das zusammen mit einer Gruppe des Instituts für Mittelenergiephysik der ETHZ durchgeführt wird.

Gegenwärtig beherbergt die EAWAG die zentrale Koordinationsstelle, an der sämtliche Fäden eines von der UNESCO lancierten internationalen geologischen Korrelationsprogrammes (IGCP-219) zusammenlaufen. Das Programm soll eine weltweite vergleichende Sedimentologie der Seen im Kontext der Erdgeschichte ermöglichen.

– Energie und Seen:

Der Gehalt an Kohlenwasserstoffen in Seebecken wurde erst in jüngster Zeit erkundet. Als erwähnenswertes Beispiel sei China genannt, wo ein grosser Teil des Erdöls aus alten Seesedimenten gewonnen wird. Die heutigen Seen liefern uns den Schlüssel zur Analyse früherer Binnengewässer. Angewandte Forschung ist auf diesem Gebiet deshalb wichtig, weil sie uns Auskunft gibt über die geochemischen Kreisläufe und das Verhalten von Kohlenstoff in einzelnen Seensystemen, wie auch über die Ursachen der Bildung von Öl und Methan.

de récents scénarios d'hiver nucléaire se sont largement inspirés de cette hypothèse de l'impact et de son explication du phénomène de mortalité massive enregistré il y a 65 millions d'années.

Ce n'est que récemment que l'on s'est rendu compte que *l'homme* était devenu un *agent de changement* aussi puissant que les processus géologiques naturels. Nous ignorons encore, par exemple, dans quelle mesure le déboisement peut affecter notre patrimoine hydrologique et l'accroissement anthropogénique de certains gaz dans l'atmosphère peut modifier notre budget climatique, hydrologique et carbonique. On demande donc aux géologues d'établir des prévisions à propos de notre environnement sur des périodes de plusieurs centaines de milliers d'années.

Comment pouvons-nous établir des prévisions sur la base des feedbacks fournis par les changements? L'une des démarches consiste à regarder vers le passé. Les sédiments sont une sorte de mémoire géologique qui emmagasine des informations sur de multiples épisodes de l'histoire de notre environnement. L'eau, quant à elle, est le principal agent de transfert des données.

Evidemment, cet exemple de l'extinction des dinosaures n'est pas du ressort du département Géologie de l'EAWAG. Il illustre toutefois de quelle manière nous essayons d'intégrer les implications de la recherche actuelle sur l'enregistrement sédimentaire des changements géologiques globaux dans un programme EAWAG destiné à reconnaître les problèmes futurs susceptibles d'affecter notre environnement.

La section de géologie du MLF n'est pas grande et son rôle essentiel consiste à conseiller et animer le groupe de recherche lacustre multidisciplinaire ainsi qu'à agir comme catalyseur au sein de l'EAWAG dans son ensemble dans le domaine de l'hydrogéologie et de la limnogéologie. Bien entendu, un vaste programme ne pourrait être réalisé sans les liens étroits escomptés avec des instituts du département des sciences terrestres de l'EPF. Un programme d'enseignement et de recherche est envisagé dans les domaines suivants:

– Sédimentologie lacustre comparative: les sédiments des lacs agissent comme intégrateurs de l'histoire écologique de leur bassin. On peut, par exemple, comprendre un effet possible du CO₂ sur les climats en comparant la courbe de la vitesse d'évolution dans différents lacs pendant des périodes critiques de changement climatique connu, comme il y a 20 000 à 10 000 ans ou 8000 à 5000 ans. On procède par analyse stratigraphique d'échantillons. Notre problème est d'élaborer des critères mieux adaptés pour interpréter les signaux contenus dans ces dépôts anciens. Souvent, les minerais carbonatés contiennent de précieuses informations sur les réactions primaires (autogénétiques) et secondaires (diagénétiques) que l'on peut obtenir à l'aide de méthodes isotopiques ou d'autres méthodes géochimiques. Combinées à la sédimentologie, les études sur les isotopes stables sont maintenant des instruments de routine pour la recherche sur le paléoenvironnement et les analyses paléohydrologiques et nous envisageons de les intégrer dans l'EAWAG grâce à une étroite collaboration avec les services compétents de l'Institut géologique de l'EPFZ. La corrélation et la datation de séquences font partie d'un projet de collaboration avec un groupe de l'institut de physique des moyennes énergies de l'EPF. L'EAWAG est maintenant le siège d'un projet international UNESCO-IGCP (International Geological Correlation Program, IGCP-129) portant sur la sédimentologie lacustre comparative dans l'histoire géologique.

– Energie et lacs: le potentiel d'hydrocarbone des bassins lacustres est une frontière récemment reconnue. La Chi-

- Quartäre Abläufe:

Kürzlich durchgeführte Untersuchungen von quartären Ablagerungen ergaben, dass Täler und Seen im Voralpengebiet tiefe, mit verschiedenartigen (sowohl grob- als auch feinkörnigen) Sedimenten gefüllte Kerben darstellen. Eine noch offene, aber wichtige Frage betrifft die Bedeutung von vermuteten Grundwasserstockwerkssystemen und deren Austausch mit dem Seewasser. Zur näheren Abklärung dieser Frage bedarf es eines übergreifenden einheitlichen Ansatzes, der seismische Geometrie mit Faciesanalysen, Isotopen- und geochemischen Forschungstechniken kombiniert.

- Grundwasserverschmutzungen:

Langfristig betrachtet drängt sich die Frage auf, wie und wo giftige Schlämme und Flüssigkeiten in Zukunft deponiert werden können. In den USA werden diese immer mehr in grosse Tiefen unter Boden eingespritzt. Genügt aber unser Wissen über die in der Schweiz vorherrschenden Merkmale und Muster der tiefen Grundwasserzirkulation, um ebenso vorzugehen? Auf welche Art können wir die in porösen oder vielleicht klüftigen Gesteinen fließenden Gewässer erkunden? Um diese Fragen zu beantworten – bevor wir mit dem Problem konfrontiert werden – planen wir mit internen Gruppen der EAWAG, der VAW-ETH und des EIR, uns mit verschiedenen (hydrologischen, physikalischen und technischen) Modellen zu beschäftigen. Wenn immer möglich sollen diese Modelle mit isotopehydrologischen Methoden (mit stabilen Isotopen) überprüft werden. Dabei sollen sowohl Gebiete der Alpen als auch des Mittellandes in die Untersuchungen miteinbezogen werden.

- Technologie:

Auf dem Gebiet der Gewässerforschung ist die EAWAG weltweit führend. Einer ihrer wichtigsten Schätze ist das erworbene Wissen. Die Natur und damit auch die geologischen Probleme überschreiten nationale Grenzen. Durch regen Informationsaustausch – auch mit weniger entwickelten Regionen – können wir sowohl selbst profitieren als auch den Technologie-Transfer dorthin fördern. Damit leisten wir für den Umweltschutz in weit entfernten Gebieten und infolgedessen auch für denjenigen in unserer Gegend einen Beitrag, weil die weltweite Verkettung der Wechselwirkungen und Rückkoppelungen als konstantes Bindeglied dient.

ne, par exemple, extrait une bonne partie de son pétrole de dépôts lacustres anciens. Les lacs actuels expliquent les lacs du passé. Une recherche appliquée est prévue afin de comprendre les cycles bio-géochimiques de la sédimentation et de la préservation du carbone dans divers systèmes lacustres ainsi que leur action sur la génération du méthane et du pétrole.

- Processus quaternaires: selon de récentes études quaternaires, les vallées et les lacs périalpins sont profondément incisés et remplis d'une multitude de sédiments fins et grossiers provenant de différentes époques glaciaires. Une question importante s'impose, à laquelle il est difficile de répondre, au sujet de la communication phréatique entre les lacs et les systèmes profonds de sédiments. Elle exige une approche intégrée combinant géométrie sismique et analyse des faciès avec des méthodes d'investigation géochimique et isotopiques.

- Contaminants phréatiques: à long terme, où et comment allons-nous stocker les eaux usées et boues toxiques? Aux Etats-Unis, la tendance va vers l'injection en puits profond, mais nos connaissances sont-elles suffisantes en Suisse à propos des schémas de circulation hydraulique profonde? Que savons-nous du mouvement des fluides dans des roches à grain fin peut-être fracturées? Afin d'acquérir une certaine expérience dans ce domaine avant que ne surviennent les problèmes nous envisageons, en collaboration avec des départements internes de l'EAWAG, le VAW-EPF et l'EIR, de nous intéresser à différentes techniques de modelage physique hydrogéologique et à leur application sur le terrain. Si possible, elle comporteront des expériences sur l'hydrogéologie des isotopes stables. Tant les régions alpines que les vallées sont concernées.

- Aide technique: l'EAWAG est un organisme de pointe en matière de recherche sur les systèmes aquatiques. C'est pourquoi la connaissance est l'une de nos plus précieuses ressources. Dans la mesure où les problèmes géologiques dépassent souvent le cadre des frontières nationales, nous ne pouvons que bénéficier d'un échange actif avec des régions moins développées tout en transférant des technologies susceptibles de nous aider à protéger notre environnement par le biais de feedbacks globaux.

Vom 22. bis zum 25. Januar 1986 findet ein **Workshop über Prozesse an der Partikel/Wasser-Grenzfläche** im Ausbildungszentrum Wolfsberg ob Ermatingen (TG, Schweiz) statt. Die (englischen) Vorträge werden durch John Wiley Interscience herausgegeben werden.

Schriftenreihe der EAWAG

Da oft bei Forschungs- und Auftragsprojekten Resultate, Informationen oder Methoden in grösserem Umfang erarbeitet werden, als in wissenschaftlichen Publikationen verwertet werden können, gibt die EAWAG eine eigene Schriftenreihe heraus. Diese ausführlicheren Dokumentationen können zum Selbstkostenpreis bei der EAWAG-Bibliothek bezogen werden.

Die ersten beiden Hefte sind in deutsch geschrieben, nachstehend drucken wir die deutsche und französische Zusammenfassung ab. (Eine englische und italienische Zusammenfassung ist in jedem Heft ebenfalls enthalten.)

Nr. 1.

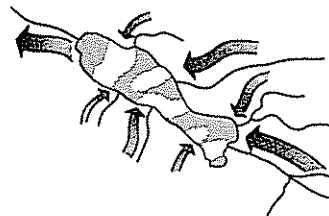
Heinrich Bühner, Ernő Szabó und Heinz Ambühl

Die Belastung des Greifensees mit Phosphor, Stickstoff, Kohlenstoff, geochemischen Stoffen und Schwermetallen in den Jahren 1977/78. Methodik und Resultate. 50 Seiten (1985), ISBN 3-906484-02-5, SFr. 10.-.

Un colloque traitant des processus à l'interface particules/eaux aura lieu en janvier 1986 à Wolfsberg près d'Ermatingen (TG, Suisse). Les discours seront publiés par John Wiley Interscience (en anglais).

Brochures EAWAG

Une partie seulement des abondants résultats, informations ou procédés méthodiques élaborés au cours d'une investigation scientifique ou de travaux d'analyse contractuels sont exploitables dans une revue scientifique. Depuis peu, l'EAWAG est l'éditeur d'une série de brochures particulières à l'intention de personnes intéressées à une documentation plus détaillée sur un sujet donné. Elles peuvent être obtenus au prix de revient auprès de la bibliothèque de l'EAWAG. Les deux premières brochures, dont voici respectivement des résumés en français et en allemand, ont paru en allemand (résumés anglais et italien dans la brochure):



La charge du Greifensee en phosphore, azote, carbone, substances géochimiques et métaux lourds, dans les années 1977/78. Méthodes et résultats

1. Die dem Greifensee zugeführten Nährstofffrachten wurden 1977 und 1978 gemessen. Die Untersuchungen umfassten:
 - Abflussmessungen und chemische Untersuchungen der wichtigeren Greifenseezuflüsse und des Abflusses.
 - Untersuchung eines Zuflusses mit praktisch rein landwirtschaftlich genutztem Einzugsgebiet (Aschbach).
 - Chemische Untersuchungen von direkt in den See oder unterhalb der Messstellen einleitenden Kläranlagen.
 - Erfassung der restlichen Quellen (Anlieger, restl. Flächen, Regen).
2. Für die chemischen Untersuchungen wurden Stichproben und Dauerproben erhoben. Dauerprobestellen waren: Usteraa, Mönchaltorferaa, Glatt und Aschbach. Am Werrikerbach, Tüffenbach und dem Dorfbach Maur wurden Stichproben erhoben. Diese Entnahmen erfolgten mit selbstfüllenden Sammlern als Tagessammelproben und/oder als Einzelschöpfproben.
3. Für die Beziehungen zwischen Abfluss und Konzentrationen in den einzelnen Flüssen wurden Kennlinien berechnet und mit deren Hilfe die täglichen Frachten ermittelt. Die Teilfrachten wurden zu Monats- und mittleren Jahresfrachten zusammengefasst.
4. Die Zuverlässigkeit der Basisdaten wird diskutiert. Die Probenahmetechniken mit den zugehörigen Rechenverfahren haben spezifische Vor- und Nachteile, welche bei der Planung eines Sammelprogramms zu berücksichtigen sind. Für eine neue Untersuchung werden technische Empfehlungen abgegeben.
5. Ohne Berücksichtigung der Flussschwebestoffe gelangten 1977/78 rund 23 Tonnen algenverfügbaren Phosphor in den Greifensee. Davon stammten 52 % aus Abwasser, 1 % aus Regen auf die Seefläche und 47 % aus der Boden-erosion bzw. -düngung.
6. Die 1967 gemessene Belastung von 50–58 t algenverfügbarem P ist 1977/78 auf rund 22 t abgesunken. Sie ist, soweit sich aus den Seedaten errechnen lässt, für 1981 wieder auf mehr als 30 t angestiegen, dürfte aber unter der Wirkung der neu eingeführten weitergehenden Abwasserreinigung wieder markant absinken auf 19–20 t/a.

1. La charge nutritive du Greifensee a été mesurée dans les années 1977/78. Les recherches se résument ainsi:
 - Débit et analyse chimique des principaux affluents et effluents du Greifensee.
 - Etude d'un affluent provenant d'une région purement agricole (Aschbach).
 - Analyse chimique des eaux usées traitées qui sont déversées directement dans le lac ou en dessous de la station de mesure.
 - Calcul des sources restantes de pollution (pluie, zone restantes de captage).
2. Les analyses chimiques ont été faites par échantillonnage simple (Werrikerbach, Tüffenbach et Dorfbach Maur) ou par prélèvement continu (Usteraa, Mönchaltorferaa, Glatt et Aschbach). Ces prélèvements ont été effectués par des échantillonneurs automatiques pour l'échantillonnage simple et/ou pour l'échantillonnage de collecte sur 24 h.
3. Les relations entre effluents et concentrations dans les diverses rivières ont été calculées par fonction mathématique et avec l'aide de celles-ci, on a trouvé l'apport journalier. L'apport partiel a été résumé en apport mensuel et annuel moyen.
4. La vraisemblance des données de base a été discutée. La technique d'échantillonnage et son procédé de calcul ont des avantages et des inconvénients spécifiques, qui sont à prendre en considération lors de la planification du programme d'échantillonnage. Des recommandations sont données pour une nouvelle recherche.
5. Sans prise en considération des substances en suspension dans les affluents, 23 tonnes de phosphore (à disposition des algues) sont entrées dans le Greifensee en 1977/78 dont 52 % provenaient des eaux usées, 1 % de la pluie sur la surface du lac et 47 % de l'érosion du sol (engrais).
6. La charge mesurée en 1967, qui était de 50–68 t de phosphore à la disposition des algues est tombée à 22 t en 1977/78. Elle est, aussi bien qu'on puisse le calculer, remontée au dessus de 30 t en 1981. Mais grâce à l'effet de l'épuration chimique des eaux, ce taux devrait retomber à 19–20 t/a.

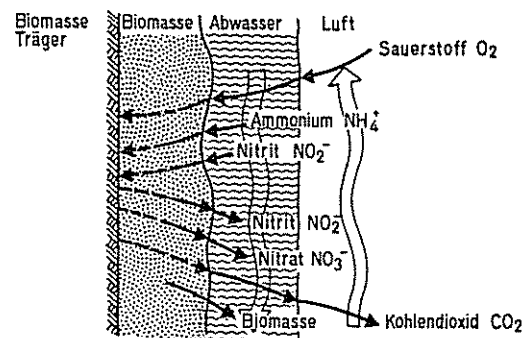
Nr. 2

Markus Boller und Willi Gujer

Nitrifikation im nachgeschalteten Tropfkörper kombiniert mit Raumfiltration (47 Seiten), 1985
ISBN 3-906488-03-3, SFr. 10.-.

Nachgeschaltete Kunststoffropfkörper sind eine technisch und ökonomisch vorteilhafte Lösung zum Ausbau bestehender Kläranlagen zur Nitrifikation von Abwasser. In Pilotversuchen über eine Dauer von 20 Monaten konnte der Einfluss wichtiger Prozessgrößen wie hydraulische Belastung, NH_4 -Belastung, Füllkörperbeschaffenheit, Biomassenabweidung, Temperatur, Säurebindungsvermögen und pH abgeklärt werden. Aus den Untersuchungen wurden Dimensionierungsgrundlagen zur Auslegung nitrifizierender Tropfkörper als zweite biologische Stufe erarbeitet, wobei neben Ammonium auch Nitrit als Bemessungskriterium einbezogen wurde.

Durch Filtrationsversuche konnte zudem der Vorteil der Raumfiltration als Nachbehandlung zur Abtrennung restlicher Feststoffe und Phosphor sowie zur Oxydation von Rest- NH_4 und $-\text{NO}_2$ demonstriert werden.



Des essais avec des lits bactériens à support plastique pour la nitrification des effluents des stations d'épuration ont montrés des avantages fonctionels et économiques. Après plus d'une année d'expérience sous différentes conditions opérationelles, on a évalué l'influence des différents paramètres comme charge hydraulique, charge de NH_4 , matière de support, prédation de la biomasse, température, alcalinité et pH.

D'après les données obtenues, des bases de dimensionnement sont développées pour des lits bactériens considérant à part de la nitrification de l'ammoniaque aussi celle du nitrite.

Des essais avec un filtre multicouche ont montré que la filtration non seulement retenait la matière en suspension et en cas de floculation le phosphore, mais, qu'elle était aussi capable d'oxyder l'ammoniaque et le nitrite résiduaire.

EAWAG-Publikationen

Solange Vorrat sind Separata auf Anfrage erhältlich (Bibliothek, EAWAG)

Les publications peuvent être obtenues sur demande, jusqu'à épuisement du stock de la Bibliothèque de l'EAWAG.

- 1035
Stumm, W., Keller, L.: Chemische Prozesse in der Umwelt – Die Bedeutung der Spezierung für die chemische Dynamik der Metalle in Gewässern, Böden und Atmosphäre. In: «Metalle in der Umwelt» (Hg. E. Merian et al.), Verlag Chemie, Weinheim 1984, S. 21–33.
- 1036
Schwarzenbach, R.P., Giger, W., Grob, K. Jr.: Gas Chromatography. In: "Water Analysis", Vol. III, R.A. Minear, L.H. Keith, Eds., Academic Press inc., London 1984, pp. 167–251.
- 1037
Baserga, U.: Der Einfluss der anaeroben Schlammstabilisation auf die Faulschlammwässerbarkeit. Diss. ETHZ Nr. 7542, Zürich 1984.
- 1038
Stahelin, J., Bühler, R.E., Hoigné, J.: Ozone Decomposition in Water Studied by Pulse Radiolysis. 2. OH and HO₂ as Chain Intermediates. J. Phys. Chem. 88, 5999–6004 (1984).
- 1039
Schwarzenbach, R., Giger, W., Hoehn, E., Schellenberg, K.H., Schneider, J.: Das Verhalten halogener Verbindungen im Grundwasser und bei der Grundwasserbildung. DVGW-Schriftenreihe. Wasser Nr. 34, Eschborn 1983, S. 179–196.
- 1040
Stumm, W., Sigg, Laura, Zobrist, J., Johnson, Annette: Der Nebel als Träger konzentrierter Schadstoffe. Neue Zürcher Ztg., Beil. «Forschung und Technik», Nr. 12, 16. Jan. 1985.
- 1041
Stadelmann, P., Joller, T., Imboden, D.: Die Auswirkungen von internen Massnahmen im Baldeggersee: Zwangszirkulation und Sauerstoffbegasung des Hypolimnions. Verh. Int. Verein. Limnol. 22, 1052–1065 (1984).
- 1042
Baccini, P., Bächler, M., Brunner, P.H., Henseler, G.: Von der Entsorgung zum Stoffhaushalt: Die Steuerung anthropogener Stoffflüsse als interdisziplinäre Aufgabe. (Zu Ehren 65. Geburtstag von Prof. Braun). Müll und Abfall 17, 99–108 (1985).
- 1043
Siegrist, H.: Stofftransportprozesse in festsitzender Biomasse. Diss. ETHZ Nr. 7726, Zürich 1985.
- 1044
Haag, W.R., Hoigné, J.: Kinetics and Products of the Reactions of Ozone with Various Forms of Chlorine and Bromine in Water. Ozone: Sci. and Engng. 6, 103–114 (1984).
- 1045
Murray, J.W., Dillard, J.G., Giovanoli, R., Moers, H., Stumm, W.: Oxidation of Mn(II): Initial Mineralogy, Oxidation State and Ageing. Geochim. et Cosmochim. Acta 49, 463–470 (1985).
- 1046
Mechsner, K.: The Influence of Seasonal Light Variations on the Growth of *Sphaerotilus natans*. Hydrobiologia 120, 193–197 (1985).
- 1047
Gonçalves, Maria de Lurdes, Sigg, Laura, Stumm, W.: Voltammetric Methods for Distinguishing between Dissolved and Particulate Metal Ion Concentrations in the Presence of Hydrous Oxides. A Case Study on Lead(II). Environ. Sci. Technol. 19, 141–146 (1985).
- 1048
Hamer, G.: Impacts of Economic Strategies on Biotechnological Developments. Trends in Biotechnology 3, 3, 73–79 (1985).
- 1049
Hamer, G., Hamadan, I.Y.: The Transfer of Single Cell Protein Technology to the Petroleum Exporting Arab States. Mircen J. 1, 23–32 (1985).
- 1050
Johnson, Carola Annette and Sigg, Laura: Acidity of Rain and Fog: Conceptual Definitions and Practical Measurements of Acidity. Chimia 39, 2–3, 59–61 (1985).
- 1051
Stumm, W., Furrer, G., Wieland, E., Zinder, Bettina: The Effects of Complex-Forming Ligands on the Dissolution of Oxides and Aluminosilicates. In: «The Chemistry of Weathering» (Ed. J. E. Drever). D. Reidel Publ. Co., Dordrecht 1985, pp. 55–74.
- 1052
Grob, K., Habich, A.: Headspace Gas Analysis: The Role and the Design of Concentration Traps Specifically Suitable for Capillary Gas Chromatography. J. Chromatogr. 321, 45–58 (1985).
- 1053
Wasmer, H.: Bewirtschaftung biogener Abfallstoffe. Systematische Übersicht zur Gewinnung von Entscheidungsunterlagen zur Planung und Auswahl von Detailuntersuchungen. Swiss Biotech 3, Nr. 1a, 9–15 (1985).
- 1054
Leuenberger, C., Giger, W., Coney, R., Graydon, J.W., Molnar-Kubica, Eva: Persistent Chemicals in Pulp Mill Effluents – Occurrence and Behaviour in an Activated Sludge Treatment Plant. Water Res. 19, 885–894 (1985).
- 1055
Schwarzenbach, R.P., Giger, W., Schaffner, C., Wanner, O.: Groundwater Contamination by Volatile Halogenated Alkanes: Abiotic Formation of Volatile Sulfur Compounds under Anaerobic Conditions. Env. Sci. Technol. 19, 322–327 (1985).
- 1056
Gächter, R., Mares, A.: Does Settling Seston Release Soluble Reactive Phosphorus in the Hypolimnion of Lakes? Limnol. Oceanogr. 30 (2), 364–371 (1985).
- 1057
Hamer, G.: Lysis and «Cryptic» Growth in Wastewater and Sludge Treatment Processes. Acta Biotechnol. 5, 117–127 (1985).
- 1058
Nefel, A., Beer, J., Oeschger, H., Zürcher, F., Finkel, R. C.: Sulphate and Nitrate Concentrations in Snow from South Greenland 1895–1978. Nature 314, No. 6012, 611–613, 18. April 1985.
- 1059
Schwarzenbach, R. P., Giger, W.: Behavior and Fate of Halogenated Hydrocarbons in Ground Water. In: «Ground Water Quality» (C. H. Ward, W. Giger, P. L. McCarthy, Eds.). J. Wiley & Sons, Inc., New York 1985, pp. 446–471.
- 1060
Zinder, Bettina: Phosphatrücklösung aus Sedimenten als Folge der Reduktion von Eisenoxiden. Diss. ETHZ Nr. 7738, Zürich 1985.

EAWAG-Mitarbeiter als Herausgeber:

- «Groundwater Quality», Ward, C. H., Giger, W., McCarthy, P. L., Eds., J. Wiley & Sons, Inc., New York, 1985, ISBN 0-471-81597-7, \$ 59.95.
- «Chemical Processes in Lakes», Stumm, W., Ed. 435 Seiten, Wiley Interscience New York, 1985, ISBN 0-471-88261-5, \$ 59.95.

Redaktion / Rédaction: D. Hornung

Copyright:

Abdruck, auch auszugsweise, ist unter Benachrichtigung des Herausgebers und der Autoren und mit der Quellenangabe «Abdruck aus den Mitt. EAWAG, 20 (1985)» gestattet.

Herausgeber:

EAWAG, 8600 Dübendorf, Schweiz (Tel.: 01-823 55 11)

Bitte Adressänderung zHd. Bibliothek, EAWAG, 8600 Dübendorf mitteilen.

La reproduction des articles est autorisée à condition de mentionner expressément «tiré des Nouvelles de l'EAWAG 20 (1985)» et d'informer l'auteur/les auteurs et la rédaction en avance. Faites-nous parvenir votre changement d'adresse à la Bibliothèque, EAWAG, 8600 Dübendorf.