

UMWELTBIOLOGIE AN DER EAWAG 1980 - 1990

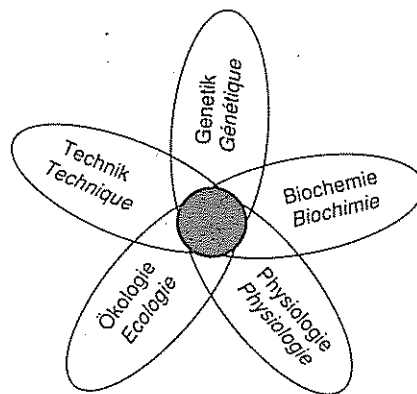
GEOFFREY HAMER, MARIO SNOZZI UND THOMAS EGLI

Folgen der zunehmenden Bevölkerungsdichte, der intensiven Landwirtschaft und industriellen Aktivitäten sind grosse Mengen an anfallendem Abfall in fester und flüssiger Form. Wir müssen deshalb über eine Reihe von effizienten und ökonomischen Verfahren verfügen, mit denen die produzierten häuslichen und industriellen Abwässer gereinigt und die Abfälle beseitigt werden können und die es auch erlauben, unser Trinkwasser aufzubereiten und es zu schützen. In manchen Fällen kommen solche Massnahmen schon zu spät und die Reinigung von ernsthaft durch Schadstoffe verschmutzten Böden oder die Sanierung von Altlasten in Deponien wird dringend notwendig.

Umwelmbiotechnologie ist die Wissenschaft, welche sich spezifisch mit den Grundlagen der mikrobiellen Biochemie, Physiologie, Genetik und Ökologie des biologischen Abbaus von Schadstoffen und deren Anwendung auf bestehende und zukünftige Umweltpro-

Tab. 1**Potentielle Anwendungsgebiete**

- Kommunale Kläranlagen
- Industrielle Abwasserreinigung
- Klärschlammbehandlung
- Mikrobielle Kontamination von Trinkwasser
- Mikrobielle Behandlung von Altlasten
- Abluftbehandlung

**Fig. 1****Umwelmbiotechnologie
Biotechnologie de l'environnement**

bleme befasst. Dazu gehören auch die technologischen Aspekte der Anwendung dieses biologischen Wissens in natürlichen und technischen Systemen. Die Komplexität der Anwendung mikrobieller Prozesse in der Umwelt erfordert bei umweltbiotechnologischen Verfahren stets eine multidisziplinäre Denk- und Arbeitsweise. Basis dafür bildet ein möglichst gutes Verständnis der mikrobiellen Ökologie in aquatischen und terrestrischen Systemen, d.h. der Zusammensetzung und des Zusammenspiels von mikrobiellen Gemeinschaften, ihres genetischen Potentials und des physiologischen und wachstumodynamischen Verhaltens solcher Gemeinschaften unter umweltrelevanten Bedingungen. Die wesentlichen

Einzeldisziplinen, welche zur Umweltbiotechnologie beitragen, sind in Fig. 1 vereinfacht dargestellt.

Im Verlauf der letzten 10 Jahre wurde in der Abteilung für Technische Biologie der EAWAG eine Arbeitsgruppe aufgebaut, welche sich zur Hauptsache mit Aspekten der mikrobiellen Physiologie und des Wachstumsverhaltens von umweltbiologisch relevanten Mikroorganismen befasst. Die von der Gruppe bearbeiteten Forschungsprogramme sind auf die sechs in Tabelle 1 aufgeführten Anwendungsgebiete ausgerichtet und die spezifischen Forschungsthemen sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Die gegenseitige Beeinflussung und Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Forschungsprojekten und

Tab. 2**Themenbereiche der Forschung**

- Mikrobieller Abbau ausgewählter Schadstoffe
- Wachstum von Rein- und Mischkulturen mit Schadstoffgemischen
- Mikrobielle Physiologie unter fluktuierenden Wachstumsbedingungen
- Überleben und Verbleib von Mikroorganismen in natürlichen und technischen Systemen
- Wirkung von physikalischen und chemischen Parametern auf das Wachstum und die Funktion von Mikroorganismen

BIOTECHNOLOGIE DE L'ENVIRONNEMENT À L'EAWAG 1980 - 1990

GEOFFREY HAMER, MARIO SNOZZI ET THOMAS EGLI

L'accroissement de la densité démographique, l'agriculture intensive et les activités industrielles occasionnent de grandes quantités de déchets solides et liquides. Il nous faut donc disposer d'un ensemble de procédés efficaces et économiques pour pouvoir épurer les eaux usées produites par les ménages et les industries ainsi que préparer et protéger l'eau potable. Dans bien des cas, ces mesures surviennent trop tard, et l'épuration de sols gravement pollués ou l'assainissement de décharges anciennes revêtent un caractère d'extrême urgence.

La biotechnologie de l'environnement est la science qui s'intéresse spécifiquement aux bases de la biologie microbienne, de la physiologie, de la génétique et de l'écologie de la biodégradation des polluants, et à leur application aux problèmes actuels et futurs de l'environnement. Elle englobe les aspects technologiques de l'application de ce savoir biologique dans des systèmes naturels et techniques. En matière de biotechnologie de l'environnement, la complexité de l'application des processus microbiens dans l'environnement exige, en permanence, un mode de pensée et de travail multidisciplinaire. Celui-ci doit s'appuyer sur une compréhension aussi bonne que possible de l'écologie microbienne dans les systèmes aquatiques et terrestres, c'est-à-dire la composition et la combinaison des communautés microbiennes, leur potentiel génétique et leur comportement physiologique et dynamique dans des conditions ambiantes. Les principales disciplines contribuant à la biotechnologie de l'environnement sont présentées schématiquement sur la figure 1.

Au cours des dix dernières années, un groupe de travail s'est constitué au sein du département de Biologie technique de l'EAWAG ; il s'intéresse principalement à la physiologie microbienne et à la croissance de microorganismes importants pour la biologie environnementale. Les programmes d'application étudiés par le groupe sont axés sur les six domaines listés sur le tableau 1, et les thèmes spécifiques de recherche sont présentés sur le tableau 2. L'influence réciproque et les corrélations entre les divers projets d'application et domaines

de recherche sont illustrées par la figure 2. Les pages suivantes se proposent de présenter brièvement les différents domaines de recherche abordés.

1. Biodégradation de certains polluants

Le thème de recherche le plus souvent abordé dans le monde en matière de biotechnologie de l'environnement est sans aucun doute la dégradation microbienne des polluants, l'accent étant mis depuis quelques années sur l'exploration des canaux métaboliques biochimiques dans les composés chlorés. En revanche, les études ont rarement porté sur les composés non chlorés qui parviennent dans les eaux par voie directe ou indirecte selon leur mode d'application en grandes quantités.

En ce qui concerne la Suisse, par exemple, le nitrilotriacétate, produit de substitution du phosphate, et le solvant isopropanol revêtent une grande importance, et leur dégradation microbienne est donc étudiée à l'EAWAG.

1.1. Biodégradation du nitrilotriacétate

Bien que les travaux sur la biodégradation du nitrilotriacétate soient traités en détail dans un autre article [1], les principaux aspects de ce projet de recherche seront brièvement présentés ici. En raison de l'eutrophisation extensive des eaux naturelles, les phosphates entrant dans la composition de détergents ont été interdits en Suisse au milieu de 1986 [2]. Pour des motifs de sécurité et d'efficacité détergente, mais aussi pour des raisons économiques, le NTA s'est révélé le produit de substitution le plus intéressant. Même si la teneur maximale en NTA dans les détergents a été fixée à 5%, 3 000 tonnes de NTA sont utilisées chaque année en Suisse. L'opinion a exprimé son scepticisme quant à l'action et à la sécurité offertes par les NTA, notamment au niveau de leur dégradation incomplète lors de l'épuration des eaux usées ainsi que dans les eaux de surface et la nappe phréatique. Certes, avant 1986, les NTA étaient connus comme relativement bien dégradables, mais la plupart des questions critiques portaient sur les propriétés, la croissance, la biochimie et l'écologie des microbes de dégradation. Prévoyant que l'interdiction des polyphosphates entraînerait une large application des NTA dans les détergents, un groupe de re-

Tab.1

Champs d'application potentiels

- Stations d'épuration communales
- Epuration des eaux usées industrielles
- Traitement des boues d'épuration
- Contamination microbienne de l'eau potable
- Traitement microbien des décharges
- Traitement des émissions gazeuses

Tab. 2

Thèmes de recherche

- Décomposition microbienne de certains polluants
- Croissance de cultures pures et mixtes de mélanges de polluants
- Physiologie microbienne dans des conditions de croissance fluctuantes
- Survie et maintien de microorganismes dans des systèmes naturels et techniques
- Action de paramètres physiques et chimiques sur la croissance et le fonctionnement de microorganismes

cherche a tenté de répondre à ces questions. D'abord, il a pu mettre en évidence la transformation complète des NTA en biomasse bactérienne, gaz carbonique, ammonium et eau, aussi bien dans des conditions aérobies qu'anaérobies (dénitrification), et isoler de l'environnement les bactéries capables de décomposer les NTA dans ces conditions. La caractérisation de ces substances isolées a révélé qu'elles se subdivisaient en deux groupes distincts :

I) celles capables de décomposer les NTA seulement en présence d'oxygène (organismes aérobies stricts) [3] et

II) celles capables de décomposer les NTA aussi bien dans des conditions aérobies qu'en l'absence d'oxygène (organismes dénitrifiants) [4].

La croissance de ces groupes a été examinée. Les enzymes qui catalysent la première phase de la biodégradation des NTA dans des conditions aérobies et dénitrifiantes (monoxygénase et déshydrogénase) ont été épurés et caractérisés. De grands progrès ont été aussi réalisés en ce qui concerne la dif-

Forschungsgebieten wird in Fig. 2 dargestellt. Im folgenden sollen die einzelnen bearbeiteten Gebiete der Forschung kurz vorgestellt werden.

1. BIOLOGISCHER ABBAU VON AUSGEWÄHLTEN SCHADSTOFFEN

Das weltweit am intensivsten bearbeitete Forschungsthema in der Umwelbibiotechnologie ist sicher das Gebiet des mikrobiellen Abbaus von umweltbelastenden Schadstoffen, wobei in den letzten Jahren viel Gewicht auf die Erforschung der biochemischen Stoffwechselwege chlorierter Verbindungen gelegt wurde. Im Gegensatz dazu wurden nicht-chlorierte Schadstoffe, welche, bedingt durch die Art ihrer Anwendung, in bedeutenden Mengen direkt oder indirekt ins Wasser gelangen, wenig untersucht. Im Bezug auf die Schweiz sind z.B. der Phosphatersatzstoff Nitrioltriacetat und das Lösungsmittel Isopropanol von Bedeutung und ihr mikrobieller Abbau wird deshalb an der EAWAG untersucht.

1.1 Biologischer Abbau von Nitrioltriacetat

Obwohl die Arbeiten über den biologischen Abbau von Nitrioltriacetat erst kürzlich zusammengefasst wurden [1], sollen die wichtigeren Aspekte dieses Forschungsprojektes hier kurz erwähnt werden. Wegen der extensiven Eutrophierung von natürlichen Gewässern wurden Phosphate als Bestandteile von Waschmitteln Mitte 1986 in der Schweiz verboten [2]. Aus Gründen der Sicherheit und der Waschleistung, aber auch aus ökonomischen Überlegungen, wurde NTA zum attraktivsten Ersatz für Polyphosphate. Obwohl der maximale Gehalt von NTA in Waschmitteln auf 5% festgelegt wurde, werden in der Schweiz heute ca. 3'000 Tonnen NTA pro Jahr verwendet. In der Öffentlichkeit wurde Skepsis über Wirkung und Sicherheit von NTA in Waschmitteln laut, besonders im Hinblick auf seinen unvollständigen Abbau während der Abwasserreinigung und in Oberflächengewässern und Grundwasser. Obwohl vor 1986 NTA als einigermaßen gut abbaubar bekannt war, waren die meisten kritischen Fragen über Eigenschaften, Wachstumsphysiologie, Biochemie und die Oekologie von NTA-abbauenden Mikroben noch ungeklärt.

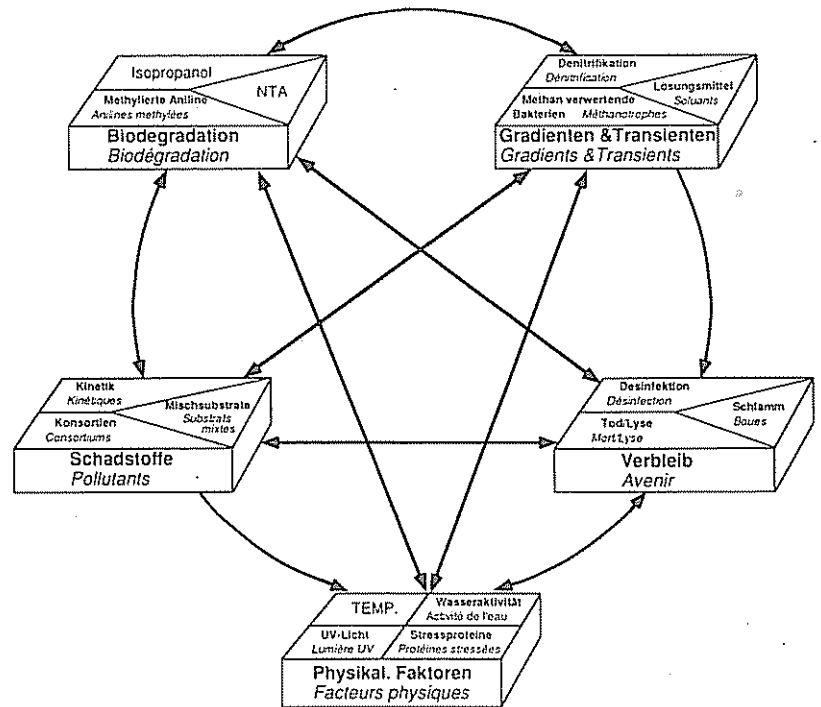


Fig. 2
Forschungsschwerpunkte der Abteilung Techn. Biol. und ihre Interaktionen
Domaines prioritaires de recherche et interactions

In der Voraussicht, dass das Verbot von Polyphosphaten zu weitgehender Anwendung von NTA in Waschmitteln führen werde, suchte eine Forschungsgruppe Antworten auf die offenen Fragen.

Als erstes konnte die vollständige Umwandlung von NTA zu bakterieller Biomasse, Kohlendioxyd, Ammonium und Wasser sowohl unter aeroben als auch unter anaeroben (denitrifizierenden) Bedingungen nachgewiesen werden und Bakterien, welche NTA unter solchen Bedingungen abbauen können, wurden aus der Umwelt isoliert. Die nachfolgende Charakterisierung dieser Isolate zeigte, dass sie sich in zwei Hauptgruppen unterscheiden lassen:

- I.) Eine Gruppe, welche NTA nur in Gegenwart von Sauerstoff abbauen kann (obligat aerobe Stämme) [3] und
- II.) solche, welche NTA sowohl aerob als auch in Abwesenheit von Sauerstoff (denitrifizierende Stämme) [4] abbauen können.

Das Wachstumsverhalten beider Gruppen wurde untersucht. Die Enzyme, die den ersten Schritt des biologischen Abbaus von NTA unter aeroben und unter denitrifizierenden Bedingungen katalysieren, eine NTA-Monooxygenase bzw. eine NTA-Dehydrogenase, wurden gereinigt und charakterisiert.

Wesentliche Fortschritte wurden auch im Hinblick auf die Verbreitung der NTA abbauenden Stämme in Kläranlagen und in natürlichen Ökosystemen erzielt. So deuten noch nicht abgeschlossene Untersuchungen an, dass NTA-abbauende Bakterien sowohl in gut NTA-abbauenden als auch in schlecht NTA-abbauenden Kläranlagen in ähnlicher Anzahl vorhanden sind [5]. Dies bedeutet, dass der Abbau von NTA nicht über die Anreicherung dieser Bakterien geregelt wird, sondern über die Bildung der NTA-abbauenden Enzyme in diesen Mikroorganismen. Dieses Resultat steht im Gegensatz zur allgemein verbreiteten Ansicht, dass aus der Anwesenheit von spezifischen Schadstoff abbauenden Mikroorganismen in Ökosystemen und Kläranlagen automatisch auch auf das Abfließen des Abbaus dieses Schadstoffs geschlossen werden kann.

1.2 Abbau von Isopropanol

Die Art der Anwendung vieler organischer Chemikalien, insbesondere von Lösungsmitteln, schliesst ihre Wiederverwendung oder Aufbereitung in den meisten Fällen von vornherein aus. Der grösste Teil der jährlichen Produktion solcher Lösungsmittel gelangt so in die Umwelt. Während einfache, nicht chlorierte organische Lösungsmittel in Be-

fusion des décomposeurs de NTA dans les stations d'épuration et les écosystèmes naturels. Ainsi, des études en cours montrent que les bactéries qui décomposent les NTA sont présentes en quantités analogues dans les stations assurant une bonne dégradation et dans celles où elle se révèle moins efficace [5]. Il en ressort que la dégradation des NTA n'est pas réglée par la concentration de ces bactéries, mais par la formation des enzymes décomposeurs dans ces microorganismes. Cette conclusion dément l'idée généralement répandue que la présence, dans les écosystèmes et les stations d'épuration, de microorganismes spécifiques capables de décomposer des polluants entraîne le déroulement automatique de cette dégradation.

1.2. Dégradation de l'isopropanol

Le type d'application de nombreuses substances chimiques organiques, en particulier les solvants, exclut d'emblée, dans la plupart des cas, leur recyclage ou leur traitement. La majeure partie de ces solvants parvient donc dans l'environnement. Si, pour les solvants organiques, simples et non chlorés, la biodégradation ne pose en général aucun problème, il est apparu clairement, au cours de nos analyses, que, dans des conditions dynamiques, c'est-à-dire en cas de fortes fluctuations de concentration de certains solvants, la capacité de dégradation, même de cultures mixtes acclimatées, n'est pas toujours suffisante. Dans ces conditions, par exemple, l'addition saccadée d'isopropanol à une culture bactérienne de dégradation de solvants peut entraîner l'accumulation d'acétone, difficile à décomposer, ce qui nuit à l'efficacité de cette culture [6,7]. Des analyses effectuées sur des bactéries isolées à partir de stations d'épuration ont montré que ce type d'apparition temporaire de produits du métabolisme ne se rencontre pas seulement dans le cas de l'isopropanol mais aussi, d'une manière générale, en présence de bactéries dégradant les solvants. En fait, la plupart des produits intermédiaires métaboliques formés au cours de la dégradation de ces substrats étant de charge nulle et de faible poids moléculaire, ils peuvent se diffuser hors de la cellule sans difficultés. Ainsi, par exemple, la dégradation de l'acétone peut entraîner une forte accumulation de méthanol [12] et la dégradation du méthanol peut provoquer des concentrations de formaldé-

hyde mortelles pour la culture [7].

Ce phénomène inattendu a été observé en Suisse lorsque de l'isopropanol, composant d'un dégivrant utilisé dans les aéroports suisses, est parvenu, via les systèmes d'écoulement, dans une station d'épuration biologique des eaux usées, perturbant gravement l'efficacité de l'installation.

2. CROISSANCE DE CULTURES PURES ET MIXTES AVEC MÉLANGES DE SUBSTRATS

Nos recherches concernant la biodégradation de mélanges de substrats naturels et de polluants se basent sur le fait que, aussi bien dans la nature que dans la plupart des installations techniques, les nutriments disponibles se présentent pratiquement toujours dissous sous forme de mélanges (et non de composants isolés) et dans de faibles concentrations. Dans le passé, pourtant, la majeure partie des analyses en laboratoire s'intéressaient à la croissance et la décomposition des polluants de microorganismes sur des substrats isolés et utilisés, qui plus est, dans de fortes concentrations. Même si la méthode de culture continue (chémostat) était employée - permettant la culture de microorganismes en faibles concentrations -, les recherches portaient, en règle générale, sur des substrats (ou des polluants) isolés et rarement sur des mélanges de substrats.

L'emploi presque exclusif de substrats isolés dans de fortes concentrations peut s'expliquer par le fait que Monod avait introduit il y a 50 ans le concept de consommation séquentielle du substrat (c'est-à-dire qu'un microorganisme en présence d'un mélange de substrats consomme successivement et non simultanément ces substrats). Ce n'est qu'au cours des dix dernières années que l'on s'est pleinement rendu compte que ce concept n'était applicable qu'à la croissance de fortes concentrations. Pour cette raison, le département Biologie technique étudie la cinétique et la physiologie de la croissance de cultures pures et mixtes I) sur de faibles concentrations de substrats (ou de polluants) et II) en présence de mélanges.

2.1 Cinétique de croissance de substrats isolés à faible concentration

La cinétique de saturation selon Monod, généralement utilisée de nos jours avec des substrats isolés pour décrire la

cinétique de croissance de microorganismes, n'a jamais pu être confirmée de façon satisfaisante sur le plan expérimental. Les méthodes analytiques existantes ne permettaient pas, en effet, de mesurer les concentrations de substrats - des sucres étaient utilisés en général - au niveau le plus faible possible requis, dans le milieu de culture. Bien que certains chercheurs aient commencé il y a une vingtaine d'années à remettre en question le concept mis au point par Monod, la réponse à cette question n'a pu être apportée que récemment, lorsqu'une méthode analytique a été élaborée dans notre laboratoire, permettant le calcul de très faibles concentrations de sucre réduit (jusqu'à environ $1 \mu\text{g.l}^{-1}$) [11]. Grâce à cette méthode, il a été possible de prouver que, dans le cas de la croissance de la bactérie *Escherichia coli* avec du glucose, un modèle proposé ces dernières années par le groupe de recherche de van Dam à Amsterdam et basé sur la thermodynamique de non équilibre décrit beaucoup mieux les données que l'habituelle cinétique de Monod [9]. Il faudra toutefois attendre quelques années pour savoir si ce modèle s'applique à d'autres substrats et microorganismes.

2.2 Cinétique de croissance de cultures pures avec mélanges de substrats

Bien que, dans la nature, les microorganismes se développent toujours en présence de mélanges de substrats et consomment donc, selon toute vraisemblance, plusieurs substrats à la fois, très peu d'analyses expérimentales se sont penchées jusqu'à aujourd'hui sur cette question complexe et importante, et il n'existe encore aucun modèle cinétique basé sur des données et décrivant la croissance simultanée sur des mélanges de substrats. Nos analyses ont pu montrer qu'une levure pouvait assimiler les deux substrats glucose et méthanol en même temps [8]. La méthode analytique mentionnée plus haut et visant à mesurer de faibles concentrations de sucres dans des milieux de culture est désormais utilisée dans notre laboratoire pour étudier la croissance d'une bactérie avec des mélanges de sucres déterminés. Elle a permis de montrer que cette bactérie est capable d'assimiler des mélanges de sucres, aussi bien dans des conditions de croissance continue que discontinue [11]. Ce système de modélisation est main-

zug auf ihren biologischen Abbau meist als unbedenklich angesehen werden. wurde im Verlauf unserer Untersuchungen über den Abbau von Lösungsmittelgemischen klar, dass unter dynamischen Bedingungen, d.h. bei starken Schwankungen der Konzentration gewisser Lösungsmittel, die Abbaukapazität selbst von akklimatisierten Mischkulturen nicht immer ausreichend ist. Unter solchen Bedingungen kann z.B. die pulsweise Zugabe von Isopropanol zu einer Lösungsmittel abbauenden Bakterienkultur zur Akkumulierung von Azeton führen, welches in der Folge schlecht abgebaut wird und die allgemeine Abbauleistung der Kultur verschlechtert [6,7]. Eigene Untersuchungen an aus Kläranlagen isolierten Bakterien haben gezeigt, dass eine solche vorübergehende Ausscheidung von Stoffwechselprodukten nicht nur im Fall von Isopropanol sondern allgemein bei Lösungsmittel abbauenden Bakterien der Fall ist. Der Grund dafür liegt darin, dass die meisten der im Verlauf des Abbaus dieser Substrate gebildeten metabolischen Zwischenprodukte niedermolekular und ungeladen sind und deshalb praktisch ungehindert aus der Zelle diffundieren können. So kann z.B. beim Abbau von Azeton Methanol in grösseren Mengen akkumulieren [12] und beim Abbau von Methanol kann Formaldehyd in so hohen Konzentrationen anfallen, dass dies zum Absterben der Kultur führen kann [7].

In der Schweiz wurde dieses unerwartete Phänomen beobachtet, als Isopropanol als Bestandteil eines Enteisungsmittels in schweizerischen Flughäfen über das Abflusssystem in eine biologische Abwasserreinigungsanlage gelangte und dort zur drastischen Störung der Abbauleistung der Anlage führte.

2. WACHSTUM VON REIN- UND MISCHKULTUREN MIT MISCHUNGEN VON WACHSTUMSSUBSTRATEN

Unsere Untersuchungen über den biologischen Abbau von Gemischen von natürlichen Wachstumssubstraten und von Schadstoffen basieren auf der Tatsache, dass sowohl in der Natur, als auch in den meisten technischen Anlagen die verfügbaren Nährstoffe praktisch immer gelöst in Form von Gemischen (und nicht als Einzelkomponenten) und in niedrigen Konzentrationen auftreten. In der Vergangenheit wurde jedoch in den

allermeisten Laborstudien das Wachstum und der Schadstoffabbau von Mikroorganismen an Einzelsubstraten, welche zudem in hohen Konzentrationen eingesetzt wurden, untersucht. Selbst wenn für Untersuchungen die Methode der kontinuierlichen Kultur (Chemostat) verwendet wurde (sie erlaubt die Züchtung von Mikroorganismen bei kleinen Substratkonzentrationen), wurde in der Regel mit Einzelsubstraten (oder einzelnen Schadstoffen) und selten mit Substratgemischen gearbeitet.

Die Tatsache, dass bis heute fast ausschliesslich mit hohen Konzentrationen von Einzelsubstraten gearbeitet wurde, kann darauf zurückgeführt werden, dass vor 50 Jahren das Konzept des sequentiellen Substratverbrauches (d.h., dass ein Mikroorganismus bei Vorliegen eines Substratgemisches sequentiell ein Substrat nach dem anderen verbraucht und nicht mehrere Wachstumssubstrate gleichzeitig verwertet) von Monod eingeführt wurde. Dass dieses Konzept nur für das Wachstum bei hohen Substratkonzentrationen anwendbar ist, wurde in seiner vollen Bedeutung erst im Verlauf der letzten 10 Jahre erkannt. Aus diesem Grund wird an der Abt. Techn. Biol. die Kinetik und Physiologie des Wachstums von Rein- und Mischkulturen von Mikroorganismen I.) bei niedrigen Substrat (Schadstoff-) Konzentrationen und II.) in Gegenwart von Substratgemischen untersucht.

2.1 Wachstumskinetik bei niedrigen Konzentrationen von Einzelsubstraten

Die heute allgemein zur Beschreibung der Wachstumskinetik von Mikroorganismen mit Einzelsubstraten verwendete Sättigungskinetik nach Monod konnte experimentell nie befriedigend bestätigt werden. Dies vor allem deshalb, weil die vorhandenen analytischen Methoden es nicht erlaubten, die Konzentration der Wachstumssubstrate, im allgemeinen wurden Zucker verwendet, in Kulturmedien im dafür erforderlichen, äusserst niedrigen Konzentrationsbereich zu messen. Obwohl schon vor ca. 20 Jahren einzelne Forscher begannen, das von Monod aufgestellte Konzept der Sättigungskinetik in Frage zu stellen, wurde eine Beantwortung dieser offenen Frage erst kürzlich möglich, als in unserem Labor eine analytische Methode entwickelt wurde, die die Erfassung von sehr niedrigen Konzentrationen

reduzierender Zucker (bis zu ca. $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) erlaubt [11]. Mit Hilfe dieser Methode konnte nachgewiesen werden, dass im Fall des Wachstums des Bakteriums *Escherichia coli* mit Glukose ein von der Forschungsgruppe von van Dam in Amsterdam in den letzten Jahren vorgeschlagenes, auf Nicht-Gleichgewichtsthermodynamik basierendes Wachstumsmodell, die Daten wesentlich besser beschreibt als die heute übliche Monod-Kinetik [9]. Es wird sich jedoch erst in einigen Jahren zeigen, ob dies allgemein auch für andere Mikroorganismen und Wachstumssubstrate gilt.

2.2 Wachstumskinetik von Rein-kulturen mit Substratgemischen

Obwohl in der Natur Mikroorganismen immer in Gegenwart von Gemischen von Substraten wachsen und dabei mit grosser Wahrscheinlichkeit mehrere Substrate gleichzeitig verwerten können, wurden bis heute nur sehr wenige experimentelle Untersuchungen zu diesem wichtigen Fragenkomplex gemacht und es existieren noch keine auf Daten basierende kinetische Modelle, welche das simultane Wachstum auf Substratgemischen beschreiben. In eigenen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass eine Hefe über einen grossen Wachstumsbereich die beiden Wachstumssubstrate Glukose und Methanol gleichzeitig aufnehmen und verwerten kann [8]. Die oben erwähnte Analytik zur Messung von niedrigen Zuckerkonzentrationen in Kulturmedien wird nun in unserem Labor auch zur Untersuchung des Wachstums eines Bakteriums mit definierten Zuckermischungen eingesetzt. Es konnte dabei gezeigt werden, dass dieses Bakterium sowohl unter kontinuierlichen Wachstumsbedingungen, als auch unter transienten und Batch-Wachstumsbedingungen Gemische von Zuckern verwerten kann [11]. Dieses Modellsystem wird nun im Detail untersucht. Solche Untersuchungen sind nicht nur von fundamentaler Bedeutung für das Verständnis des Wachstumsverhaltens von Mikroorganismen mit natürlichen Substraten, sondern sie sind auch relevant für das Verständnis der Kinetik des mikrobiellen Abbaus von Schadstoffen bei umweltrelevanten (tiefen) Konzentrationen.

2.3 Mikrobielle Konsortien

Konzepte und Experimente zur In-

tenant examiné en détail. Ces travaux présentent non seulement un intérêt fondamental pour la compréhension du comportement de microorganismes face à des substrats naturels, mais aussi pour la compréhension de la cinétique de la décomposition microbienne de polluants dans des (faibles) concentrations importantes pour l'environnement.

2.3 Consortiums microbiens

Les concepts et les expériences concernant l'interaction microbienne dans des cultures mixtes se sont limités, jusqu'à aujourd'hui, à des cultures binaires et à des substrats isolés, alors que, dans pratiquement tous les systèmes ouverts, une population microbienne plus ou moins complexe se constitue, selon la pression sélective existante, c'est-à-dire les conditions physiques ambiantes et les nutriments disponibles. Même dans le cas exceptionnel où, en principe, une seule source de carbone existe dans des conditions aérobies, la population microbienne concentrée se compose d'une souche primaire consommatrice de substrat, représentant plus de 90% de la population totale, et de quelques rares souches secondaires (3 à 5, en général), qui comprennent moins de 10% de la culture et se développent non pas sur le substrat primaire mais sur des produits issus de l'organisme principal. Dans un consortium aussi stable, les organismes secondaires soutiennent en général le fonctionnement de la souche principale. Jusqu'à présent, toutefois, peu de consortiums microbiens ont été examinés en détail sur le plan de leur composition et de leur fonctionnement, à l'exception de certains de nos travaux, où était concentrée une culture bactérienne mixte décomposant les solvants isopropanol, acétone, méthanol et chlorure de méthylène [18]. Elle se composait de deux souches principales responsables de la dégradation des quatre substrats. Ce résultat ne correspond pas aux attentes théoriques selon lesquelles, avec quatre substrats, une culture à quatre organismes devrait être enrichie. Les deux souches principales ont été isolées et caractérisées séparément. Des expériences cinétiques complémentaires sur des cultures mixtes définies contenant les deux bactéries et mélanges de substrats ont révélé le comportement de la culture mixte pouvait être assez bien prévu à partir du comportement des cultures pures.

A l'heure actuelle, on étudie des colonies microbiennes essentiellement constituées de bactéries consommatrices de méthane, qui présentent un intérêt particulier pour l'épuration microbienne de sols et vecteurs d'eau souterraine fortement pollués. En effet, on sait que les bactéries dégradant le méthane sont capables de métaboliser un grand nombre de polluants chlorés carbonés en même temps que le méthane, leur substrat principal de croissance. C'est pourquoi leur potentiel est momentanément analysé pour le biotraitement *in situ* de systèmes aquatiques et terrestres [13].

3. GRADIENTS ET STADES TRANSITOIRES

La croissance et la physiologie des microorganismes sont étudiées en laboratoire dans des conditions ambiantes aussi constantes que possible. La mise au point du chimostat a également permis de garantir aux cultures un quasi-équilibre d'écoulement pendant une période prolongée. Toutefois, dans les systèmes naturels et techniques, les microorganismes ne sont pas seulement exposés à un changement permanent des conditions ambiantes mais aussi à des gradients parfois très marqués sur des espaces très réduits. La plupart des données disponibles sur la physiologie des microorganismes n'en tiennent pas suffisamment compte. Il ne fait pourtant aucun doute que les microorganismes possèdent une énorme capacité d'adaptation aux variations des facteurs environnementaux. C'est pourquoi les données expérimentales basées sur une croissance en écoulement uniforme ne se transposent pas facilement sur des systèmes naturels.

Les travaux menés dans le département Biologie technique au sujet des gradients et des stades transitoires se concentrent sur l'alternance entre les conditions de croissance en aérobiose et en anaérobiose. Le *Paracoccus denitrificans* a été choisi comme organisme modèle, car sa caractérisation biochimique est tout à fait remarquable. Notre intérêt se portait avant tout sur le métabolisme énergétique (c'est-à-dire le passage de la respiration aérobie à la dénitrification) et sur l'influence des sources de carbone et d'azote. Tandis que le passage de la croissance anaérobie à la croissance aérobie ne semble poser aux organismes aucun problème majeur d'adaptation, la transition inver-

se n'est possible pour les cultures en chimostat qu'en cas de croissance avec certaines sources de carbone (p. ex. pyruvate, succinate, mais pas glucose).

D'un point de vue pratique, les résultats les plus intéressants sont ceux qui visent à définir les conditions physiologiques dans lesquelles la dénitrification se déroule jusqu'à l'azote. Il en ressort que le passage de conditions aérobies à anaérobies entraîne provisoirement la production de nitrite et d'oxyde d'azote, compte tenu des différences de taux de synthèse entre les enzymes participant au transport d'électrons. La quantité d'oxyde d'azote produit est en partie déterminée par le pH du milieu nutritif, ainsi que par les sources d'azote offertes [10].

Même si la dénitrification ne figure pas encore parmi les principaux objectifs d'exploitation des stations d'épuration suisses, il faut cependant admettre qu'en dehors de la nitrification se déroule aussi une dénitrification. Celle-ci constitue un processus important, même dans des systèmes naturels terrestres et aquatiques. Il importe donc de mieux comprendre les mécanismes qui déterminent la production d'oxyde d'azote. C'est seulement de cette manière que l'on peut garantir que ni l'exploitation des stations d'épuration ni l'intervention dans les écosystèmes ne provoquent une plus forte production d'oxyde d'azote. Son action nuisible de gaz à effet de serre et la dégradation de la couche d'ozone l'exigent.

Une meilleure compréhension du comportement des populations microbiennes passera à l'avenir par l'approfondissement des connaissances relatives au comportement transitoire, notamment les transitions entre les limitations de carbone et d'azote. L'importance des microgradients ne doit pas être sous-estimée non plus.

4. SURVIE DES MICROORGANISMES DANS LES ÉCOSYSTÈMES NATURELS

On sait peu de choses sur le sort des microbes et de leur information génétique dans les stations d'épuration et les déchets. Même dans notre siècle se sont déclarées en Europe des épidémies dues à des microorganismes pathogènes contenus dans l'eau potable. Aujourd'hui, ces problèmes sont résolus par l'épuration, le traitement et la stérilisation partielle de l'eau potable, de même que par

teraktion zwischen Mikroben in Mischkulturen sind bis heute auf binäre Kulturen und Einzelsubstrat-Situationen beschränkt. dies obwohl in praktisch allen offenen Systemen, je nach dem bestehenden selektiven Druck, d.h. den physikalischen Umweltbedingungen und den vorhandenen Nährstoffen, sich immer eine mehr oder weniger komplex zusammengesetzte mikrobielle Population bildet. Sogar in dem aussergewöhnlichen Fall, in dem unter aeroben Bedingungen nur eine einzige Kohlenstoffquelle zur Verfügung steht, setzt sich die angereicherte mikrobielle Population meist aus einem primären, Substrat verbrauchenden Stamm, welcher mehr als 90% der gesamten Population ausmacht, und aus einigen wenigen, meist 3 bis 5 untergeordneten Stämmen zusammen; die normalerweise weniger als 10 % der Kultur umfassen und nicht auf dem primären Substrat, sondern auf Ausscheidungs- oder Lyseprodukten des Hauptorganismus wachsen. In einem solchen stabilen Konsortium unterstützen und fördern die Sekundärorganismen meist das Funktionieren des Hauptstammes. Bis heute sind jedoch wenige mikrobielle Konsortien im Detail auf ihre Zusammensetzung und ihr Funktionieren untersucht worden. In eigenen Arbeiten wurde eine die Lösungsmittel Isopropanol, Azeton, Methanol und Methylchlorid abbauende bakterielle Mischkultur angereichert und eingehend untersucht [18]. Sie setzte sich aus zwei Hauptstämmen zusammen, welche für den Abbau aller vier Substrate verantwortlich waren. Dieses Resultat entspricht nicht den theoretischen Erwartungen nach denen mit 4 Substraten auch eine Kultur mit 4 Organismen im System angereichert werden sollte. Die beiden Hauptstämme wurden isoliert und einzeln charakterisiert. Anschliessende kinetische Experimente mit definierten Mischkulturen der zwei Bakterien und Substratgemischen zeigten, dass das Verhalten der Mischkultur mit guter Übereinstimmung aus dem Wachstumsverhalten der Reinkulturen vorausgesagt werden konnte.

Gegenwärtig werden mikrobielle Konsortien, welche primär aus Methan verwertenden Bakterien bestehen, untersucht. Solche Konsortien sind von besonderem Interesse für die mikrobielle Reinigung von stark verschmutzten Böden und Grundwasserleitern. Dies,

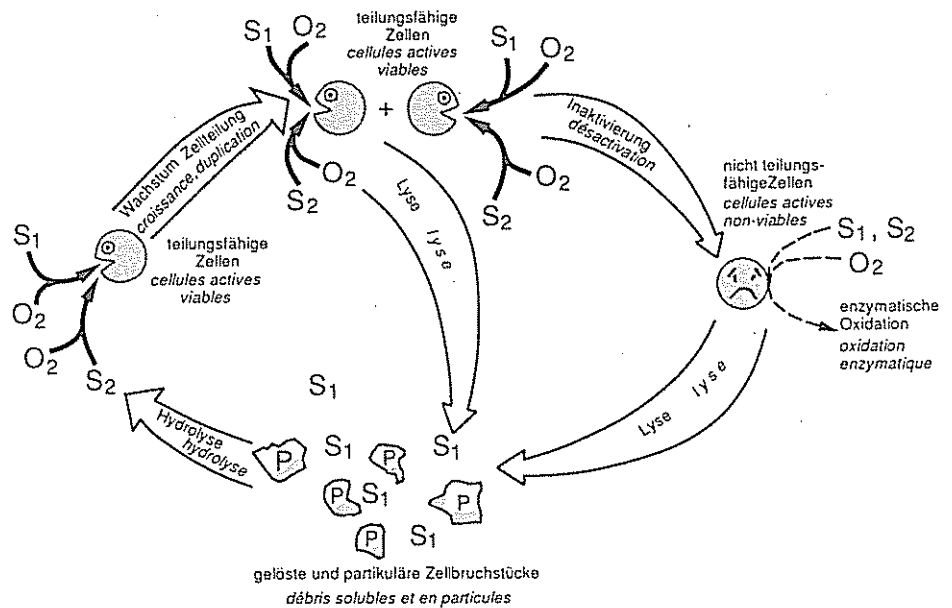


Fig. 3
 Tod durch Lyse und kryptisches Wachstum
 Destruction par lyse et croissance cryptique

weil Methan verwertende Bakterien dafür bekannt sind, dass sie eine Vielzahl von kohlenstoffhaltigen, chlorierten Schadstoffen zusammen mit ihrem Hauptwachstumssubstrat Methan kometabolisieren können. So wird momentan ihr Potential für *in situ* Bioaufbereitung aquatischer und terrestrischer Systeme untersucht [13].

3. GRADIENTEN UND TRANSIENTEN

Wachstum und Physiologie der Mikroorganismen werden im Labor unter möglichst konstanten Umweltbedingungen studiert. Mit der Entwicklung der Chemostattechnik gelang es auch, Kulturen während längerer Zeit in einem quasi-Fließgleichgewicht zu züchten. In natürlichen, wie auch in grosstechnischen Systemen sind die Mikroorganismen jedoch in Bezug auf die Umweltbedingungen nicht nur einem dauernden Wechsel, sondern auch sehr kleinräumigen, und oft steilen Gradienten ausgesetzt. Die meisten der zur Verfügung stehenden Daten über Physiologie von Mikroorganismen sind ohne detaillierte Berücksichtigung solcher Umweltbedingungen erarbeitet worden. Es besteht jedoch kein Zweifel, dass Mikroorganismen eine enorme Fähigkeit zur Anpassung an unterschiedliche Umweltfaktoren besitzen. Deshalb lassen sich Labordaten, welche auf quasi-Fließgleichgewichtswachstum beruhen, nicht

einfach auf natürliche Systeme übertragen.

Die Arbeiten an der Abt. Techn. Biol. im Problemkreis Gradienten und Transienten konzentrieren sich auf den Wechsel zwischen oxischen und anoxischen Wachstumsbedingungen. Als Modellorganismus wurde *Paracoccus denitrificans* gewählt, da die biochemische Charakterisierung dieses Organismus recht beachtlich ist. Unser Interesse galt in erster Linie dem Energiestoffwechsel (d.h. dem Übergang von Sauerstoffatmung zur Denitrifikation) und dem Einfluss der Kohlenstoff- und Stickstoffquellen. Während der Wechsel von anoxischem auf oxisches Wachstum für die Organismen keine grösseren Anpassungsprobleme zu verursachen scheint, ist der umgekehrte Wechsel für Chemostatkulturen nur beim Wachstum mit bestimmten Kohlenstoffquellen (z.B. Pyruvat, Succinat, nicht aber Glukose) möglich.

In Bezug auf die Praxis sind vor allem diejenigen Resultate aus diesem Arbeitsbereich interessant, welche versuchen die physiologischen Bedingungen zu definieren, unter denen die Denitrifikation bis zum Stickstoff abläuft. Es zeigte sich, dass Wechsel von oxischen zu anoxischen Wachstumsbedingungen auf Grund der unterschiedlichen Syntheseraten der einzelnen am Elektronentransport beteiligten Enzyme vorübergehend zur Produktion von Nitrit

la construction de systèmes de canalisation et de réseaux de distribution appropriés.

Il convient néanmoins d'approfondir les connaissances sur le sort des microorganismes libérés. L'extinction apparemment rapide de ces organismes, telle qu'elle est mesurée lors de tests bactériologiques normalisés en laboratoire, ne tient pas compte du fait que les microorganismes affamés peuvent développer des formes qui ne sont capables de se multiplier que dans certaines conditions. A l'heure actuelle, les travaux expérimentaux se concentrent sur l'élaboration d'une technique de décèlement des microorganismes fonctionnant indépendamment de leur état physiologique. De telles méthodes permettraient de mieux suivre le sort de microorganismes génétiquement manipulés parvenant dans l'environnement. Les travaux du département de Biologie technique sur l'accumulation d'organismes pathogènes dans les boues d'épuration seront présentés plus en détail sous le titre „facteurs de stress“.

5. INFLUENCE DES FACTEURS PHYSICO-CHIMIQUES SUR LE COMPORTEMENT DES MICROORGANISMES

Tous les organismes sont soumis à un large éventail de facteurs physiques et chimiques tributaires de l'environnement dans lequel ils se développent et fonctionnent. En ce qui concerne les microorganismes, ces facteurs n'influent pas seulement sur leur état physiologique, mais aussi sur le déroulement temporel de leur évolution physiologique. Trois des principaux facteurs déterminant la croissance et la physiologie des microbes sont analysés dans le cadre de nos programmes de recherche : la température, la lumière UV et l'activité de l'eau.

5.1 Traitement des boues d'épuration

D'un point de vue historique, notre intérêt pour les effets de l'accroissement de température sur les organismes mésophiles découle de l'ordonnance sur les boues d'épuration qui prescrit notamment leur hygiénisation (pasteurisation) avant leur épandage sur les champs et les prairies. Dans le cadre d'un programme national sur les boues d'épuration, le département de Biologie technique a lancé un programme de recherche inten-

sive concernant l'inactivation de bactéries pathogènes et la biodégradation de microbes mésophiles pendant un prétraitement thermophile aérobie des boues. En laboratoire, nous avons étudié le processus d'une dégradation thermophile aérobie des boues d'épuration dans des conditions contrôlées, de même que l'influence de la température de traitement, de la présence d'oxygène et du pH sur divers paramètres du processus. Il s'est avéré que, dans des conditions optimisées, une réduction allant jusqu'à 40% de la quantité finale de boue pouvait être atteinte en cas de bonne hygiénisation. Les résultats observés en laboratoire ont pu être transposés avec une relative efficacité sur de petites installations.

Ce travail a permis de mieux comprendre l'importance de la destruction de bactéries par cytolysse et le recyclage des produits résultant par d'autres bactéries (croissance cryptique) dans des processus de croissance microbiens techniques et naturels [14, 15] (fig.3). Les recherches concernant la destruction et la lyse des bactéries ont été étendues aux études fondamentales de l'action des températures supérieures à l'optimum de croissance sur la physiologie des bactéries mésophiles. Outre la question spécifique des réactions au choc thermique dans les bactéries [16], ces études comprenaient également des questions plus générales sur d'autres réactions au stress et au choc.

5.2 Traitement de l'eau potable

Depuis quelque temps, la survie et la croissance des microorganismes dans l'eau potable est examinée en fonction des radiations UV. Ces travaux découlent de recherches industrielles centrées sur la réinfection d'eau potable traitée à l'aide de rayons UV. Les données dont nous disposons aujourd'hui indiquent que les procédés standard appliqués à l'examen bactériologique d'eau potable désinfectée aux rayons UV ne fournissent pas, selon toute vraisemblance, une image réaliste des germes bactériens survivants et doivent donc être jugés avec prudence. Des vérifications sont en cours concernant l'incidence de rayonnements UV sur les bactéries lors du traitement de l'eau potable et la meilleure façon de contrôler ces effets au moyen de tests bactériologiques expérimentaux [17].

5.3. Facteurs de stress

Le troisième facteur physico-chimique étudié est l'influence de l'activité de l'eau sur la croissance et le fonctionnement de cellules bactériennes. Tandis que l'activité de l'eau évolue peu dans les écosystèmes aquatiques et y constitue donc rarement un facteur de stress, elle revêt une importance primordiale pour les processus de traitement biologique des échappements gazeux et l'épuration biologique des sols pollués.

Actuellement, le traitement biologique des gaz repose sur deux procédés différents : le bioscrubber et le biofiltre. Surtout dans les biofiltres, les microorganismes doivent fonctionner avec une activité de l'eau réduite. Les études de deux biofiltres sont aujourd'hui en cours. Dans l'un d'eux, le méthane est éliminé de l'air par une colonie méthanotrophe ; dans l'autre, le monoxyde de carbone est oxydé par une population bactérienne carboxyotrophe.

FORMATION PERMANENTE / ENSEIGNEMENT

Au cours des dix dernières années, les membres du département de Biologie technique ont assuré des cours post-grade en environnement et en biotechnologie générale à l'EPF de Zurich ou y ont apporté une contribution efficace. Ils ont également participé à des cours au Koweït, au Sri Lanka (avec le concours de l'International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, IHE Delft), à Hong-Kong (avec l'UNESCO) et à Zurich (avec DECHEMA). Outre l'enseignement régulier à l'EPFZ et à l'Université de Zurich, un cours de „Physiologie microbienne“ a aussi été dispensé à l'Université de Bâle au cours des deux dernières années dans le cadre d'un programme commun aux universités de Strasbourg, de Karlsruhe, de Fribourg et de Bâle.

SYMPOSIUMS

Trois symposiums internationaux ont été organisés par le département de Biologie technique pendant les années 80. Le premier, intitulé „IWTUS - 3, The Third International Waste Treatment and Utilization Symposium“, a eu lieu en août 1984 à la Chartreuse d'Ittingen. Les exposés ont été publiés [18]. Un deuxième s'est déroulé en 1988 à l'Institut de biologie végétale de l'Université de Zurich sur le thème de l'écotoxicolo-

und Distickstoffoxid führen. Die Menge des produzierten Distickstoffoxids wird dabei durch den pH Wert des Nährmediums, sowie durch die angebotenen Stickstoffquellen mit beeinflusst [10].

Auch wenn die Denitrifikation noch nicht zu einem wesentlichen Betriebsziel der schweizerischen Kläranlagen gehört, muss doch davon ausgegangen werden, dass neben der Nitrifikation auch Denitrifikation abläuft. Auch in natürlichen terrestrischen wie aquatischen Systemen ist Denitrifikation ein bedeutender Vorgang. Ein besseres Verständnis der Regelmechanismen bei der Entstehung von Distickstoffoxid ist deshalb wichtig. Nur auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass weder durch den Betrieb der Kläranlagen, noch durch Eingriffe in Ökosysteme eine Distickstoffproduktion in grösserem Umfang hervorgerufen wird. Eine Forderung die sich aus der schädigenden Wirkung als Treibhausgas und beim Abbau der Ozonschicht ergibt.

Für ein besseres Verständnis des Verhaltens von natürlichen mikrobiellen Populationen werden in Zukunft weitere Kenntnisse über transientes Verhalten, insbesondere auch von Übergängen zwischen Kohlenstoff-, Doppel- und Stickstofflimitationen notwendig sein. Auch die Bedeutung von Mikrogradienten darf nicht unterschätzt werden.

4. ÜBERLEBEN VON MIKROORGANISMEN IN NATÜRLICHEN ÖKOSYSTEMEN

Über das Schicksal von Mikroben und ihrer genetischen Information in Kläranlagen oder Abfall ist wenig bekannt. Noch bis in unser Jahrhundert hinein brachen selbst in Europa Epidemien aus, welche durch pathogene Mikroorganismen im Trinkwasser verursacht wurden. Die Reinigung, Aufbereitung und teilweise Entkeimung von Trinkwasser sowie der Bau von geeigneten Kanalisationssystemen und Verteilnetzen verhindern heute solche Probleme.

Trotzdem ist es wichtig, mehr über das Schicksal von freigesetzten Mikroorganismen zu wissen. Das scheinbar schnelle Absterben solcher Organismen, wie es durch die standardmässigen bakteriologischen Labortest gemessen wurde, berücksichtigt nicht die Tatsache, dass Mikroorganismen unter Hungerstress Formen ausbilden können, die nur bedingt vermehrungsfähig sind. Zur Zeit konzentrieren sich die experimen-

tellen Arbeiten auf die Bereitstellung einer Nachweisttechnik für Mikroorganismen, die unabhängig von deren physiologischen Zustand funktioniert. Solche Nachweismethoden würden auch erlauben das Schicksal von genetisch manipulierten Mikroorganismen, die in die Umwelt gelangen, besser zu verfolgen.

Die Arbeiten der Abt. Techn. Biol. über die Akkumulation von pathogenen Organismen im Klärschlamm werden unter dem Titel "Stressfaktoren" eingehender behandelt werden.

5. EINFLUSS VON PHYSIKALISCH-CHEMISCHEN FAKTOREN AUF DAS VERHALTEN VON MIKROORGANISMEN

Alle Organismen sind einem breiten Spektrum physikalischer und chemischer Umweltfaktoren, welche von der Umgebung abhängen in der sie wachsen oder funktionieren, ausgesetzt. Bei Mikroorganismen beeinflussen solche Faktoren nicht nur ihren physiologischen Zustand, sondern auch den zeitlichen Ablauf ihrer physiologischen Entwicklung. Drei der wichtigeren Faktoren, die Wachstum und Physiologie von Mikroben beeinflussen, werden im Rahmen unserer Forschungsprogramme untersucht, nämlich Temperatur, UV-Licht und Wasseraktivität.

5.1 Klärschlamm-Behandlung

Historisch gesehen entstand unser Interesse an den Wirkungen von erhöhten Temperaturen auf mesophile Organismen aus der Vorschrift der KVo (Klärschlammverordnung), welche eine Hygienisierung (Pasteurisierung) des Klärschlammes vor seiner Verteilung auf Äcker und Wiesen vorschreibt. Im Rahmen eines nationalen Klärschlamm-Programmes entstand in der Abt. Techn. Biol. ein intensives Prozessforschungsprogramm, welches sich mit der Inaktivierung von pathogenen Bakterien und dem biologischen Abbau mesophiler Mikroben in Klärschlamm während einer aerob thermophilen Schlammvorbehandlung befasste. Im Labor wurde der Prozess des aerob thermophilen Abbaus von Klärschlamm unter kontrollierten Bedingungen untersucht und die Einflüsse von Behandlungstemperatur, der Verfügbarkeit von Sauerstoff oder des pH auf verschiedene Prozessparameter studiert. Es zeigte sich, dass unter optimierten Bedingungen eine Reduktion

der Endmenge an Schlamm bis zu 40% bei guter Hygienisierung erreicht werden konnte. Die im Labor beobachteten Ergebnisse konnten mit relativ gutem Erfolg auf kleinere Anlagen übertragen werden.

Diese Arbeit führte zu einer zunehmenden Einsicht in die Bedeutung des Absterbens von Bakterien durch Zelllyse und die Wiederverwertung dieser Lyseprodukte durch andere Bakterien (kryptisches Wachstum) in technischen und natürlichen mikrobiellen Wachstumsprozessen [14, 15] (Fig. 3). Die Untersuchungen von Absterben und Lyse von Bakterien wurden auf grundsätzliche Studien über die Wirkung von Temperaturen über dem Wachstumsoptimum auf die Physiologie mesophiler Bakterien ausgedehnt. Diese Studien umfassten neben der spezifischen Frage nach Hitzeschock-Reaktionen in Bakterien (16) auch allgemeinere Fragestellungen über andere Stress- oder Schockreaktionen.

5.2 Trinkwasser-Behandlung

Seit einiger Zeit wird das Überleben und das weitere Wachstum von Mikroorganismen in Trinkwasser nach Einwirkung von UV-Licht untersucht. Diese Forschung ging aus Auftragsarbeiten der Industrie hervor, in denen die Wiederverkeimung von Trinkwasser, das mit Hilfe von UV-Bestrahlung aufbereitet wurde, im Zentrum stand. Unsere zum gegenwärtigen Zeitpunkt vorhandenen Daten deuten an, dass die heute zur bakteriologischen Prüfung von mit UV desinfiziertem Trinkwasser angewandten Standardverfahren wahrscheinlich nicht ein realistisches Bild der dabei überlebenden Bakterienkeime ergeben und dass sie deshalb mit Vorsicht zu behandeln sind. Es wird nun überprüft, welche Auswirkungen eine UV-Behandlung auf Bakterien bei der Aufbereitung von Trinkwasser hat und mit welchen bakteriologischen Testverfahren diese Effekte am besten überprüft werden können (17).

5.3 Stressfaktoren

Als dritter physikalisch-chemischer Faktor wird der Einfluss der Wasseraktivität auf das Wachstum und Funktion von bakteriellen Zellen untersucht. Während in aquatischen Ökosystemen die Wasseraktivität sich kaum ändert und deshalb selten ein Stressfaktor ist, wird bei biologischen Abluftbehand-

CHERCHEURS ACCELLIS PAR L'EAWAG GASTWISSENSCHAFTER 1990

Ahel, Marijan, Rudjer Bosković Institute
Zagreb, Yougoslavien

Brady, Patrick, Northwestern University,
Evanston, Illinois, USA

Dos Santos, Maria, Universidad de Bu-
enos Aires, Argentinien

Dumivant, Frank, Clemson University,
Clemson, SC, USA

Field, Jennifer, Colorado School of Mi-
nes, Golden, Colorado, USA

Fukushima, Takehiko, National Institute
for Env. Studies, Ibaraki, Japan

Gonçalves, Maria L.S., Instituto Superi-
or Tecnico, Lisboa, Portugal

Grenthe, Ingmar, The Royal Institute of
Technology, Stockholm, Schweden

Luther, Georg, University of Delaware,
USA

Morgan, James, California Inst. of
Technology, Pasadena, CA, USA

Peiffer, Stefan, Universität Bayreuth, D

Schmoor, Jerald, University of Iowa, USA

Seyfried, Birgit, Universität Ulm, D

Van Cappellen, Philippe, Yale Univer-
sity, New Haven, Connecticut, USA

Biotechnologie de l'environnement à l'EAWAG 1980 - 1990

gie en eaux douces („Workshop on Ecotoxicology of Freshwater Systems“) sous le patronage de l'European Science Foundation (ESF). Le troisième symposium, organisé sous le patronage de l'European Federation of Biotechnology (EFB) et avec le soutien financier de l'industrie chimique, a eu lieu en novembre 1988 à Weinfelden (TG) sous le titre „Mixed and Multiple Substrates and Feedstocks“. Les exposés de ce symposium ont également été publiés [19]. Un autre symposium, consacré à la „Microbial Growth Dynamics“, est prévu pour 1992 sous le patronage de l'EFB.

THÈSES

Entre 1985 et 1990, 10 thèses de doctorat ont été présentées à l'EPF par des candidats du département de Biologie technique sur des sujets relatifs à la biotechnologie de l'environnement. Ce nombre relativement élevé résulte notamment d'un apport important de financement étranger, car le département a reçu, au cours des dix dernières années, plus de 2 millions de francs du Fonds national, du Fonds de recherche de l'EPF, de COST et de divers fonds de l'industrie.

COLLABORATION AVEC L'INDUSTRIE

Le département de Biologie technique s'efforce d'entretenir des relations efficaces avec l'industrie sur le plan de la recherche. Nos travaux sont actuellement soutenus par Ciba Geigy SA, Shell (Suisse) SA et Lever SA. En dehors de ces contrats de longue haleine, des travaux à plus court terme ont été engagés pour des entreprises opérant dans le secteur de la désinfection des eaux et du traitement des boues d'épuration.

SUIVI ANALYTIQUE DES INCERTITUDES NUMÉRIQUES DANS LA SIMULATION DU PROCESSUS DE PRÉCIPITATION ET D'ÉCOULEMENT

WOLFGANG SCHILLING ET THOMAS EINFALT

L'hydrologie urbaine s'intéresse à la description quantitative du transport d'eau et de substances dans les milieux urbains. De même que les autres sciences naturelles appliquées, elle dispose d'outils tels que les mesures et les modèles numériques. Quoique très coûteuses, les mesures (sur le terrain) n'offrent pas toujours la précision requise. La modélisation constitue donc une alternative non seulement pour la recherche mais aussi dans la pratique.

A ce sujet, il est fondamental de pouvoir quantifier l'incertitude d'une grandeur appliquée dans un modèle (p. ex., débit ou concentration d'une substance). L'incertitude des résultats de la simulation peut varier sensiblement en fonction du degré de précision du modèle et de la qualité des données chiffrées à l'entrée. L'illustration, basée sur le calcul de 29 débits de pointe Q et volumes d'écoulement V, en fournit une démonstration exemplaire. On constate que les erreurs peuvent s'élever à plusieurs fois 100% en cas de modèles extrêmement simples.

En règle générale, un modèle de simulation en hydrologie urbaine contient des composantes permettant la préparation des grandeurs d'entrée (précipitations, charges de substance), ainsi que la description des processus partiels formation, concentration et transport des eaux d'écoulement. S'y ajoutent, le cas échéant, d'autres composantes qui décrivent les processus se déroulant dans des ouvrages particuliers, les stations d'épuration ou les eaux receptrices.

Pour évaluer les incertitudes, on peut appliquer une forme élargie du calcul de la propagation des erreurs, l'analyse des moments: les valeurs moyennes (valeurs escomptées, premiers moments) et la dispersion (variances, deuxièmes moments) des calculs du modèle sont exprimées en fonction des moments des grandeurs d'entrée.

La démarche de l'analyse des moments pourrait être démontrée de fa-

çon exemplaire à partir de l'analyse des incertitudes dans un modèle d'écoulement (approximation d'onde cinématique). Ce modèle est une composante du programme de simulation conçu à l'EAWAG et connu aujourd'hui en Suisse sous le nom de SASUM. L'onde cinématique est une simplification des équations de St-Venant pour les écoulements en rigoles (p. ex., égouts). Elle décrit le transport et la déformation des ondes d'écoulement. A l'aide de l'équation de rigidité selon Manning-Strickler, on obtient, pour le temps d'écoulement maximum dans une rigole,

$$t_{\max} = L b k_{st}^{-1} J^{-1/2} (d/dh (A^{5/3} P^{-2/3}))^{-1} [1]$$

L désignant la longueur de la rigole, b la largeur, k_{st} la rugosité, J la déclivité, h la hauteur d'eau, A la surface de la section traversée et P le périmètre mouillé.

suivi à page 12

lungsprozessen und bei der biologischen Reinigung von verschmutztem Boden die Frage der Wasseraktivität ($a_{H_2O} \equiv \{H_2O\} = \gamma [H_2O]$) von zentraler Bedeutung.

Für die biologische Behandlung von Gasen werden z.Zt. zwei verschiedene Prozessarten verwendet, Bioscrubber und Biofilter. Besonders in Biofiltern müssen Mikroorganismen bei stark reduzierter Wasseraktivität funktionieren. Zur Zeit laufen Untersuchungen an zwei verschiedenen Biofilter-Systemen. Dabei wird in einem Filter durch ein methanotrophes Konsortium Methan und in einem anderen Filter durch eine carboxytrrophe Bakterienpopulation Kohlenstoffmonoxyd aus Luft entfernt.

6. Weiterbildung/Lehre

Während des vergangenen Jahrzehnts haben Mitglieder der Abt. Techn. Biologie Nachdiplomstudienkurse an der ETH Zürich in Umwelt und allgemeiner Biotechnologie durchgeführt oder wesentlich hierzu beigetragen. Im weiteren wurden auch an Kursen in Kuwait, Sri Lanka (in Zusammenarbeit mit dem International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, IHE Delft), Hong Kong (gemeinsam mit UNESCO) und in Zürich (gemeinsam mit DECHEMA) mit gearbeitet.

Neben dem regulären Lehrbetrieb an ETHZ und Universität Zürich wurde auch in den letzten beiden Jahren ein Blockkurs „Mikrobielle Physiologie“ an der Universität Basel im Rahmen des gemeinsamen Biotechnologielehrplans der Universitäten Strassburg, Karlsruhe, Freiburg und Basel übernommen.

7. SYMPOSIEN

Während der 80er Jahre wurden durch unsere Abteilung drei internationale Symposien organisiert. Das erste in der Kartause Ittingen fand im August 1984 unter dem Titel „IWTUS - 3, The Third International Waste Treatment and Utilization Symposium“. Die angebotenen Beiträge wurden publiziert (18). Ein zweites wurde 1988 am Institut für Pflanzenbiologie der Universität Zürich zum Thema Ökotoxikologie in Süßwassersystemen: „Workshop on Ecotoxicology of Freshwater Systems“ unter dem Patronat der European Science Foundation (ESF) durchgeführt. Ein drittes Symposium organisierte die Abteilung technische Biologie unter dem Patronat der European Federation of Biotechnology (EFB) mit finanzieller Unterstützung der chemischen Industrie im November 1988 in Weinfelden TG unter dem Arbeitstitel „Mixed and Multiple Substrates and Feedstocks“. Die

Beiträge dieser Tagung wurden ebenfalls publiziert (19). Für 1992 ist ein weiteres Symposium unter dem Patronat der EFB mit dem Titel „Microbial Growth Dynamics“ geplant.

8. DISSERTATIONEN

Von 1985 bis 1990 wurden der ETH 10 Dissertationen von Kandidaten der Abteilung Techn. Biologie über Themen aus der Umweltbiotechnologie unterbreitet. Diese relativ hohe Zahl von Dissertationen war nicht unwesentlich durch den hohen Grad an Fremdfinanzierung möglich, wurden uns doch, in den vergangenen 10 Jahren über 2 Mio. Fr. aus dem Nationalfond, dem ETH Forschungsfonds, aus COST und verschiedenen Industriefonds zugeteilt.

9. ZUSAMMENARBEIT MIT DER INDUSTRIE

Die Abteilung Techn. Biologie bemüht sich um effiziente Forschungsbeziehungen mit der Industrie. Unsere Arbeit wird momentan von Ciba Geigy AG, Shell (Switzerland) AG und Lever AG unterstützt. Neben diesen längerfristigen Verträgen wurden kürzer dauernde Arbeiten für Firmen aus der Wasserdesinfektions- und Klärschlammprozessanlagenbranche übernommen.

[1] Kemmler J. & Egli T. 1990. Nitrilotriacetat-abbauende Mikroorganismen. GWF Wasser Abwasser 131: 251-255.
 [2] Verordnung über umweltgefährdende Stoffe (Stoffverordnung, StoV) vom 9. Juni 1986. Stand 1. April 1988. Herausgegeben von der Bundeskanzlei, 1988.
 [3] Egli T. *et al.* 1990. Microbial degradation of chelating agents used in detergents with special reference to nitrilotriacetic acid (NTA). Biodegradation, 2: 121-132.
 [4] Wanner U. *et al.* 1990. Isolation and growth of a bacterium able to degrade nitrilotriacetate (NTA) under denitrifying conditions. Biodegradation, 1: 31-41.
 [5] McFeters G.A. *et al.* 1990. Activity and adaptation of nitrilotriacetate (NTA)-degrading bacteria: field and laboratory studies. Water Res. 24: 875-881.
 [6] Hamer G. *et al.* 1989. Mixed substrates in environmental biotechnology. Experientia, 45: 1070-1078.
 [7] Al-Awadhi N. *et al.* 1990. The biooxidation of methanol, ethanol and isopropanol by a defined co-culture at elevated temperatures. Bioproc. Engng. 5: 39-45.

[8] Egli T. *et al.* 1986. Simultaneous Utilization of Methanol-Glucose Mixtures by *Hansenula polymorpha* in chemostat: Influence of Dilution Rate and Mixture Composition on utilization pattern. Biotechnol. Bioeng. 28: 1735-1741.
 [9] Snozzi M. *et al.* 1991. Microbial growth kinetics: comparison of experimental data with model. In: Proceedings of the Fourth Biothermokinetic Conference. Amsterdam. In Druck.
 [10] Omlin D. 1990. Denitrifikation und Assimilation von Nitrat bei *Paracoccus Denitrificans*: Untersuchungen zum Wechsel zwischen oxischen und anoxischen Bedingungen in kontinuierlicher Kultur. ETHZ Diss. Nr. 9348
 [11] Senn H.P. 1989. Kinetik und Regulation des Zuckerabbaus von *Escherichia coli* ML 30 bei tiefen Zuckerkonzentrationen. ETHZ Diss. Nr. 8831.
 [12] Bitzi U. *et al.* 1991. The Biodegradation of Mixtures of Organic Solvents by Mixed and Monocultures of Bacteria. Biotechnol. Bioengng. 37: 1037-1042.
 [13] Hamer G. & A. Heitzer, 1991. Polluted Heterogeneous Environments: Macro-Scale Fluxes, Micro-Scale Mechanis-

ms and Molecular Scale Control. In Environmental Biotechnology for Waste Treatment. 233-248. Plenum Press, New York.

[14] Mason C.A. *et al.* 1986. The death and lysis of microorganisms in environmental processes. FEMS Microbiol. Rev. 39: 373-401.
 [15] Hamer G. *et al.* 1987. Aerobe thermophile Vorbehandlung zur Hygienisierung von Klärschlamm - Der Abbau von mikrobiellen Feststoffen. Gas-Wasser-Abwasser, 67: 148-156.
 [16] Heitzer A., *et al.* 1991. Heat shock gene expression in continuous cultures of *Escherichia coli*. Minireview. J. Biotechnol. In Druck.
 [17] Mechsner K. & T. Fleischmann, 1990. Ultraviolettinfektion des Wassers und bakterielle Wiederverkeimung. Gas-Wasser-Abwasser, 70: 417-421.
 [18] Bryers J.D., *et al.* Eds. 1985. Waste Treatment and Utilization - 3. Proceedings of the Third International Waste Treatment and Utilization Symposium, Frauenfeld. Conservation and Recycling, 8: 1-324.
 [19] Hamer G. *et al.* 1990. „Mixed and Multiple Substrates and Feedstocks“ Hartung-Gorre Verlag, Konstanz.

ANALYTISCHE VERFOLGUNG NUMERISCHER UNSICHERHEITEN BEI DER MODELLIERUNG DES NIEDERSCHLAG-ABFLUSS-PROZESSES

WOLFGANG SCHILLING UND THOMAS EINFALT

Die Siedlungshydrologie befasst sich mit der quantitativen Beschreibung des Wasser- und Stofftransports in urbanen Gebieten. Ihr stehen dazu als Werkzeuge, wie jeder anderen angewandten Naturwissenschaft auch, *Messungen* sowie numerische *Modelle* zur Verfügung. Trotz der hohen Kosten von (Feld-) Messungen weisen diese häufig nicht die erforderliche Genauigkeit auf. Modellrechnungen sind daher mittlerweile nicht nur in der Forschung, sondern auch in der Ingenieurpraxis eine Alternative.

Dabei ist es von grundsätzlicher Bedeutung, die *Unsicherheit* einer in einem Modell verwendeten Prozessgrösse (z.B. Abfluss, Stoffkonzentration) *quantitativ* angeben zu können. Je nach verwendetem Detaillierungsgrad des Modells und der Qualität der Eingangsgrössen können sich die Unsicherheiten der Simulationsergebnisse stark unterscheiden. In der Abbildung auf Seite 12 ist dies für 29 berechnete Spitzenabflüsse Q und Abflussvolumina V eines Siedlungsgebietes exemplarisch demonstriert. Man erkennt, dass die Fehler bei Verwendung einfachster Modellansätze mehrere 100 Prozent betragen können.

In der Regel enthält ein siedlungshydrologisches Simulationsmodell Komponenten zur Aufbereitung der Eingangsgrössen (Niederschlag, Stofffrachten), sowie Beschreibungen der Teilprozesse Abflussbildung, -konzentration und -transport. Daran schliessen sich fallweise weitere Komponenten an, die Prozesse in Sonderbauwerken, Kläranlage oder Gewässer beschreiben.

Zur Abschätzung der Berechnungsunsicherheiten kann man eine erweiterte Form der Fehlerfortpflanzungsrechnung anwenden, die *Momentenanalyse*. Dabei werden die Mittelwerte (Erwartungswerte, erste Momente) und Streuungen (Varianzen, zweite Momente) von Modellberechnungen als Funktion der Momente der Eingangsgrössen ausgedrückt.

Exemplarisch sei hier die Vorgehensweise der Momentenanalyse anhand der Verfolgung der Unsicherheiten bei einem Abflustranportmodell (*kinematische Wellenapproximation*) demon-

striert. Dieses Modell ist eine Komponente des ursprünglich an der EAWAG entwickelten, heute in der Schweiz als *SASUM* verbreiteten Simulationsprogramms. Die kinematische Welle ist eine Vereinfachung der de St. Venant Gleichungen für Strömungen in Gerinnen (z.B. Abwasserkanal). Sie beschreibt den Transport und die Verformung von Durchflusswellen. Mit Hilfe des Reibungsansatzes nach Manning-Strickler erhält man daraus für die Fließzeit des Durchflussmaximums in einem Gerinne

$$t_{\max} = L b k_{st}^{-1} J^{-1/2} (d/dh (A^{5/3} P^{-2/3}))^{-1} [1]$$

wobei L die Gerinnelänge, b die Wasserspiegelbreite, k_{st} die Rauigkeit, J das Gerinnegefälle, h der Wasserstand, A die durchflossene Querschnittsfläche und P der benetzte Umfang sind.

Ziel der Momentenanalyse ist es, z.B. die Unsicherheit der Fließzeit t_{\max} (ausgedrückt als Varianz des Berechnungsfehlers) als Funktion der Fehlervarianzen der Eingangsgrössen L, k_{st}, J, h, A und P darzustellen. Für die Fließzeit t_{\max} erhält man dann nach Anwendung der für Erwartungs- und Varianzbildung gültigen statistischen Regeln:

$$s_{t_{\max}}^2 = u m_k^{-2} m_j^{-1} s_L^2 + u m_L^2 m_k^{-4} m_j^{-1} s_k^2 + u m_L^2 4 m_k^{-2} m_j^{-3} s_j^2 + v m_L^{-2} m_k^{-2} m_j^{-1} s_h^2 + w m_L^2 m_k^{-2} m_j^{-1} s_b^2 [2]$$

wobei u, v und w aus der Gerinnegeometrieberechnet werden. Die Grössen m und s^2 stehen für den Mittelwert bzw. die Streuung der jeweiligen Indexgrösse. Die Fehlervarianz kann mit diesem Ansatz nur ungefähr abgeschätzt werden, da [2] auf einer Taylorreihenapproximation erster Ordnung von [1] beruht

Wolfgang Schilling ist Mitglied der Arbeitsgruppe Siedlungshydrologie. Thomas Einfalt ist Mitarbeiter der Firma Rhea AG., Versailles, zurzeit als Gastwissenschaftler an der EAWAG.

Wolfgang Schilling dirige le groupe de travail Hydrologie urbaine. Thomas Einfalt est collaborateur de la Compagnie Rhea SA. Versailles et chercheur en visite à l'EAWAG

und ausserdem ggfs. vorhandene Korrelationen zwischen den verschiedenen Eingangsgrössen unberücksichtigt sind.

Mit [2] lassen sich nun Mittelwert und Streuung der Fließzeit für beliebige Gerinne abschätzen. Im folgenden Beispiel (Rechteckgerinne) werden angenommen als Mittelwerte für:

$$m_L = 50 \text{ m}, m_b = 1.0 \text{ m}, \\ m_{k_{st}} = 50 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}, m_j = 0.005 \\ \text{und als doppelte Standardabweichungen (95 \% Fraktile) der Schätzfehler der Eingangsgrössen für:} \\ 2 s_L = 0.05 \text{ m}, 2 s_b = 0.005 \text{ m}, \\ 2 s_{k_{st}} = 20 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}, 2 s_j = 0.0005, \\ 2 s_h = 0.05 \text{ m}.$$

Für zwei verschiedene Wasserstände $h = 0.4 \text{ m}$ bzw. 0.8 m erhält man dann $m_{t_{\max}} = 28.1 \text{ sec}$ bzw. $m_{t_{\max}} = 24.7 \text{ sec}$ und $2 s_{t_{\max}} = 11.4 \text{ sec}$ bzw. $2 s_{t_{\max}} = 10.0 \text{ sec}$. Mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% (1 von 20 Fälle) liegt die Fließzeit des Durchflussmaximums demnach zwischen 16,7 und 39,5 sec bzw. 14,7 und 34,7 sec.

Fernziel derartiger Untersuchungen ist es, einen Katalog von Berechnungsunsicherheiten verschiedener Modellkomponenten zusammenzustellen. Damit wäre es möglich, Modelle mit kalkulierbaren und angemessenen Simulationsunsicherheiten zu bilden. Weiterhin liesse sich aufdecken, welche Modellkomponenten primär verbessert werden müssen (z.B. durch Kalibrierung mit Messungen), um mit relativ geringem Aufwand weniger unsichere Simulationsergebnisse zu erzielen. Dem Praktiker wäre damit ein Instrument gegeben, den Aufwand für die Erstellung eines Modells bestimmter Genauigkeit mit der erforderlichen Modellgenauigkeit bereits vor der Anwendung vergleichen zu können.

Laura Sigg, Professeur de l'EPFZ

Le Conseil fédéral a décerné à Madame Laura Sigg le titre de Professeur de l'EPFZ. Madame Sigg a étudié la chimie à l'Université de Berne et soutenu sa thèse de doctorat dans le domaine de la chimie aquatique (1979). Elle a poursuivi sa formation à l'Institut de chimie analytique et d'océanographie chimique de l'Université de Goeteborg (Suède). Depuis 1981, elle dirige le département d'analyses chimiques de l'EAWAG et est que privat-docent depuis 1986. L'an dernier, elle a passé un semestre sabbatique à l'Institute of Technology du Massachusetts (USA).

Madame Sigg jouit d'une réputation internationale dans le domaine de la recherche appliquée à la chimie aquatique et à la limnologie chimique. Ses travaux de recherche se sont concentrés sur la dynamique chimique des métaux lourds dans les lacs et les cours d'eau (en particulier la régulation de la concentration). Le problème concerne l'accélération, régionale et parfois globale, d'origine anthropogène, des cycles d'éléments métalliques (bioessentiels et toxiques) en traces. Ces analyses ont conduit également à des expériences sur les interactions entre métaux et organismes, notamment avec des surfaces d'algues. Mme Sigg a montré qu'il existait aussi une „chimie aquatique“ dans l'atmosphère. Cela a largement contribué à améliorer la compréhension des réactions atmosphériques et des processus chimiques dans l'eau atmosphérique (nuages, pluie, brouillard).

Les travaux scientifiques de Mme Sigg se distinguent par la combinaison interdisciplinaire de la chimie aquatique, de la chimie des surfaces, de l'analyse chimique et de la limnologie chimique. Les résultats de ces recherches revêtent une grande importance pour la compréhension du couplage des cycles biogéochimiques par la matière vivante, des corrélations entre l'eutrophisation des lacs et la dynamique de l'élimination des métaux

lourds, et de l'écotoxicologie des métaux. Les modèles élaborés pour les lacs peuvent être transposés à la régulation de la concentration des métaux lourds dans les mers.

Madame Sigg a participé à l'élaboration d'un programme de cours sur la chimie aquatique ; elle est co-auteur du manuel conçu à cet effet, „Aquatiscie Chemie“, 2^{ème} édition VdF Zurich et Teubner Stuttgart (1991).

Prof. Dr. Laura Sigg

Der Bundesrat hat Frau PD Dr. Laura Sigg den Titel einer Professorin der ETHZ verliehen. Frau Sigg hat an der Universität Bern Chemie studiert und auf dem Gebiete der aquatischen Chemie am Institut für Gewässerschutz und Wassertechnologie der ETHZ (c/o EAWAG) doktoriert (1979). Sie hat als Postdoktorandin am Institut für analytische Chemie und chemische Ozeanographie der Universität Göteborg (Schweden) ihre Ausbildung fortgesetzt. Seit 1981 leitet sie den Fachbereich Chemische Analytik der EAWAG und ist seit 1986 Privatdozentin. Letztes Jahr verbrachte sie einen Sabbat-Urlaub am Massachusetts Institute of Technology in USA.

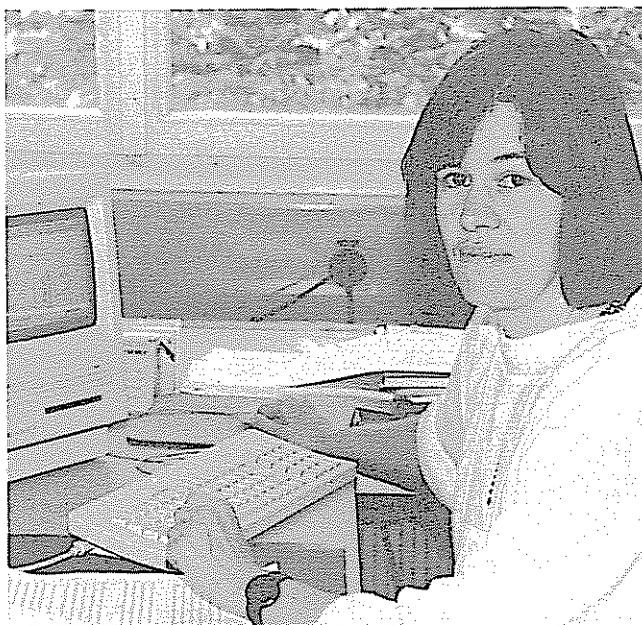
Frau Sigg ist eine international anerkannte Forscherin auf dem Gebiete der aquatischen Chemie und der chemischen Limnologie. Ihre Forschung hat sich konzentriert auf die chemische Dynamik der Schwermetalle in Flüssen und Seen (insbesondere die Regulierung der Konzentrationen). Die Problemstellung betrifft die regionale und zum Teil globale zivilisatorisch bedingte Beschleunigung der Kreisläufe metallischer (bioessentieller und toxischer) Spurenelemente. Diese Untersuchungen haben zu zusätzlichen Experimenten über die Wechselwirkung von Metallen mit Organismen, insbesondere mit Algen und deren Oberflächen geführt. Frau Sigg hat gezeigt, dass es auch in der Atmosphäre eine „aquatische

Chemie“ gibt. Dies hat wesentlich zur verbesserten Kenntnis der atmosphärischen Reaktionsabläufe und der chemischen Prozesse in atmosphärischem Wasser (Wolken, Regen, Nebel) beigetragen.

Die wissenschaftlichen Arbeiten von Frau Sigg zeichnen sich durch interdisziplinäre Verknüpfung von aquatischer Chemie, Oberflächenchemie, chemischer Analytik und chemischer Limnologie aus. Die Resultate solcher Forschungsarbeiten sind von grösster Bedeutung für das Verständnis der Koppelung biogeochemischer Kreisläufe durch Biota, des Zusammenhangs zwischen der Eutrophierung der Seen und der Dynamik der Schwermetallelimination und der Ökotoxi-

kologie der Metalle. Die für die Seen ausgearbeiteten Modelle lassen sich auch auf die Konzentrationsregulierung der Schwermetalle in den Meeren übertragen.

Frau Sigg beteiligte sich stark beim Aufbau der Vorlesungsserie „Aquatiscie Chemie“ und ist Koautorin des dazu ausgearbeiteten Textbuches „Aquatiscie Chemie“, 2. Auflage VdF Zürich und Teubner Stuttgart (1991).



**Second European Junior Scientist Workshop in Kastanienbaum/Luzern, 4 - 7 April, 1991 on:
HYDROLOGICAL AND POLLUTIONAL ASPECTS OF STORMWATER INFILTRATION**

Aspects hydrologiques et écologiques de l'infiltration des hydrométéores

L'atelier se proposait d'offrir à de jeunes scientifiques l'occasion de débattre intensivement le thème de l'infiltration des hydrométéores. Les aspects abordés étaient:

- Techniques d'infiltration
- Phénomènes hydrologiques/hydrauliques
- Processus de transport des substances dans les zones non saturées du sol
- Synergie des substances
- Simulation des processus

L'atelier était soutenu par l'EAWAG et le groupe de travail „Source Control for Stormwater Management“ de l'IAHR/IAWPRC Joint Committee on Urban Storm Drainage. Les résultats seront communiqués dans les publications de l'EAWAG.



17 collègues de 5 pays d'Europe ont participé aux conférences et aux discussions en groupe. La priorité était accordée à l'échange d'informations entre ingénieurs et scientifiques.

VORTRÄGE/CONFÉRENCES

Session 1

1. *Per Jacobsen (Lynby, DK)*: Improvement of combined sewer systems by stormwater infiltration
2. *Govert G. Geldof (Deventer, NL)*: Methods of reducing the storm sewage overflows
3. *Peter Steen Mikkelsen (Lynby, DK)*: Design/modelling of stormwater infiltration
4. *Vladimir Krejci (EAWAG)*: Administrative aspects of stormwater infiltration in Switzerland
5. *Peter Huggenberger (EAWAG)*: Ground probing radar for site investigations

Session 3

1. *Carmel Berry (Coventry, UK)*: Rainfall loss mechanisms in porous pavement - reservoir structures
2. *Andreas Schwager (EAWAG)*: Monitoring of hydraulic processes in unsaturated soils
3. *David Watkins (Oxfordshire, UK)*: Modelling the hydraulic design and performance of soakaways
4. *Matthias Grottker (EAWAG)*: Technical requirements on infiltration systems derived from hydrological and pollutional processes
5. *Wolfgang Durner (Bayreuth, FRG)*: New concepts for the functional description of soil hydraulic properties and for the modeling of pollutant transport during stormwater infiltration into multiporosity soils

Session 5

1. *Jürgen Förster (Bayreuth, FRG)*: Roof runoff pollution
2. *Peter Steen Mikkelsen (Lynby, DK)*: Pollutant transport in stormwater infiltration
3. *Richard Rohlfing (Hannover, FRG)*: Transport of organic pollutants in unsaturated zones
4. *Roland Hollerung (Scherte-Geisecke, FRG)*: Transport and fate of trace metals as a result of redox changes in groundwater

GRUPPENDISKUSSIONEN / DISCUSSIONS DE GROUPE

Berichterstater und Thema/ Rapporteur et thème

Session 2

- *Govert G. Geldof*: drainage philosophy
- *Peter Huggenberger*: administrative problems / ideal procedure
- *Peter Steen Mikkelsen*: hydrologic efficiency

Session 4

- *Andreas Schwager*: field tests
- *Carmel Berry*: best technical solution
- *David Watkins*: quantity modelling

Session 6

- *Jürgen Förster*: priority of pollutants
- *Richard Rohlfing*: „fate“ modelling
- *Roland Hollerung*: research needs

Der Workshop wurde mit dem Ziel durchgeführt, jungen Wissenschaftlern intensive Diskussionen zum Thema Meteorwasserversickerung zu ermöglichen. Zu den folgenden Aspekten wurden Beiträge erwartet:

- Versickerungstechniken
- Hydrologische/hydraulische Phänomene
- Transportprozesse von Stoffen in der ungesättigten Bodenzone
- Synergismus von Stoffen
- Modellierung der Prozesse

Der Workshop wurde von der EAWAG und der task group on „Source Control for Stormwater Management“ des IAHR/IAWPRC Joint Committee on Urban Storm Drainage unterstützt.

17 Kollegen aus 5 Ländern Europas nahmen an den Vorträgen und Gruppendiskussionen teil. Im Vordergrund stand der Informationsaustausch zwischen Ingenieuren und Naturwissenschaftlern. Die Ergebnisse sollen in der EAWAG Schriftenreihe veröffentlicht werden.

Matthias Grottker

10^{ÈME} ANNIVERSAIRE DU COURS POST-GRADE DE GÉNIE SANITAIRE ET PROTECTION DES EAUX

THOMAS EGLI

Au cours de l'année 1980/81 eut lieu à l'EAWAG (institut d'hydrotechnologie et de protection des eaux) le premier cours post-grade de génie sanitaire et de protection des eaux, avec le concours de l'Institut d'hydromécanique et d'aménagement des eaux de l'EPF Zurich. Ce cours est destiné à fournir une formation complémentaire interdisciplinaire aux scientifiques et ingénieurs opérant ou désireux d'opérer dans les différents domaines du génie sanitaire et de la protection des eaux (aujourd'hui aussi la protection de l'environnement en général). La priorité est accordée à la compréhension des problèmes et des corrélations multidisciplinaires, afin que soit favorisée la collaboration entre les représentants des différents domaines. Le cours a aussi pour objectif d'élargir la formation de base des participants, en permettant aux techniciens de mieux comprendre les phénomènes écologiques et aux scientifiques de découvrir les aspects techniques de la protection des eaux et du génie sanitaire. Pour garantir ce caractère interdisciplinaire complémentaire, la sélection des candidats vise à un amalgame optimal des formations de base représentées.

Créé avant tout par les Professeurs E. Trüeb et W. Stumm, ce cours suscita d'emblée un vif intérêt, car vingt candidats purent être accueillis dès la première année. Depuis lors, une quinzaine de participants y étudient en moyenne chaque année (tableau 1). En 1980, 18% d'entre eux étaient du sexe féminin, ce qui correspond tout à fait à la proportion des étudiantes de l'EPFZ. Il faut toutefois noter que la grande majorité de ces étudiantes n'avaient pas reçu leur formation initiale à l'EPFZ, mais dans des universités de Suisse et de l'étranger.

En ce qui concerne la formation des participants, les ingénieurs agronomes et les biologistes (dont un tiers sont biochimistes et microbiologistes) représentent en gros la moitié de tous les participants, suivis par les géologues et les ingénieurs du génie civil. La composition des groupes successifs révèle une nette évolution sur le plan de la formation initiale : le nombre des géologues s'est en effet accru au cours des quatre dernières années, passant de un en

moyenne à quatre, voire six, par an, tandis que le nombre des chimistes et des représentants du génie civil tend à décroître. Il n'y a toutefois pas encore lieu de parler d'un véritable revirement de tendance.

Il ressort des statistiques géographiques (tableau 3) que trois quarts environ des participants sont originaires de la Suisse. Les Suisses prédominaient surtout pendant les quatre premières années. Par la suite, le nombre des candidats d'Allemagne fédérale augmenta pour se stabiliser à trois ou quatre par an. Il est probable que le nombre des candidats en provenance des pays de l'Est, et surtout de Tchécoslovaquie, ira croissant au cours des années à venir.

Il est réjouissant de constater la forte augmentation du nombre des participants venant de la pratique et désireux de retrouver les bancs d'école et la théorie austère après parfois quelques années d'activité professionnelle. Ces participants se sont avérés très stimulants et indispensables à la réussite du cours, car ils apportent aussi bien aux participants qu'aux enseignants un lien direct avec l'application pratique de la matière.

Une liste récemment établie des coûts globaux d'un cours post-grade (3 trimestres = 32 semaines) a révélé qu'ils s'élevaient à 500 000 francs par cours, comprenant l'enseignement (excepté les professeurs de l'EPF), les stages, les voyages d'étude, le secrétariat et les interventions extérieures. N'y est pas incluse l'infrastructure de l'EPF et de l'EAWAG. A raison d'environ 1 000 heures, le coût d'une heure de cours

Tab. 2
Répartition des participants d'après la formation initiale

Formation	Nombre	%
Ingénieurs de génie rural	35	23.0
Biologistes classiques	25	16.5
Géologues	22	14.5
Ingénieurs civils	21	13.8
Biochimistes/ Microbiologistes	14	9.2
Chimistes	11	7.2
Physiciens	8	5.3
Ingénieurs chimistes	7	4.6
Autres	9	5.9

post-grade se chiffre à 500 francs. Le coût de la formation d'un enseignant s'élève à 33 000 francs en moyenne pour l'EPF/EAWAG.

De par la création à l'EPF des deux filières de sciences de l'environnement et de génie écologique, une partie du programme offert par le cours post-grade de génie sanitaire et de protection des eaux se voit naturellement couverte. Il faudra donc, à l'avenir, se demander à qui doit s'adresser ce cours. Les nouveaux scientifiques et ingénieurs de l'environnement formés par l'EPF sont-ils des participants potentiels ? Le cours doit-il être orienté spécifiquement vers ces nouveaux diplômés de l'EPF ? Sont-ce surtout des praticiens qui éprouveront le besoin de rafraîchir leurs connaissances et, dans ce cas, le cours doit-il s'adresser à ce public-cible ? Ces questions entraîneront vraisemblablement, au cours des années à venir, une modification des programmes et des structures du cours post-grade. Un groupe d'enseignants se préoccupe de ces problèmes et élabore actuellement des propositions de nouveaux programmes.

Au nom des enseignants et en qualité de secrétaire du cours post-grade, je remercie tous les participants de leur collaboration stimulante et j'espère que la théorie sera utile aux diplômés aujourd'hui sur le terrain. L'intensité de la collaboration entre étudiants et enseignants apparaîtra clairement dans cette inscription trouvée sur un tableau lors du cours post-grade (NDS) 1989/90:

NDS - NDES - ENDESS - ENDESESS - ENDE STRESS = fin de Stress !!!

Tab. 3
Statistique des pays

	Nombre	
venant de la Suisse	111	73%
Allemagne	21	14%
Grèce	4	
Pologne	3	
Yougoslavie	2	
Autriche	2	
États-Unis	2	
Danemark, Grande-Bretagne, Israël, Suède, Espagne, Tchécoslovaquie, Turquie (chacun)	1	13%
Total des étrangers	41	27%

10-JÄHRIGES JUBILÄUM DES NACHDIPLOMSTUDIUMS FÜR SIEDLUNGSWASSERBAU UND GEWÄSSERSCHUTZ

THOMAS EGLI, SEKRETÄR NDS

Im Studienjahr 1980/81 wurde an der EAWAG (Institut für Gewässerschutz und Wassertechnologie) gemeinsam mit dem Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft der ETH Zürich der erste Nachdiplomkurs für Siedlungswasserbau und Gewässerschutz durchgeführt. Ziel des Nachdiplomkurses ist eine interdisziplinäre Weiterbildung für Naturwissenschaftler und Ingenieure, die in den verschiedenen Bereichen der Siedlungswasserwirtschaft und des Gewässerschutzes (heute auch Umweltschutz allgemein) tätig sind oder sein wollen. Das Verständnis für multidisziplinäre Fragestellungen und Zusammenhänge werden in den Vordergrund gestellt, um die Zusammenarbeit zwischen den Vertretern der verschiedenen Fachgebiete zu fördern. Ein weiteres Ziel des Kurses ist es, den Absolventen eine breite Grundausbildung anzubieten, welche es einerseits technisch ausgebildeten Studenten ökologische Zusammenhänge zu verstehen ermöglichen soll und andererseits Naturwissenschaftlern die technischen Aspekte des Gewässerschutzes und des Siedlungswasserbaus näher bringt. Im Sinne einer solchen interdisziplinären ergänzenden Ausbildung wird bei der Auswahl der sich um Zulassung zum Studium bewerbenden Kandidatinnen und Kandidaten auf eine möglichst gute Durchmischung hinsichtlich der vertretenen Grundausbildungen geachtet.

Der vor allem durch die Professoren E. Trüb und W. Stumm ins Leben gerufene Kurs fand sofort regen Zuspruch, konnten doch schon im ersten Jahr 20 Kandidaten aufgenommen werden. Seitdem wurden jährlich durchschnittlich fünfzehn Absolventen ausgebildet (Tab. 1). Davon waren knapp 18% weiblich, was ziemlich genau dem Anteil an Studentinnen an der ETH-Zürich entspricht. Hier ist jedoch anzumerken, dass der überwiegende Teil dieser Absolventinnen nicht durch die ETH, sondern durch Universitäten in der Schweiz und im Ausland ihre Grundausbildung erhielten.

In Bezug auf die Ausbildung der Absolventen stellen die Kulturingenieure und die Biologen (ca. 1/3 davon sind Biochemiker und Mikrobiologen) rund

Tab. 1
Zahl der NDS-Absolventen im Verlauf der zehn Kurse.
Nombre des participants des 10 derniers cours

Kursjahr Cours années	♀	♂
1980/81	2	18
1981/82	1	13
1982/83	1	6
1983/84	2	13
1984/85	4	9
1985/86	2	14
1986/87	5	15
1987/88	4	15
1988/89	-	13
1989/90	6	9
Total	27	125

Tab. 2
Zusammenstellung der Grundausbildung der bisherigen NDS-Absolventen.

Ausbildung	Anzahl	%
Kulturingenieure	35	23.0
Klassische Biologen	25	16.5
Erdwissenschaftler	22	14.5
Bauingenieure	21	13.8
Biochemiker/ Mikrobiologen	14	9.2
Chemiker	11	7.2
Physiker	8	5.3
Chemieingenieure	7	4.6
Andere	9	5.9

Tab. 3
Länderstatistik

Schweiz	111	73%
Deutschland	21	14%
Griechenland	4	
Polen	3	
Yugoslawien	2	
Österreich	2	
USA	2	
Dänemark, Grossbritannien, Israel, Schweden, Spanien, Tschechoslowakei, Türkei je 1	1	13%
Total Ausländer	41	27%

die Hälfte aller Teilnehmer, gefolgt von den Erdwissenschaftlern und den Bauingenieuren. Die Zusammensetzung der verschiedenen Kurse bezüglich der Grundausbildung der Absolventen zeigt eine eindeutige Verschiebung; die Zahl an Erdwissenschaftlern stieg nämlich in den letzten vier Jahren von durchschnittlich einem auf vier bis sechs Kursteilnehmer pro Jahr an. Die Zahl der Chemiker und Bauingenieure hat im gleichen Zeitraum leicht abgenommen. Von einer eigentlichen Trendwende kann jedoch bis jetzt noch nicht gesprochen werden.

Aus der Länderstatistik (Tab. 3) geht hervor, dass etwa dreiviertel aller Absolventen aus der Schweiz stammt. Besonders in den ersten vier Jahren dominierten die Schweizer Teilnehmer. Danach war ein starker Anstieg der Bewerber aus der Bundesrepublik Deutschland festzustellen, die seither jedes Jahr drei bis vier Absolventen stellt. Es wird erwartet, dass in den nächsten Jahren die Zahl der Bewerber aus den osteuropäischen Ländern, vor allem aus der Tschechoslowakei, ansteigen wird.

Erfreulich ist, dass die Zahl der aus der Praxis kommenden Absolventen, welche sich nach z.T. etlichen Jahren erfolgreicher praktischer Betätigung entschieden haben wieder die Schulbank zu drücken und trockene Theorie zu büffeln, im Laufe der letzten Jahre deutlich anstieg (Fig. 1). Diese Teilnehmer haben sich für einen stimulierenden und erfolgreichen Verlauf der Kurse als äusserst wichtig erwiesen, vermitteln sie doch sowohl den Dozenten als auch den Mitstudenten einen direkten Bezug zur Anwendung des Lehrstoffes.

Eine kürzlich erstellte Liste der gesamten Kosten eines Nachdiplomstudiums (3 Trimester = 32 Wochen) ergab, dass sich die Kosten pro Kurs auf ca. SFr. 500'000.- belaufen. Dies beinhaltet die Kosten für Dozenten (mit Ausnahme der ETH-Professoren), Praktika, Exkursionen, Sekretariat und auswärtige Referenten einer NDS-Seminarreihe. Nicht inbegriffen in diesen Kosten ist die Infrastruktur der ETH und der EAWAG. Bei einer Kontaktstundenzahl von ca. 1000 belaufen sich also die Kosten für eine NDS-Stunde auf SFr. 500..

Die Kosten für die Ausbildung eines Absolventen betragen für die ETH/EA-WAG durchschnittlich SFr. 33'000.-.

Mit den neu an der ETH eingerichteten Studienrichtungen der Umweltnaturwissenschaftler und der Umweltingenieure wird natürlich in Zukunft ein Teil des Spektrums des durch das NDS Siedlungswasserbau und Gewässerschutz angebotenen Ausbildungsprogramms abgedeckt. Es wird sich also in näherer Zukunft wieder die Frage stellen, auf welches Zielpublikum der NDS auszurichten ist. Sind die neu ausgebildeten Umweltnaturwissenschaftler und Umweltingenieure potentielle Absolventen des NDS? Muss in Zukunft das NDS spezifisch auf diese neuen ETH-Absolventen ausgerichtet werden, um ihnen eine zusätzliche Ausbildung und Fachvertiefung anzubieten? Werden in Zukunft vor allem Leute aus der Praxis des Bedürfnis haben, ihr Wissen wieder aufzufrischen, und soll der Kurs auf dieses Zielpublikum ausgerichtet werden? Solche Fragen werden in den nächsten Jahren wahrscheinlich eine Änderung des Lehrangebotes und der Struktur des bisherigen NDS bewirken. Eine Gruppe von Dozenten befasst sich mit diesen Problemen und ist daran, alternative Vorschläge zum heutigen Programm auszuarbeiten.

Im Namen der Dozenten danke ich als Sekretär des NDS all den motivierten Absolventen für die stimulierende Zusammenarbeit und hoffe, dass die trockene Schulbanktheorie den heute in der

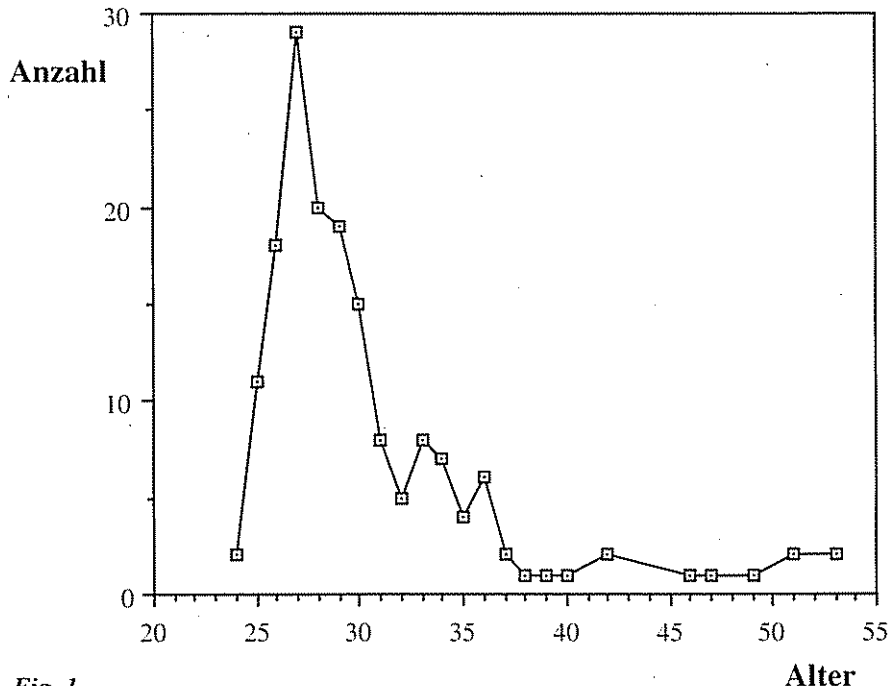


Fig. 1

Répartition de l'âge des participants au cours des onze années. L'âge des participants et participantes (fin du cours) oscillait entre 24 et 53 ans (moyenne sur 11 années: 30,2 ans, moyenne d'âge par cours: entre 28 und 33 ans).

Alterstruktur der Teilnehmer und Teilnehmerinnen über die letzten 11 Kurse. Die AbsolventInnen waren zwischen 24 und 53 Jahre alt (Im Durchschnitt 30,2 Jahre, wobei das Durchschnittsalter je nach Kurs zwischen 28 und 33 Jahren variierte).

Praxis stehenden Absolventen von Nutzen ist. Dass die Intensität der Zusammenarbeit zwischen Studenten und Do-

zenten nichts zu wünschen übrig lässt, ist aus einem Wandtafel Sgrafitti des NDS 1989/90 ersichtlich:

**NDS - NIDES - ENDESS -
ENDESESS - ENDESTRESS -
ENDESTRESS - Ende Stress !!!**

PUBLICATIONS DE L'EAWAG

Les publications peuvent être obtenues sur demande, jusqu'à épuisement du stock, à la bibliothèque de l'EAWAG (tél. 01-823 5031)

PUBLIKATIONEN DER EAWAG

Solange Vorrat sind Separata auf Anfrage bei der Bibliothek der EAWAG (Tel 01-823 5031) erhältlich

1512
Hering, Janet, Stumm, W.: Oxidative and Reductive Dissolution of Minerals. Reviews in Mineralogy 23, 427-465 (1990)

1513
Beer, J., Blinov, A., Bonani, G., Finkel, R. C., Hofmann, H. J., Lehmann, B., Oeschger, H., Sigg, A., Schwander, J., Staffelbach, T., Stauffer, B., Suter, M., Wölfli, W.: Use of ¹⁰Be in Polar Ice to Trace the 11-Year Cycle of Solar Activity. Nature 347 (No. 6289) 164-166 (1990)

1514
Pahl-Wostl, Claudia, Imboden, D. M.: DYPHORA-A Dynamic Model for the Rate of

Photosynthesis of Algae. J. Plankton Res. 12, 1207-1221 (1990)

1515
Gammeter, Sonja, Frutiger, A.: Short-Term Toxicity of NH₃ and Low Oxygen to Benthic Macroinvertebrates of Running Waters and Conclusions for Wet Weather Water Pollution Control Measures. Water Sci. Technol. 22 (10/11) 291-296 (1990)

1516
Giger, W.: Anreicherungsverhalten von Tensiden in Klärschlamm, Böden und Sedimenten. Münchener Beiträge zur Abwasser, Fischerei- & Flussbiologie 44, 414-429 (1990)

1517
Fruhen, Maria, Christan, E., Gujer, W., Wanner, O.: Significance of Spatial Distribution of Microbial Species in Mixed Culture Biofilms. Water Sci. Technol. 23, 1365-1374 (1991)

1518
Wanner, Ursula, Kemmler, Judith, Weilenmann, H. U., Egli, T., El-Banna, T., Auling, G.: Isolation and Growth of a Bacterium Able to Degrade Nitrilotriacetic Acid Under Denitrifying Conditions. Biodegradation 1, 31-41 (1990)

1519
Al-Awadhi, N., Egli, T., Hamer, G., Mason, C. A.: The Process Utility of Thermotolerant

Methylotrophic Bacteria: II. An Evaluation of Transient Responses. *Biotechnol. Bioengng.* 36, 821-825 (1990)

1520

Wehrli, B., Ibric Slavica, Stumm, W.: Adsorption Kinetics of Vanadyl(IV) and Chromium(III) to Aluminum Oxide: Evidence for a Two-Step Mechanism. *Colloids and Surfaces* 51, 77-88 (1990)

1521

Eglin, S.W.T.: "Die Zusammensetzung und kleinräumige Verteilung der Makroinvertebratenzoenose eines natürlichen, voralpinen Fließgewässers (Thur) in Abhängigkeit vom Nahrungsangebot und der Sedimentstruktur"; Diss. ETH Nr. 9242, Zürich, 1990.

1522

Strauss, M.: Food from Waste. *World Health Forum* 11, 46-59 (1990)

1523

van Senden, D. C., Portielje, R., Borer, A.,

Ambühl, H., Imboden D.M.: Vertical Exchange due to Horizontal Density Gradients in Lakes; The Case of Lake Lucerne. *Aquatic Sciences* 52, 381-398 (1990)

1524

Heitzer, A., Mason, C. A., Snozzi, M., Hamer, G.: Some Effects of Growth Conditions on Steady and Heat Shock Induced htpG Gene Expression in Continuous Cultures of *Escherichia Coli*. *Arch. Microbiol.* 155, 7-12 (1990)

1525

Hamer, G.: Biotechnology: Victim or Beneficiary of Economic Policy? In: "5th European Congress on Biotechnology". Christiansen, C., Minck, L., Villadsen, J. (Eds.) Munksgaard, Copenhagen 1990; 872-877.

1526

Haener, A., Mason, C. A., Hamer, G.: The Degradation of Bacteria During Aerobic Biotreatment. In: "5th European Congress on Biotechnology". Christiansen, C., Munck, L.,

Villadsen, J. (Eds.) Munksgaard, Copenhagen 1990; 667-670.

1527

Bundi, U.: Aktuelle Probleme des Gewässerschutzes in der Schweiz. *Umwelt-Information VGL No.4*, 3-10 (1990)

1528

Egli, T., Bally, M., Uetz, T.: Microbial Degradation of Chelating Agents Used in Detergents with Special Reference to Nitrilotriacetic Acid (NTA). *Biodegradation* 1, 121-132 (1990)

1529

Santschi, P., Höhener, P., Benoit, G., Buchholtz-ten Brink, Marilyn: Chemical Processes at the Sediment-Water Interface. *Marine Chemistry* 30, 269-315 (1990)

1530

Morgan, J. J., Stumm, W.: Chemical Processes in the Environment, Relevance of Chemical Speciation. In: "Metals and Their Com-

Participants au 11^{ème} cours de 3^e cycle en génie sanitaire et protection des eaux

Teilnehmende des 11. Nachdiplom- studiums in Siedlungswasserbau und Gewässerschutz



Les participants de l'onzième cours ont posé pour la photo traditionnelle muni de leur équipement de pêcheur dans la rivièrre longeant l'EAWAG (de gauche à droite):

Vordere Reihe / au 1^{er} rang: Reto von Schulthess, Michael Eugster, Susanne Rollwagen, Kurt Dornhöfer, Peter Lehmann, Christoph Steiner, Hans Georg Gsell, Cornelia Crespi, Joseph Schüpbach;

*2. Reihe / au 2^{ème} rang: Heinz Burger, Christian Kaiser, André Weidenhaupt, Karlheinz Diethelm, Christian Zurbrügg;
zuletzt / au 3^{ème} rang: Andres Elgorriaga und Adrian Holiencin; Auf dem Bild fehlt Peter Bертold.*

Der 11. Jahreskurs hat in voller Übungsmontur im Chriesbach für den traditionellen Phototermin posiert. Von links nach rechts:

CONTENU

Biotechnobiologie de l'environnement à l'EAWAG 1980-1990, *Geoffrey Hamer, Mario Snozzi et Thomas Egli* 2

Suivi analytique des incertitudes numériques dans la simulation du processus de précipitation et d'écoulement, *Wolfgang Schilling et Thomas Einfalt* 10

NOUVELLES

Professeur titulaire de l'EPFZ à Mme Laura Sigg 14

Aspects hydrologiques et écologiques de l'infiltration des hydrométéores (Second European Junior Scientist Workshop in Kastanienbaum/Luzern, Switzerland / 4 - 7 April, 1991) 15

10^{ème} Anniversaire du Cours post-grade de génie sanitaire et protection des eaux, *Thomas Egli* 16

Publications 1512-1533 18

INHALT

Umweltbiotechnologie an der EAWAG 1980-1990, *Geoffrey Hamer, Mario Snozzi und Thomas Egli* 1

Analytische Verfolgung numerischer Unsicherheiten bei der Modellierung des Niederschlag-Abfluss-Prozesses, *Wolfgang Schilling und Thomas Einfalt* 13

MITTEILUNGEN

Titularprofessortitel an Dr. Laura Sigg 14

Second European Junior Scientist Workshop in Kastanienbaum/Luzern, Switzerland / 4 - 7 April, 1991 on: Hydrological and Pollutional Aspects of Stormwater Infiltration 20

10-jähriges Jubiläum des Nachdiplomstudiums für Siedlungswasserbau und Gewässerschutz 17

Publikationen 1512-1533 18

pounds in the Environment". Merian, E. (Eds.) VCH, Weinheim 1991; 67-103.

1531

Stumm, W., Sulzberger, Barbara, Sinniger, J.: The Coordination Chemistry of the Oxide - Electrolyte Interface; The Dependence of Surface Reactivity (Dissolution, Redox Reactions) on Surface Structure. *Croatia Chemica Acta* 63, 277-312 (1990)

1532

McDow, S. R., Giger, W., Burtscher, H., Schmidt-Ott, A., Siegmann, H. C.: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Combustion Aerosol Photoemission. *Atmospheric Environment* 24A, 2911-2916 (1990)

1533

Omlin, Daniela Beatrice: "Denitrifikation und Assimilation von Nitrat bei *Paracoccus Denitrificans*: Untersuchungen zum Wechsel zwischen oxidischen und anoxischen Bedingungen in kontinuierlicher Kultur". Diss. ETH Nr. 9348, Zürich, 1990.

1534

Baccini, P., Diener, H.-P.: Kunststoffflüsse in der Schweiz. *Swiss Plastics* 13, 51-72 (1991)

1535

Fent, K., Müller, M. D.: Occurrence of Organotins in Municipal Wastewater and Sewage Sludge and Behavior in a Treatment Plant. *Environ. Sci. Technol.* 25, 489-493 (1991)

1536

Mechsner, Kl., Fleischmann, T., Mason, C. A., Hamer, G.: UV Disinfection: Short Term Inactivation and Revival. *Water Sci. Technol.* 24, 339-342 (1991)

1537

Fent, K., Lovas, R., Hunn, J.: Bioaccumulation, Elimination and Metabolism of Triphenyltin Chloride by Early Life Stages of *Minnows Phoxinus phoxinus*. *Naturwissenschaften* 78, 125-127 (1991)

Anmeldetalon für ein Abonnement:

NeuabonnentInnen willkommen! Zweimal jährlich erscheinen die Mitteilungen der EAWAG in deutsch und französisch und einmal jährlich in englisch.

Talon pour un abonnement:

Les nouveaux abonnés sont les bienvenus! Les Nouvelles de l'EAWAG paraissent deux fois par année en français et en allemand, et une fois par année en anglais.

AN DIE BIBLIOTHEK, EAWAG, CH - 8600 DÜBENDORF

Adresse:

- Adressänderung
Changement d'adresse
Bitte senden Sie mir die Mitteilungen der EAWAG an folgende Adresse.
 Veillez m'envoyer régulièrement les Nouvelles de l'EAWAG à l'adresse suivante.
- Bitte schicken Sie mir folgende Publikationen:
 Veillez m'envoyer les publications suivantes:

Name und Datum/ *Nom et date:*

Bevorzugte Ausgabe/Edition *préférée:*

deutsch/français english