

Pilotstudie zur Sanierung der drei Mittellandseen Baldegger-, Hallwiler- und Sempachersee

Ein Zwischenbericht

Th. Joller

Die Eutrophierung, ein mittlerweile bestbekanntes Problem unserer Seen, machte auch vor den drei Mittellandseen Baldegger-, Hallwiler- und Sempachersee nicht halt. Im Gegenteil, bedingt durch

- die industrielle Entwicklung in den Einzugsgebieten (was zu einem massiven Anstieg der Bevölkerung führte)
- die Veränderungen in den landwirtschaftlichen Produktionsmethoden (Intensivtierhaltung)
- charakteristische Eigenschaften dieser Seen (kleiner Durchfluss, geringe windinduzierte Mischung, grosse Tiefe im Vergleich zur Oberfläche)

verschlechterte sich der Seezustand in den letzten Jahrzehnten drastisch. Die Anfänge dieser Entwicklung können teilweise bis ans Ende des letzten Jahrhunderts zurückverfolgt werden. Der Baldeggersee steht daher im zweifelhaften Ruf, einer der überdüngtesten Seen der Schweiz zu sein. Mit einer Primärproduktion von 420 gC/m²/Jahr, einem Phosphatgehalt (Zirkulationswert) von ca. 0,5 mg/l, einer ganzjährigen Anaerobie des Hypolimnions und den entsprechenden Mengen an reduzierten Stoffen Tiefenwasser im Tiefenwasser (Methan, Ammonium, Sulfid) entspricht der Zustand des Baldeggersees bei weitem nicht mehr den Anforderungen des schweizerischen Gewässerschutzgesetzes.

Die Sanierung des Baldeggersees wurde von den zuständigen Stellen vor Jahren in Angriff genommen. Sie erfolgt auf vier verschiedenen Ebenen, entsprechend den verschiedenen Phosphorquellen, die die Überdüngung des Baldeggersees verursachen.

- Sanierung im Siedlungsgebiet
- Sanierung ländlicher Siedlungen
- Massnahmen in der Landwirtschaft (Düngerpraxis, Jauche-Verwertung)
- seeinternen Massnahmen

Etude pilote concernant l'assainissement des trois lacs sis sur le plateau central, soit les lacs de Baldegger, Hallwil et Sempach –

Rapport intermédiaire

Th. Joller

L'eutrophisation, devenue entre-temps un problème très connu de nos lacs, touche également les trois lacs se trouvant sur le plateau central, soit ceux de Baldegger, Hallwil et Sempach. A la suite

- du développement industriel dans les zones avoisinantes (ce qui a provoqué une croissance considérable de la population)
- des modifications survenues dans les méthodes de production agricoles (élevage intensif)
- des caractéristiques des lacs en question (renouvellement lent, mélange insignifiant provoqué par l'induction du vent, grande profondeur par rapport à la surface), l'état des lacs s'est gravement détérioré au cours des dernières décennies.

Les débuts de cette évolution remontent en partie à la fin du siècle passé. Ainsi, le lac de Baldegger par exemple, a la mauvaise réputation d'être un des lacs suisses le plus chargé d'engrais. Avec une production primaire de 420 g C/m²/an, une teneur en phosphate (valeur de circulation) d'env. 0,5 mg/l, et avec une anaérobie de l'hypolimnion continue pendant toute l'année y compris les quantités correspondantes de matières réduites dans les eaux profondes (méthane, ammonium, sulfure), l'état du lac de Baldegger ne correspond plus du tout aux exigences de la loi fédérale pour la protection des eaux.

L'assainissement du lac de Baldegger a été commencé par les autorités compétentes il y a déjà plusieurs années. Il se déroule à quatre niveaux différents, conformément aux différentes sources de phosphore qui causent la surcharge d'engrais du lac de Baldegger:

- assainissement dans les zones d'habitation
- assainissement d'agglomérations agricoles
- mesures à prendre dans l'agriculture (engrais, utilisation du purin)
- mesures à prendre à l'intérieur du lac.

Im folgenden ist die Rede von den *seeinternen Massnahmen*. Die Kantone Luzern und Aargau beauftragten die EAWAG, im Rahmen eines Gutachtens die Möglichkeiten zur Sanierung der obgenannten Seen zu studieren und optimale Massnahmen vorzuschlagen, Unter Leitung von Prof. H. Ambühl erarbeitete eine Gruppe, welche aus Mitarbeitern der Abteilung Limnologie und der Abteilung Multidisziplinäre limnologische Forschung/Erdwissenschaften (MLF) zusammengesetzt war, dieses Gutachten. Mit Hilfe eines mathematischen Seemodells (Imboden-Gaechter-Modell) wurden die verschiedenen Möglichkeiten simuliert und deren Wirkungen auf den See untersucht. Dabei erwies sich, dass für alle drei Seen eine *winterliche Zwangszirkulation* und *im Sommer eine Belüftung des Hypolimnions mit Sauerstoff* optimal sind. Beim Sempachersee werden die vorgeschlagenen Massnahmen ergänzt durch eine Tiefenwasserableitung.

Im Rahmen eines Wettbewerbes zur technischen Realisation dieser Massnahmen ergaben sich konkrete Vorschläge, Die Jurie gab den Projekt Tanytarsus, welches von der Ingenieurgesellschaft Jungo-Schaffner erarbeitet wurde, den Vorzug. 1982 wurden die verschiedenen Anlagen des Projektes Tanytarsus im Baldeggersee installiert und in einem Pilotversuch ausgetestet. Das Ziel der Pilotstudie ist es, in einem ersten Schritt die technischen Einrichtungen (siehe weiter unten) auf ihre technische und limnologische Funktionstüchtigkeit zu prüfen. In einer zweiten Phase sollen die Einrichtungen im Sinne einer Seesanieung in Betrieb genommen werden. Während des Pilotversuches wurde der See laufend von der EAWAG überwacht. Eine allgemeine limnologische Überwachung unter Aufsicht von Prof. H. Ambühl erfolgte durch monatliche Messung aller wichtigen limnologischen Parameter wie Temperatur, Leitfähigkeit, Phosphor- und Stickstoffkomponenten Methane und Sulfid. Zusätzlich wurden unter der Leitung von Dr. D. Imboden (MLF) Messungen zu Fragen der Mischung und des Transportes durchgeführt. (Mischungsprozesse im Baldeggersee sind ausführlich in den Mitteilungen der EAWAG, Ausgabe Nr. 13 vom Februar 1982, behandelt worden.

Zum Prinzip der Anlagen: In der Phase der Zwangszirkulation (Winter) wird Luft mittels dreier Düsen im Hypolimnion ins Wasser gepresst. Die dabei erzeugten Blasen steigen an die Seeoberfläche auf und erzeugen durch Mitreissen von Wasser aus dem Hypolimnion einen Wassertransport an die

Dans ce qui suit, il est question des *mesures à prendre à l'intérieur des lacs*. Les cantons de Lucerne et d'Argovie ont chargé l'EAWAG d'étudier les possibilités d'assainissement des trois lacs mentionnés sous forme d'une expertise et de proposer des mesures optimales. Sous la direction du Prof. H. Ambühl, un groupe composé de collaborateurs du Département limnologique et du Service de la Recherche limnologique multidisciplinaire/Sciences de la Terre (MLF) a élaboré cette expertise. A l'aide d'un modèle mathématique d'un lac (modèle Imboden-Gaechter), les différentes possibilités ont été simulées et leurs effets sur le lac ont été analysés. Il s'est révélé pour tous les trois lacs que *la circulation forcée pendant l'hiver et l'aération de l'hypolimnion avec de l'oxygène en été* représentent des solutions optimales. Pour le lac de Sempach, les mesures proposées sont complétées par l'installation d'un écoulement des eaux profondes.

Un concours organisé pour la réalisation technique de ces mesures a abouti à des propositions concrètes. Le jury a donné la préférence au projet *Tanytarsus* élaboré par la communauté d'ingénieurs Jungo-Schaffner. En 1982, les différents dispositifs du projet Tanytarsus ont été installés dans le lac de Baldegg et testés au moyen d'un essai pilote. Le but de cet essai pilote était d'examiner dans une première étape les installations techniques (voir plus bas) quant à leur fonctionnement technique et limnologique. Au cours d'une seconde phase, les installations devront être mises en fonction pour procéder à un assainissement du lac. Pendant l'essai pilote, le lac a été surveillé en permanence par l'EAWAG. Sous la surveillance du Prof. H. Ambühl, on a procédé à une surveillance limnologique générale en mesurant mensuellement tous les paramètres limnologiques importants comme la température, la conductibilité et les composants du phosphore et de l'azote. En plus, des recherches spéciales ont été exécutées sous la direction du Dr. Imboden (MLF) concernant certaines questions du mélange et du transport. (Certains processus de mélange dans le lac de Baldegg ont été traités en détail dans les nouvelles de l'EAWAG no 13 du mois de février 1982).

Explications concernant le principe des dispositifs: pendant la phase de la circulation forcée (en hiver), de l'air est pressé dans l'hypolimnion au moyen de trois injecteurs. Les bulles qui se forment au cours de ce processus montent à la surface du lac et provoquent ainsi par l'entraînement d'eau prove-



Fig. 1:

Baldeggersee, eingebettet zwischen den Hügeln der Erlösen und des Lindenberges.

Lac de Baldegg situé entre les collines des Erlösen et le Lindenberg.

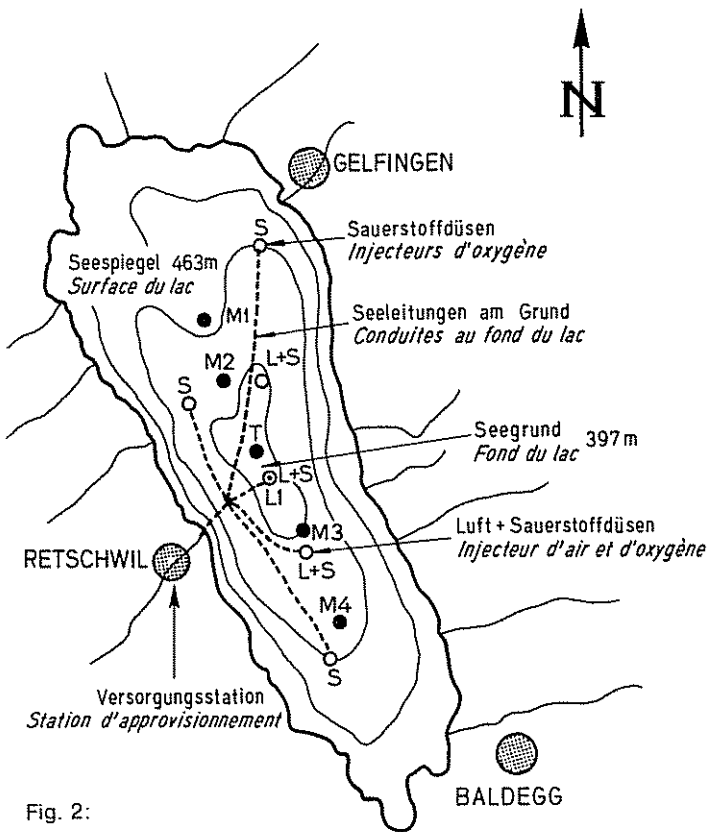


Fig. 2:

Baldeggersee:
Positionen der verschiedenen Düsen und die Versorgungsstation Retschwil.
M₁ Messstellen 1 bis 4; T Tiefste Stelle; S Sauerstoff; L Luft.

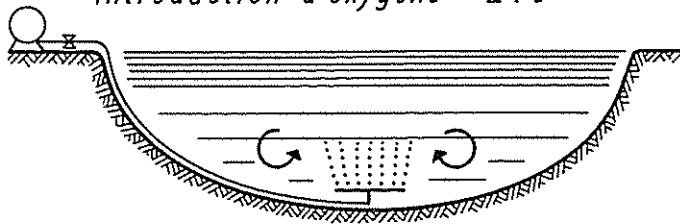
Lac de Baldegg:
positions des différents injecteurs et la station d'approvisionnement de Retschwil.
M₁ lieux de mesure 1 à 4, T endroit le plus profond, S oxygène, L air.

Seeoberfläche. Der aufwärts gerichtete Transport bringt sauerstoffarmes Wasser an die Seeoberfläche, während der Rückstrom sauerstoffreicherer Wasser ins Hypolimnion transportiert. Diese seeinterne Mischung begünstigt den natürlichen Sauerstoffeintrag an der Seeoberfläche. In der Phase der Begasung mit Sauerstoff im Sommerhalbjahr wird im See an sechs Stationen über dem Sediment reiner Sauerstoff in Form kleiner Bläschen (Durchmesser kleiner als 1 mm) ins Wasser eingetragen. Wegen des hohen Sauerstoffpartialdruckes im Bläschen ergibt sich ein intensiver Austausch zwischen der Sauerstoffgasphase und dem Wasser. Die Bläschen verschwinden nach einer Steighöhe von ca. 30 m, der Sauerstoff wird im Wasser gelöst. Die Figuren 2 und 3 zeigen schematisch das Prinzip der beiden Massnahmen, die Positionen der verschiedenen Düsen und die Versorgungsstation in Retschwil.

nant de l'hypolimnion un transport d'eau vers la surface du lac. Le transport dirigé vers le haut apporte de l'eau pauvre en oxygène à la surface du lac, tandis que le reflux transporte de l'eau plus riche en oxygène dans l'hypolimnion. Ce mélange interne du lac favorise l'introduction naturelle de l'oxygène à la surface du lac.

Pendant la phase de la gazéification avec de l'oxygène au cours du semestre d'été, on introduit à six stations différentes situées au-dessus du sédiment de l'oxygène pur sous forme de petites bulles (moins d'un millimètre de diamètre) dans l'eau. A cause de la pression partielle élevée de l'oxygène à l'intérieur de la bulle, il en résulte un échange intense entre la phase gazeuse de l'oxygène et l'eau. Les bulles disparaissent après avoir accompli une remontée d'env. 30 m, et l'oxygène se dissout dans l'eau. Les fig. 2 et 3 démontrent de façon schématique le principe des deux mesures en question, les positions des différents injecteurs et la station d'approvisionnement en eau à Retschwil.

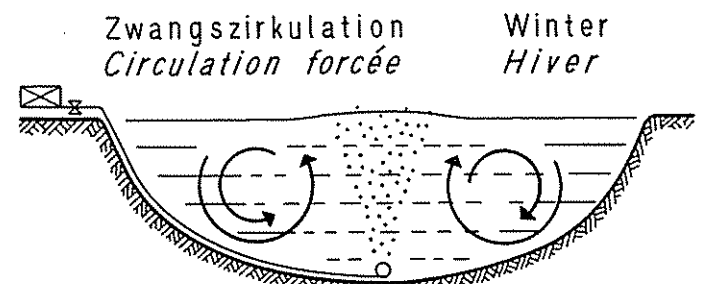
Fig. 3: Sauerstoffeintrag Sommer
Introduction d'oxygène Eté



Der ausströmende Sauerstoff löst sich in den tieferen Schichten. Die erwärmte Oberflächenschicht wird dabei nicht gestört.

L'oxygène qui s'échappe se dissout dans les couches plus profondes sans perturber la couche chauffée à la surface.

Seesanierung Baldeggersee;
Prinzip der Massnahmen im Winter- und im Sommerhalbjahr.

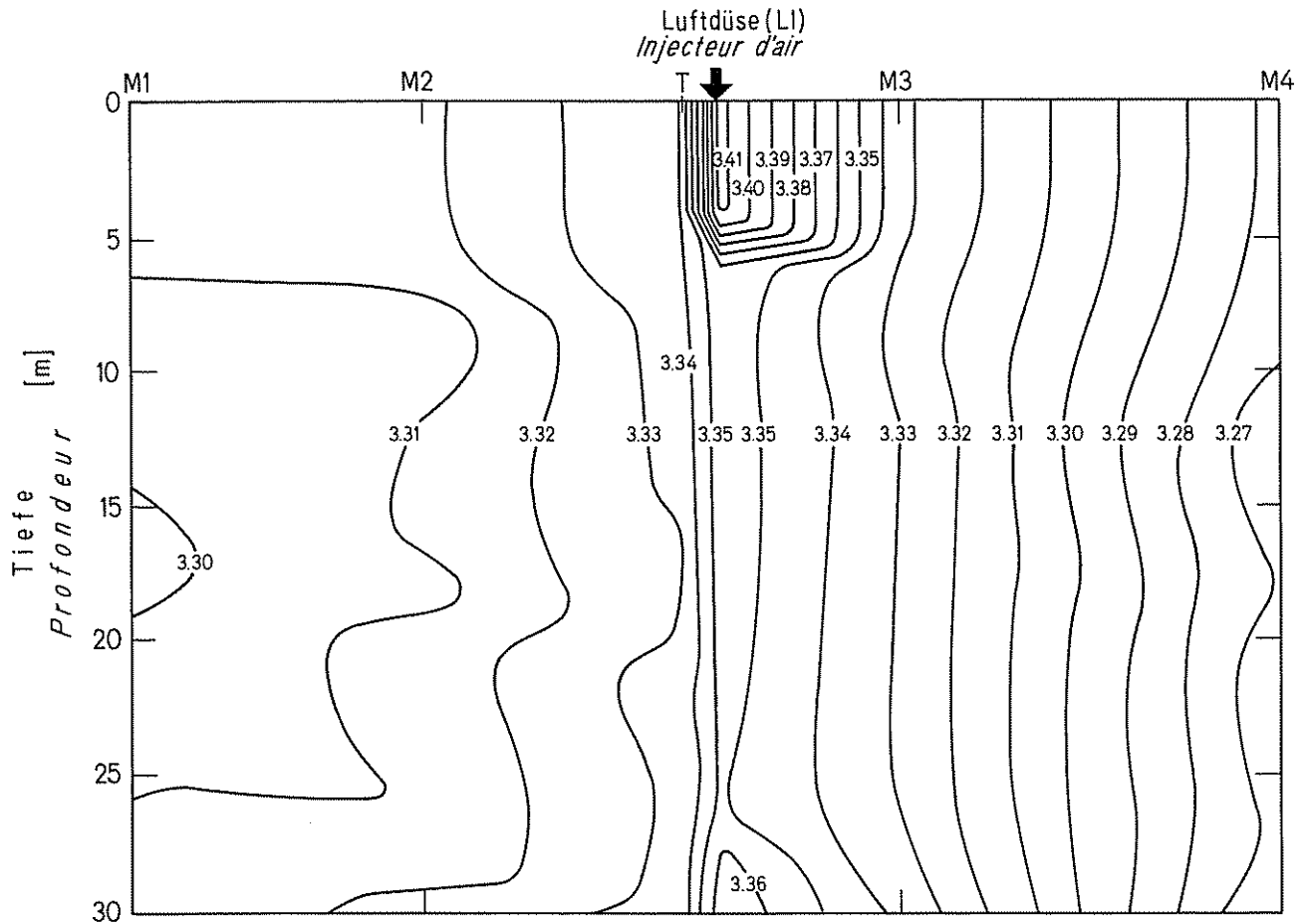


Die eingeblasene Druckluft bewirkt im gleichmässig abgekühlten See eine Zirkulation über die ganze Seetiefe.

L'air comprimé soufflé provoque dans le lac refroidi de façon égale une circulation dans toute la profondeur du lac.

Assainissement du lac de Baldegg;
principe des mesures à prendre pendant les semestres d'hiver et d'été.

Fig. 4:



Horizontale Temperaturverteilung vom 4.3.82 im Baldeggersee (Ausschnitt).
 M_i Messstationen 1 bis 4 wie in Fig. 2 dargestellt.

Répartition horizontale de la température mesurée le 4.3.82 au lac de Baldegg (secteur).
 M_i lieux de mesure 1 à 4 représentées comme dans la fig. 2.

Zu Beginn des Jahres 1982 wurden die land- und seeseitigen Installationen aufgebaut. Dabei verlegte man mit Hilfe eines Flosses etwa 6 km Plastikrohr auf dem Seegrund. Vom 26. Februar bis zum 23. April 1982 konnte dann die Anlage zur Erzeugung der Zwangszirkulation in Betrieb genommen werden. Vor Beginn der Zwangszirkulation lag unterhalb 35 m ein sauerstoffreies Hypolimnion vor. Innerhalb zweier Wochen sank der Anaerobehorizont infolge der künstlichen Mischung bis auf den Seegrund ab; der See wurde vertikal homogenisiert.

Auch die Temperatur des Wassers wurde bis Mitte März vertikal homogenisiert, wobei anfänglich ein um 6 Zehntelgrad wärmeres Hypolimnion vorlag. Wegen des Temperaturgradienten zeigte sich im Bereich der Luftdüse eine kaminartige Struktur in welcher warmes hypolimnische Wasser an die Oberfläche transportiert und teilweise horizontal eingemischt wurde. Die Figur 4 zeigt die horizontale Temperaturverteilung auf der Seelängsachse für die Tiefen 0–30 m. Eine analoge Struktur ergab sich für den Sauerstoff. Die Sauerstoffkonzentration über Grund an der tiefsten Stelle stieg im Verlauf der Zwangszirkulation auf einen Wert von ca. 4,5 mg/l, welcher wesentlich höher lag als der im Mittel der letzten 20 Jahre zu erwartende Wert von 0,5 mg/l. Größere Werte konnten nicht erreicht werden, da die Phase der Zwangszirkulation zu kurz war.

Figur 5 zeigt den Sauerstoffinhalt im Baldeggersee (ausgedrückt durch die mittlere Konzentration im Seevolumen) für den Winter 1981/82 und einen mittleren Wert für die letzten 20 Jahre. Vorhandene Mengen an reduzierten Stoffen (Methan, Ammonium, Sulfid) wurden als negativer Sauerstoff bilanziert. Es zeigt sich, dass die beiden bis zum Beginn der Zwangszirkulation etwa identisch verlaufenden Kurven, wenige Tage nach dem Einschalten der Zwangszirkulation aus-

Les installations côté rive et côté lac ont été mises en place au début de l'année 1982. Au cours de ces travaux, un tube en matière plastique d'env. 6 km de long a été posé au fond du lac à l'aide d'un radeau. L'installation a été mise en action du 26 février au 23 avril 1982 pour la réalisation de la circulation forcée. Avant l'action de la circulation forcée, l'hypolimnion était dépourvu d'oxygène en dessous de 35 m de profondeur. Dans l'espace de deux semaines, le niveau d'anaérobiose s'était abaissé jusqu'au fond du lac grâce au mélange artificiel; le lac était homogénéisé verticalement.

A mi-mars, la température de l'eau était également homogénéisée verticalement; il faut toutefois mentionner ici qu'au début, l'hypolimnion avait une température plus élevée de six dixièmes de degrés. A cause du gradient de température il se formait dans le champ d'action de l'injecteur d'air une structure du genre d'une cheminée à l'intérieur de laquelle de l'eau hypolimnionique chaude était transportée à la surface et mélangée de façon horizontale à l'eau ambiante. La fig. 4 montre la répartition horizontale de la température sur l'axe longitudinal du lac pour les profondeurs de 0 à 30 m. Une structure analogue s'était formée pour l'oxygène.

La concentration de l'oxygène au-dessus du fond, à l'endroit le plus profond, augmentait au cours de la circulation forcée jusqu'à une valeur d'env. 4,5 mg/l; elle était donc considérablement supérieure à la valeur prévue de 0,5 mg/l, valeur moyenne basée sur ces 20 dernières années. Il n'a pas été possible d'atteindre des valeurs plus élevées, la phase de la circulation forcée étant trop courte.

La fig. 5 montre la teneur en oxygène dans le lac de Baldegg pendant l'hiver 1981-82 (exprimée par la concentration moyenne dans le volume du lac) ainsi qu'une valeur moyenne pour les derniers 20 ans. Les quantités de matières réduites existantes (méthane, ammonium, sulfure) ont été

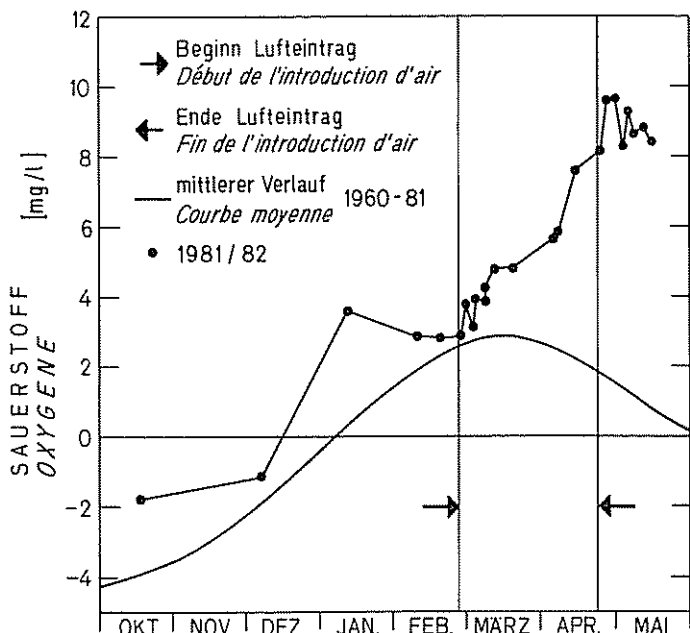


Fig. 5:

Baldeggersee:
Mittlere Sauerstoffkonzentration im Seevolumen.

Lac de Baldegg:
concentration moyenne de l'oxygène dans le volume du lac.

einanderlaufen. Die Zwangszirkulation führte zu einer maximalen bezüglich des Seevolumens mittleren Sauerstoffkonzentration von 9 mg/l, im Vergleich von 3 mg/l im Mittel der früheren Jahre. Die Zwangszirkulation brachte einen wesentlichen Anstieg im Sauerstoffinhalt des Sees.

Im Frühjahr führte dann der erhöhte Energieeintrag über die Seeoberfläche zur thermischen Stratifizierung. Wie sich zeigte, kann der künstliche Energieeintrag die natürliche thermische Stratifizierung nicht verhindern. Die Zwangszirkulation muss daher in Zukunft genügend früh im Herbst eingeschaltet werden. Zu diesem Zeitpunkt wirken die konvektive Turbulenz (verursacht durch das Abkühlen der oberflächlichen Wassermassen) und die Zwangszirkulation in die gleiche Richtung.

Im Sommer 1982 wurden entsprechende Versuche mit den Sauerstoffdiffusoren begonnen. Die Diffusorprototypen lieferten den vorausgesagten Effekt, nämlich erhöhte Sauerstoffkonzentrationen im Bereich des Diffusors ohne Zerstörung der thermischen Schichtung. Wegen der intensiven horizontalen Mischung und der Sauerstoffzehrung im Hypolimnion ist der Effekt lokal beschränkt. Die eigentliche seeinterne Wirkung der Begasung kann erst in einem eigentlichen Sanierungsversuch (Sommer 1983) beurteilt werden, wenn nach einer Phase der Zwangszirkulation das zu starke Absinken des Sauerstoffinhaltes im Hypolimnion verhindert werden muss.

Zum Schluss soll noch ein einfacher Kostenvergleich zwischen den beiden Massnahmen gemacht werden. Für die Zwangszirkulation kommt ein Kilogramm Sauerstoff auf einen Rappen zu stehen, während die gleiche Menge für die Begasung 30mal teurer ist. Für eine längerfristige Sanierung (Größenordnung 10 Jahre) erweist sich die winterliche Zwangszirkulation nicht nur als billiger, sondern auch als ökologisch unproblematischer. So dürfte die Zwangszirkulation ein geeignetes Instrument für eine längerfristige Seesanierung sein, während die Begasung des Hypolimnions im Sinne einer Starthilfe Verwendung finden wird.

Der Baldeggersee ist landschaftlich überaus reizvoll zwischen die Hügelzüge der Erlösen und des Lindbergs eingebettet (Fig. 1). Es ist daher zu hoffen, dass durch die verschiedenen Sanierungsmassnahmen der See in absehbarer Zeit auch in einen vom limnologischen Standpunkt aus befriedigenden Zustand gebracht werden kann.

mises au bilan en tant qu'oxygène négatif. On peut constater que les deux courbes suivent un cours à peu près identique jusqu'au début de la circulation forcée et s'écartent peu de jours après l'enclenchement de la circulation forcée. La circulation forcée a permis d'atteindre une moyenne de concentration d'oxygène maximale de 9 mg/l par rapport à la moyenne de 3 mg/l des années précédentes. La circulation forcée a apporté une augmentation considérable de la teneur en oxygène du lac. Au printemps, l'introduction augmentée d'énergie sur la surface du lac a mené vers la stratification thermique. On peut constater que l'introduction artificielle d'énergie ne peut pas empêcher la stratification thermique naturelle. De ce fait, la circulation forcée doit dorénavant être enclenchée assez tôt en automne. A ce moment, la turbulence convective (provoquée par le refroidissement des masses d'eau superficielles) et la circulation forcée agissent dans le même sens.

En été 1982, on a commencé à faire des essais correspondants avec des diffuseurs d'oxygène. Les prototypes de diffuseurs utilisés ont produit l'effet prévu, c'est-à-dire des concentrations d'oxygène élevées dans le champ d'action du diffuseur, mais sans détruire la stratification thermique. L'effet est localement limité à la suite du mélange horizontal intense et de la consommation d'oxygène dans l'hypolimnion. L'effet réel de la gazéification à l'intérieur du lac ne pourra être jugé que sur la base d'un vrai essai d'assainissement (en été 1983), c'est-à-dire au moment où il faudra empêcher la baisse trop forte de la teneur en oxygène dans l'hypolimnion après une phase de circulation forcée.

Procédons pour conclure encore à une simple comparaison des coûts de ces deux mesures: pour la circulation forcée, un kilogramme d'oxygène va coûter un centime, tandis que la même quantité coûtera pour la gazéification 30 fois plus. Pour un assainissement à plus long terme (dans l'ordre de grandeur de 10 ans), la circulation forcée pendant l'hiver se révèle non seulement moins chère, mais elle pose aussi moins de problèmes du point de vue écologique. Ainsi, la circulation forcée doit être considérée comme instrument servant à l'assainissement des lacs à longue échéance, tandis que la gazéification de l'hypolimnion doit être appliquée comme aide au départ.

La situation exceptionnelle du lac de Baldegg est charmante entre les collines des Erlösen et le Lindenberg (fig. 1). Il faut donc espérer que le lac pourra être ramené dans un proche avenir à un état satisfaisant du point de vue limnologique.

Saure Niederschläge und ihr Einfluss auf die Schweizer Seen

Jerald L. Schnoor, Laura Sigg, Werner Stumm, Jürg Zobrist

Auch die schweizerischen Regenwässer sind sauer. Die Niederschläge enthalten Spuren (mg/l) von Schwefel- und Salpetersäure, Schwermetalle und organische Verunreinigungen. Wie Zobrist und Stumm [1], auf Grund der von der EAWAG regelmässig durchgeführten Niederschlagsuntersuchungen (Hydrologisches Jahrbuch der Schweiz), gezeigt haben, enthält ein typisch schweizerisches Regenwasser (ohne hochalpine Gebiete) etwa 40–50 Mikroäquivalente pro Liter starke Säure (freie H^+ -Ionen). Dementsprechend ist der pH des Regenwassers etwa 4,3. Ein lediglich mit dem CO_2 der Atmosphäre im Gleichgewicht stehendes Regenwasser würde eine etwa 20mal geringere Konzentration an freien H^+ -Ionen (pH \sim 5,6) aufweisen.

Genese der sauren Niederschläge

Die meisten Haupt- und Nebenbestandteile der Atmosphäre (O_2 , N_2 , CO_2 , CO , NO , NO_2 , SO_2 , CH_4) nehmen an Kreisläufen teil, die durch biologisch bewirkte Reduktions- und Oxidationsprozesse – Photosynthese und Respiration und ihre Folge- und Seitenreaktionen – gesteuert werden. [2]

Dadurch, dass sich die Oxidations- und Reduktionsraten die Waage halten, und weil der Massenfluss der in die Atmosphäre gelangenden Bestandteile ein Vielfaches dieses Reservoirs ausmacht, hat sich über Millionen Jahre hinweg ein Fließgleichgewicht eingestellt, so dass die Konzentrationen dieser Redoxkomponenten in der Atmosphäre konstant geblieben sind. Die Atmosphäre reagiert bezüglich ihrer Zusammensetzung auf anthropogene Einflüsse empfindlicher als Land und Wasser, weil sie – mengenmässig betrachtet – gegenüber den anderen Reservoirs viel kleiner ist. Ferner sind die Zeitkonstanten für atmosphärische Veränderungen klein gegenüber denjenigen der Meere und der Lithosphäre. Wenn nun durch Eingriffe der Zivilisation, insbesondere durch Verbrennung von fossilen Brennstoffen, die Geschwindigkeit der Oxidation von Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel gegenüber derjenigen der Reduktion von CO_2 , Stickstoff und Stickoxiden, SO_2 und H_2SO_4 gross ist, wird die delikate Balance gestört. Dementsprechend haben sich in der Atmosphäre die Konzentrationen von CO_2 global und von SO_2 , H_2SO_4 , NO , NO_2 , HNO_2 und HNO_3 regional erhöht. Die Pufferung durch die Wechselwirkungen mit den anderen Reservoirs – die Vermischungszeit der Meere z. B. ist in der Grössenordnung von 1000 Jahren – ist zu langsam.

Da Reduktions-Oxidationsprozesse – Transfer der Elektronen, e^- – aus Ladungsneutralitätsgründen mit Protonen-, H^+ Transferprozessen gekoppelt sind, entspricht der Veränderung an der Redoxbalance eine Veränderung in der Säure-Base-Balance; dementsprechend sind in der Atmosphäre die Konzentrationen der potentiellen Säuren gegenüber den Basen (Fig.6, oberer Teil) angereichert. Die aus der Oxidation der Schwefel- und Stickstoffverbindungen hervorgehenden starken Säuren H_2SO_4 und HNO_3 sind vor allem an der Bildung des sauren Regens beteiligt. Die Zunahme an der potentiellen Säure CO_2 wirkt sich auf die Zusammensetzung der Niederschläge wenig aus, da die Erhöhung relativ gering ist; zudem ist H_2CO_3 eine schwache Säure. Die Reaktionspartner in den atmosphärischen Wassertröpfchen stammen zu einem guten Teil aus der Oxidation des Schwefels aus fossilen Brennstoffen und der «Fixierung» des Stickstoffs zu NO und NO_2 bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe (Thermische Kraftwerke und Verbrennung von Benzin im Automotor, wo genügend hohe Temperaturen herrschen). Das HCl

Les précipitations acides et leur influence sur les lacs suisses

Jerald L. Schnoor, Laura Sigg, Werner Stumm et Jürg Zobrist

Les eaux de pluie suisses également sont acides. Les précipitations contiennent des traces (mg/l) d'acide sulfurique et d'acide nitrique, de métaux lourds et des polluants organiques. Comme Zobrist et Stumm [1] l'ont démontré sur la base d'analyses régulières des précipitations faites par l'EAWAG (Annuaire hydrologique de la Suisse), l'eau de pluie typique de la Suisse contient (à l'exception des régions alpines) à peu près 40–50 micro-équivalents par litre d'acide fort (ions H^+ libres). Conformément à cela, le pH de l'eau de pluie s'élève environ à 4,3. Une eau de pluie qui serait seulement en équilibre avec le CO_2 de l'atmosphère aurait une concentration d'ions H^+ libres (pH \sim 5,6) qui serait environ 20 fois moins élevée.

Genèse des précipitations acides

La plupart des éléments principaux et secondaires de l'atmosphère (O_2 , N_2 , CO_2 , CO , NO , NO_2 , SO_2 , CH_4) participent à certains cycles gouvernés par des processus de réduction et d'oxydation d'origine biologique – photosynthèse et respiration ainsi que leurs réactions primaires et secondaires. – [2]

Du fait que les vitesses d'oxydation et de réduction se contrebalancent et parce que le flux de masse des éléments entrant dans l'atmosphère représente un multiple de ce réservoir, un équilibre s'est établi au cours de millions d'années, de manière à ce que les concentrations de ces éléments participant aux réactions d'oxydoréduction dans l'atmosphère sont restées constantes. Quant à sa composition, l'atmosphère réagit aux influences anthropogènes de façon plus sensible que la terre et l'eau, car – au point de vue quantité – elle est beaucoup plus petite que les autres réservoirs. De plus, les constantes de temps concernant les modifications atmosphériques sont petites en comparaison de celles des mers et de la lithosphère. Si la vitesse d'oxydation du carbone, de l'azote et du soufre par rapport à celle de la réduction de CO_2 d'azote et d'oxydes d'azote, SO_2 et H_2SO_4 est grande à la suite d'interventions de la civilisation, notamment sous forme de combustion de combustibles fossiles, alors la balance délicate est perturbée (Tableau 1). Conformément à cela, la concentration de CO_2 a augmenté de façon globale dans l'atmosphère, et les concentrations de SO_2 , H_2SO_4 , NO , NO_2 , HNO_2 et HNO_3 ont augmenté de manière régionale. L'amortissement à l'aide d'interactions avec les autres réservoirs – le temps de mélange des mers par exemple étant d'un ordre de grandeur de 1000 ans – est trop lent. Du fait que certains processus de réduction et d'oxydation – transfert des électrons – , e^- sont couplés avec des processus de transfert de protons H^+ pour des raisons de neutralité de la charge – , une modification de la balance acido-basique correspond à la modification de la balance d'oxydoréduction; par conséquent les concentrations des acides potentiels dans l'atmosphère sont enrichies par rapport aux bases (fig. 6, partie supérieure). Les acides forts H_2SO_4 et HNO_3 résultant de l'oxydation des composés du soufre et de l'azote participent avant tout à la formation de la pluie acide. L'augmentation en acide potentiel CO_2 a peu d'effet sur la composition des précipitations, car l'augmentation est relativement insignifiante; H_2CO_3 est en outre un acide faible. Une part considérable des partenaires de réaction dans les gouttes d'eau atmosphérique provient de l'oxydation du soufre provenant des combustibles fossiles et de la «fixation» de l'azote en NO et NO_2 lors de la combustion de com-

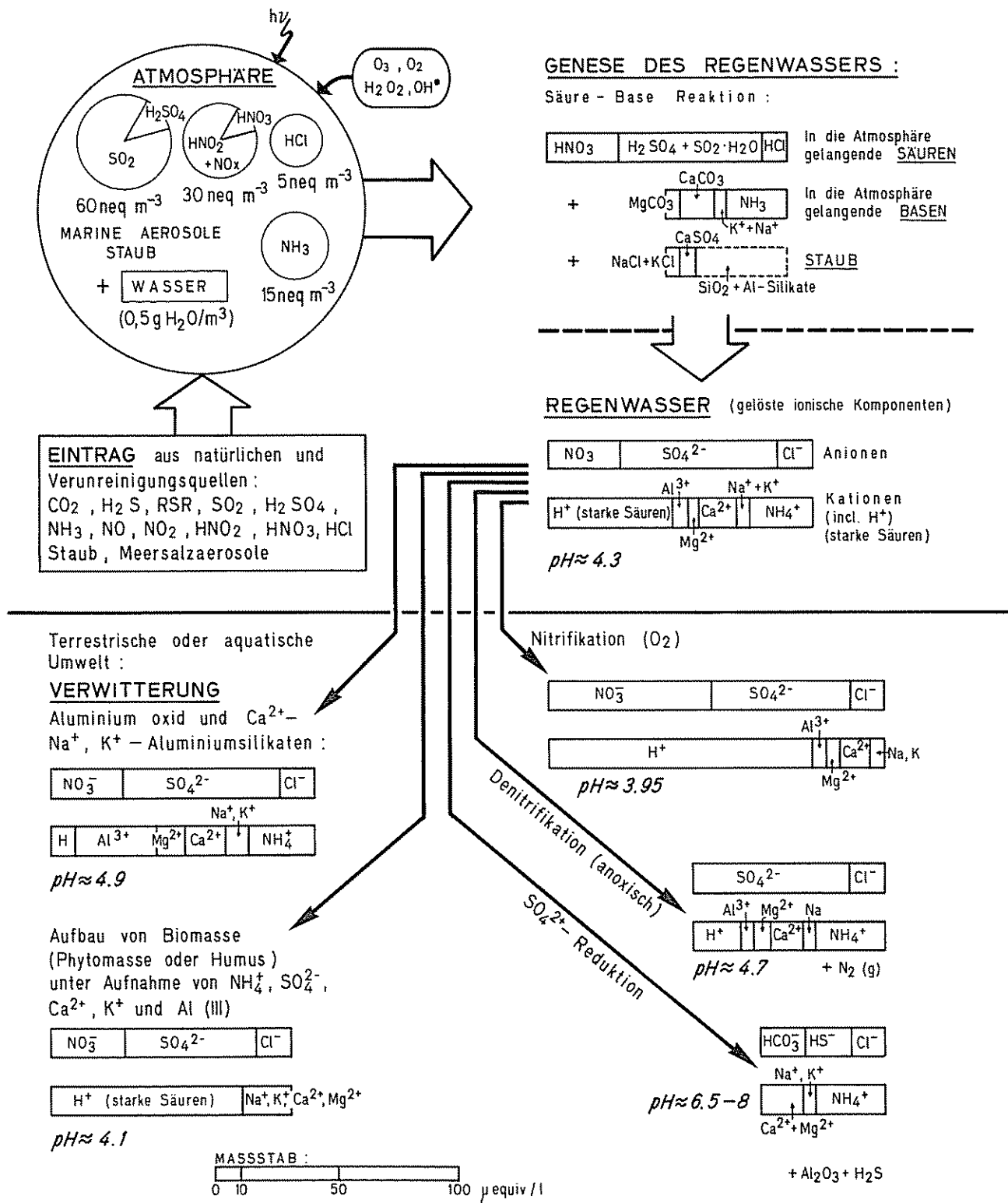


Fig. 6

Entstehung des sauren Regens (aus Stumm et al. [2])

Durch die Oxidation von S und N, hauptsächlich aus fossilen Brennstoffen, entstehen in der Atmosphäre (Gasphase, Aerosole, Wassertropfenchen der Wolken und des Nebels) neben CO_2 , S- und N-Oxide, welche nach teilweiser Oxidation zu einer Säure-Base-Wechselwirkung führen. Das Ausmass der Aufnahme der verschiedenen gasförmigen und Aerosolkomponenten im atmosphärischen Wasser hängt von vielen Faktoren ab (für unsere Darstellung haben wir eine Ausbeute von 50% für SO_4^{2-} und NO_3^- , von 80% für NH_3 und 100% für HCl angenommen). Die Entstehung des sauren Regenwassers ist oben rechts als Säure-Base-Titration dargestellt. Verschiedene Wechselwirkungen, insbesondere Veränderungen in der Azidität des Regenwassers mit der terrestrischen und aquatischen Umwelt (vgl. Tab. 1) sind im unteren Teil der Abbildung wiedergegeben.

Genèse de la pluie acide (extrait de Stumm et al. [2])

Par l'oxydation de S et N provenant essentiellement de combustibles fossiles, il se crée dans l'atmosphère (phase gazeuse, aérosols, gouttelettes d'eau des nuages et du brouillard) à côté de CO_2 des oxydes S et N, qui conduisent - après une oxydation partielle - vers une interaction acide-base. L'importance de l'absorption des différentes composantes sous forme de gaz et d'aérosols dans l'eau atmosphérique dépend de nombreux facteurs (pour notre présentation nous sommes partis d'un rendement de 50% pour SO_4^{2-} et NO_3^- , de 80% pour NH_3 et de 100% pour HCl). La genèse de l'eau de pluie acide est représentée en haut à droite sous forme de titrage acide-base. Différentes interactions avec l'environnement terrestre et aquatique (cf. tab. 1) notamment des modifications dans l'acidité de l'eau de pluie sont reproduites dans la partie inférieure de fig. 6.

stammt grösstenteils aus der Verbrennung von chlorhaltigen organischen Verbindungen, z. B. Polyvinylchlorid-Plastik in Kehrrichtverbrennungsanlagen. Dazu kommen aber auch Säuren aus natürlichen Quellen, insbesondere H_2SO_4 aus der Oxidation von Emissionen von Schwefelwasserstoff aus anaeroben Böden und Sedimenten und von Dimethylsulfid und OCS aus den Meeren. Die in die Atmosphäre gelangenden Basen, staubförmige Karbonate und Ammoniak sind meistens eher natürlichen Ursprungs. Das NH_3 stammt vor allem aus im Boden vorkommenden NH_4^+ -Ionen und Harnstoff. Die Redox- und Säure-Base-Prozesse in der Atmosphäre können in der Gasphase, in Aerosolphasen und in den Wassertröpfchen der Wolke und des Nebels stattfinden.

Die Reaktionszeiten für die Oxidation von SO_2 ergeben Aufenthaltzeiten der wichtigeren S-Verbindungen in der Atmosphäre von höchstens wenigen Tagen; dem entsprechen Transportwege von einigen hundert bis wenigen tausend Kilometern. Die oxidative Bildung von HNO_3 ist etwas schneller; diese Verbindung wird demnach im Vergleich zu H_2SO_4 in kürzeren Distanzen vom Emissionsort abgeschieden. H_2SO_4 kann mit NH_3 unter Bildung von NH_4HSO_4 oder $(NH_4)_2SO_4$ -Aerosolen reagieren; ferner stehen NH_4NO_3 -Aerosole im Gleichgewicht mit $NH_3(g)$ und $HNO_3(g)$. Das Ausmass der Aufnahme der verschiedenen gasförmigen und Aerosolkomponenten im atmosphärischen Wasser und in Regentropfen hängt von vielen Faktoren ab.

Wechselwirkung mit der Umwelt

Die chemische oder ökologische Wirkung des sauren Regens hängt primär direkt von der H^+ -Ionen-Konzentration (oder präziser, -Aktivität) ab. So wird z. B. die Löslichkeit des mit dem Regen vermischten Staubes, die Auflösung der Gesteine (Verwitterungsrate), das Auswaschen von Kationen aus dem Boden (Ionenaustausch) und schädliche Auswirkungen auf biologische Prozesse durch den pH beeinflusst. Der pH kann aber auch indirekt eine Auswirkung haben, da die Erscheinungsform der im Regen gelösten Verbindungen von ihm abhängt. Beispielsweise nimmt die Proportion an freien Metallionen mit abnehmendem pH zu, weil die Bindung der Metalle an anorganische oder organische Liganden (OH^- , CO_3^{2-} , $RCOO^-$) oder an Feststoffe durch zunehmende $[H^+]$ herabgesetzt wird. So wird angenommen, dass die ökologische Schädwirkung eines sauren Wassers auf die Vegetation oder die toxische Einwirkung auf Fische oder die Fischreproduktion zu einem guten Teil auf erhöhte Konzentration von Metallionen, häufig Al^{3+} , zurückzuführen ist. Für Bäume und Pflanzen ist die direkte Aufnahme von $SO_2(g)$ besonders wichtig.

Nach der Deposition der sauren Niederschläge verändern Gesteine, aquatische und terrestrische Ökosysteme pH, Akzidität und Alkalinität des Regenwassers. Die Wechselwirkung mit den Gesteinen kann in erster Näherung als Reaktion der Säure mit den Basen der Gesteine (CO_3^{2-} , Oxid, Silikat) dargestellt werden. Die Reaktion mit Karbonaten (Kalk und Dolomit) erfolgt schnell, diejenige mit Oxiden (z.B. Aluminiumoxid) und Aluminiumsilikaten (z.B. Feldspate, Kaolinit) langsamer. In kalkarmen Mineralböden kann die Ansäuerung zum Auswaschen von Ca^{2+} und Mg^{2+} und zur Freisetzung von Al^{3+} führen. (Fig. 6, unterer Teil).

Terrestrische und aquatische Ökosysteme können oft den Säureeffekt des Regens abpuffern. Andererseits können biologisch beeinflusste Prozesse auch die Azidität des ursprünglichen Regenwassers noch verstärken. Im Prinzip

bustibles fossiles (centrales thermiques et combustion de carburant dans les moteurs d'automobiles où règnent des températures suffisamment hautes). Le HCl provient essentiellement de la combustion de composés organiques contenant du chlore, par exemple le plastique en chlorure de polyvinyle dans les incinérateurs. Mais il faut aussi mentionner les acides provenant de sources naturelles, notamment le H_2SO_4 résultant de l'oxydation d'émissions d'hydrogène sulfuré de sols et de sédiments anaérobies ainsi que le diméthyl-sulfure et l'OCS provenant des mers. Les bases parvenant dans l'atmosphère, les carbonates sous forme de poussière et l'ammoniaque sont plutôt d'origine naturelle. Le NH_3 provient surtout d'ions NH_4^+ et d'urée se trouvant dans le sol. Les processus d'oxydoréduction et acido-basiques dans l'atmosphère peuvent avoir lieu dans la phase gazeuse, dans les phases d'aérosol et dans les gouttelettes d'eau des nuages et du brouillard.

Les temps de réaction pour l'oxydation de SO_2 donnent pour les composés du soufre des durées de séjour dans l'atmosphère de quelques jours tout au plus; à ceci correspondent des distances de transport de quelques centaines jusqu'à peu de milliers de kilomètres. La formation de HNO_3 par oxydation se fait un peu plus rapidement; par conséquent cette composition est précipitée à distances plus courtes des lieux d'émission en comparaison de H_2SO_4 . Le H_2SO_4 peut réagir avec du NH_3 en formant du NH_4HSO_4 ou des aérosols $(NH_4)_2SO_4$; en outre, les aérosols NH_4NO_3 se trouvent en équilibre avec $NH_3(g)$ et $HNO_3(g)$. L'importance de l'absorption des différentes composantes gazeuses et d'aérosol dans l'eau atmosphérique et dans les gouttes de pluie dépend de nombreux facteurs.

Interaction avec l'environnement

L'effet chimique ou écologique de la pluie acide dépend en premier lieu directement de la concentration des ions H^+ (ou plus précisément de leur activité). Ainsi, la solubilité de la poussière mélangée à la pluie par exemple, la dissolution des minéraux (vitesse d'érosion) et l'extraction de cations du sol par lavage (échange d'ions) et les effets nocifs sur les processus biologiques sont influencés par le pH. Le pH peut également avoir un effet indirect, car la forme chimique des composantes dissoutes dans la pluie en dépend. Par exemple la proportion des ions de métaux libres augmente en cas de diminution du pH, car la liaison des métaux avec les ligands anorganiques ou organiques (OH^- , CO_3^{2-} , $RCOO^-$) ou avec des matières solides est diminuée par des $[H^+]$ croissants. Ainsi on suppose que l'effet nocif écologique d'une eau acide sur la végétation, ou l'influence toxique sur les poissons ou sur la reproduction des poissons sont dues en grande partie à une concentration élevée d'ions métalliques, souvent Al^{3+} . L'absorption directe de $SO_2(g)$ est particulièrement importante pour les arbres et les plantes.

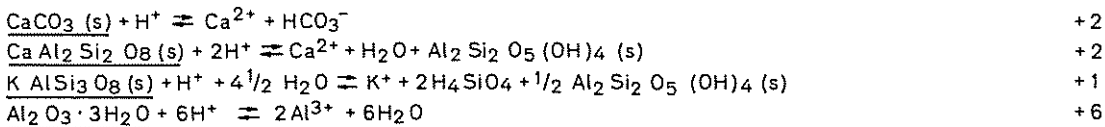
Après la déposition des précipitations acides, les roches et les systèmes écologiques aquatiques et terrestres modifient le pH, l'acidité et l'alcalinité de l'eau de pluie. L'interaction avec les roches peut être représentée en première approximation comme une réaction de l'acide avec les bases des roches (CO_3^{2-} , oxyde, silicate). La réaction avec les carbonates (calcaire, dolomite) se fait rapidement et celle avec les oxydes (par exemple l'oxyde d'aluminium) et avec les silicates d'alumine (par exemple feldspaths, kaolinite) se déroule plus lentement. L'acidification peut conduire dans des sols pauvres en calcaire à un lavage de Ca^{2+} et Mg^{2+} ainsi qu'au dégagement de Al^{3+} . (Fig. 6, partie inférieure). Les systèmes écologiques terrestres et aquatiques peuvent souvent atténuer l'effet de l'acidité de la pluie. De l'autre côté, des processus ayant subi des influences biologiques peuvent intensifier encore l'acidité de l'eau de pluie origina-

Tab. 1: Prozesse, die die H⁺-Balance des Wassers verändern (nach Stumm et al. [2])

Tab. 1 Processus modifiant la balance H⁺ de l'eau (selon Stumm et al. [2])

1a) VERWITTERUNGSREAKTION

REACTION D'EROSION DES ROCHES



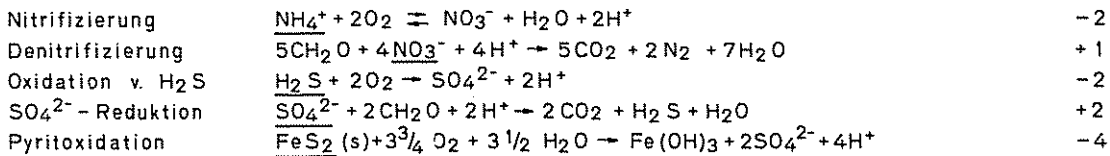
1b) IONENAUSTAUSCH

ECHANGE D'IONS



2) REDOX-PROZESSE (mikrobielle Katalyse)

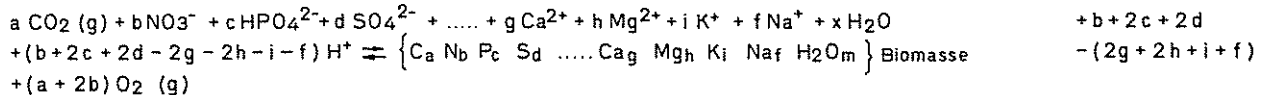
PROCESSUS D'OXYDOREDUCTION (catalyse microbienne)



3) AUFBAU (→) UND ABBAU (←) VON BIOMASSE UND VON HUMUS

SYNTHESE (→) ET DECOMPOSITION (←) DE BIOMASSE ET D'HUMUS

PHOTOSYNTHESE MIT NO₃-ASSIMILATION (→), AEROBE RESPIRATION (←)



NH₄-Assimilation (→); anaerobe Mineralisierung (Teilprozesse) (←)



N₂-Fixierung (Teilprozess)



Veränderung in der Alkalinität $\Delta[\text{Alk}] = -\Delta[\text{H-Azi}]$
Äquivalente pro Mol Edukt (unterstrichen) (1)

Modification dans l'alcalinité $\Delta[\text{Alk}] = -\Delta[\text{H-Aci}]$
équivalent par mol. réactants (souligné) (1)

(1) Die [Alk] = Alkalinität = Säurebindungsvermögen oder Karbonathärte. [H-Azi] = Mineralische Azidität.

Die Aufnahme in die Biomasse (oder in einen Ionenaustauscher) jedes Äquivalentes eines starkelektrolytischen Anions bewirkt eine äquivalente Erhöhung der Alkalinität [Alk] und die entsprechende Aufnahme jedes Äquivalenten stark elektrolytischer Kationen eine äquivalente Abnahme der [Alk]. Zur gleichen Schlussfolgerung kommt man, wenn die Biomasse oder der Humus im Sinne von neutralen Komponenten $\{(\text{CH}_2\text{O})_a(\text{NH}_3)_b(\text{H}_3\text{PO}_4)_c(\text{H}_2\text{SO}_4)_d \dots (\text{Ca}(\text{OH})_2)_g(\text{Mg}(\text{OH})_2)_h(\text{KOH})_i(\text{NaOH})_j(\text{H}_2\text{O})_m\}$ dargestellt wird und wenn für die entsprechenden Bildungs- oder Zersetzungsreaktionen stöchiometrisch balancierte Gleichungen geschrieben werden.

(1) [Alc] = alcalinité = capacité de liaison d'acides ou dureté carbonatée. [H-Aci] = acidité minérale. L'introduction dans la biomasse (ou dans un échangeur d'ions) de chaque équivalent d'un anion fortement électrolytique provoque une augmentation équivalente de l'alcalinité [Alc] et l'introduction correspondante de chaque équivalent de cations fortement électrolytiques provoque une diminution équivalente de l'alcalinité [Alc]. On arrive à la même conclusion, si la biomasse ou l'humus sont présentés sous forme de composantes neutres $\{(\text{CH}_2\text{O})_a(\text{NH}_3)_b(\text{H}_3\text{PO}_4)_c(\text{H}_2\text{SO}_4)_d \dots (\text{Ca}(\text{OH})_2)_g(\text{Mg}(\text{OH})_2)_h(\text{KOH})_i(\text{NaOH})_j(\text{H}_2\text{O})_m\}$, et si l'on écrit des équations balancées de façon stœchiométrique pour les réactions de formation ou de décomposition correspondantes.

können saure Gewässer auch ohne saure Regen entstehen [2] (vgl. Tab. 1).

Jede zeitliche oder räumliche Entkoppelung von Produktion und Mineralisation von Biomasse führt zu einer Veränderung der H⁺-Balance der Umgebung. Dies kommt vor allem vor bei intensiver land- und forstwirtschaftlicher Bodennutzung und bei saisonalen Schwankungen. Der Aufbau von Biomasse (Phytomasse, Phytoplankton, Humus) aus CO₂ unter Bedingungen der Assimilation von NH₄⁺ und der Aufnahme von Ca²⁺ und K⁺ führt zu einer zusätzlichen Azidifizierung des Wassers und zur Bodenversauerung (Abb. 6). Die Aufnahme von mehr Kationen als Anionen muss durch OH⁻-Ionen-Aufnahme oder H⁺-Ionen-Abgabe an die Umgebung kompensiert werden. Dies kann zur Auswaschung von Kationen aus dem Boden und zur Podsolierung führen. Humus und Torfssysteme können ebenfalls sehr sauer werden und Huminsäuren an die Gewässer abgeben.

Saure Tessiner Bergseen

Obschon die Konzentration an überschüssiger Säure im schweizerischen Regenwasser ähnlich hoch ist wie in Skandinavien, sind die Konsequenzen saurer Regen auf Böden und aquatischen Ökosystemen bei uns im Vergleich zu Skandinavien und Nordamerika gering, da unsere Böden und Sedimente fast überall relativ hohe Anteile an Karbonaten (Kalk) enthalten, die eine rasche Neutralisierung der überschüssigen Säuren bewirken. Dies ist nicht der Fall in einigen Bergseen, die in kalkfreien Gebieten liegen. Südlich der Alpen sind die Einzugsgebiete einiger hochgelegener Bergseen, vor allem im Bereich der Wasserscheiden im oberen Maggial und im Verzascatal, in ausschliesslich kristallinem Terrain. Die Verwitterung dieser kristallinen Gesteine (Granite, Gneise, Glimmerschiefer), d.h. die Reaktion von überschüssiger Säure (H⁺-Ionen) mit den Basen dieser Gesteine erfolgt viel langsamer als die Auflösung von Karbonaten. Deshalb kommen in diesen Berggebieten saure Seen vor, obschon Niederschlagsanalysen der EAWAG gezeigt haben, dass Niederschläge in den höheren Lagen weniger sauer sind als im Tiefland. Solche Bergseen sind vor allem dann sauer, wenn die Aufenthaltszeit des sauren Regen- oder Schneeschmelzwassers im Einzugsgebiet relativ kurz ist. Da auch die Bodenbedeckung vor allem aus Felsbrocken und Festgesteinen und kaum aus feinverteiltem Bodenmaterial besteht, hat das Wasser wenig Zeit, mit den Gesteinen zu reagieren. Ferner fehlt in diesen Höhen die pH-Pufferung durch Bäume oder dichte Vegetation. Wie die Untersuchungen des Gewässerschutzamtes des Kantons Tessin [3] zeigen, gibt es etwa 20 kleine Bergseen mit pH-Werten unterhalb 6 (zehn Seen haben pH-Werte unterhalb 5,5; der tiefstgemessene pH-Wert ist 4,6). In erster Annäherung sind kleine Seen mit kleinstem Einzugsgebiet und kürzester Verweilzeit am sauersten. Falls der See mit Wasser aus unmittelbarer Schneeschmelze gespeist wird, ist die Azidität seines Wassers nicht sehr verschieden von der des Schnees.

Figur 7 beschreibt schematisch die Zusammensetzung einiger Gewässertypen im Gebiete des oberen Maggiales und illustriert, wie mit zunehmender Fläche des Einzugsgebietes und dementsprechend mit zunehmender Reaktionszeit das ursprünglich saure Regen- und Schneeschmelzwasser sukzessiv neutralisiert wird; dabei nehmen die Konzentrationen der bei der Auflösung freiwerdenden Kationen (des Al³⁺ und Ca²⁺, K⁺ und Na⁺) und der Kieselsäure zu. [4]

Die Konzentration des freiwerdenden Aluminiums kann aber nur bis zur Löslichkeit des Aluminiumoxides ansteigen; je tiefer der pH, desto grösser ist die Al³⁺-Konzentration. Dass Fische in sauren Seen sich nicht fortpflanzen können, ist wahrscheinlich eher auf die zu hohe Konzentration an Al³⁺ und eventuell auch auf andere Metalle zurückzuführen als auf die Konzentration an freier Säure. Im übrigen sind die

le. En général, des eaux acides peuvent aussi se former sans pluies acides. [2] (cf. tab. 1).

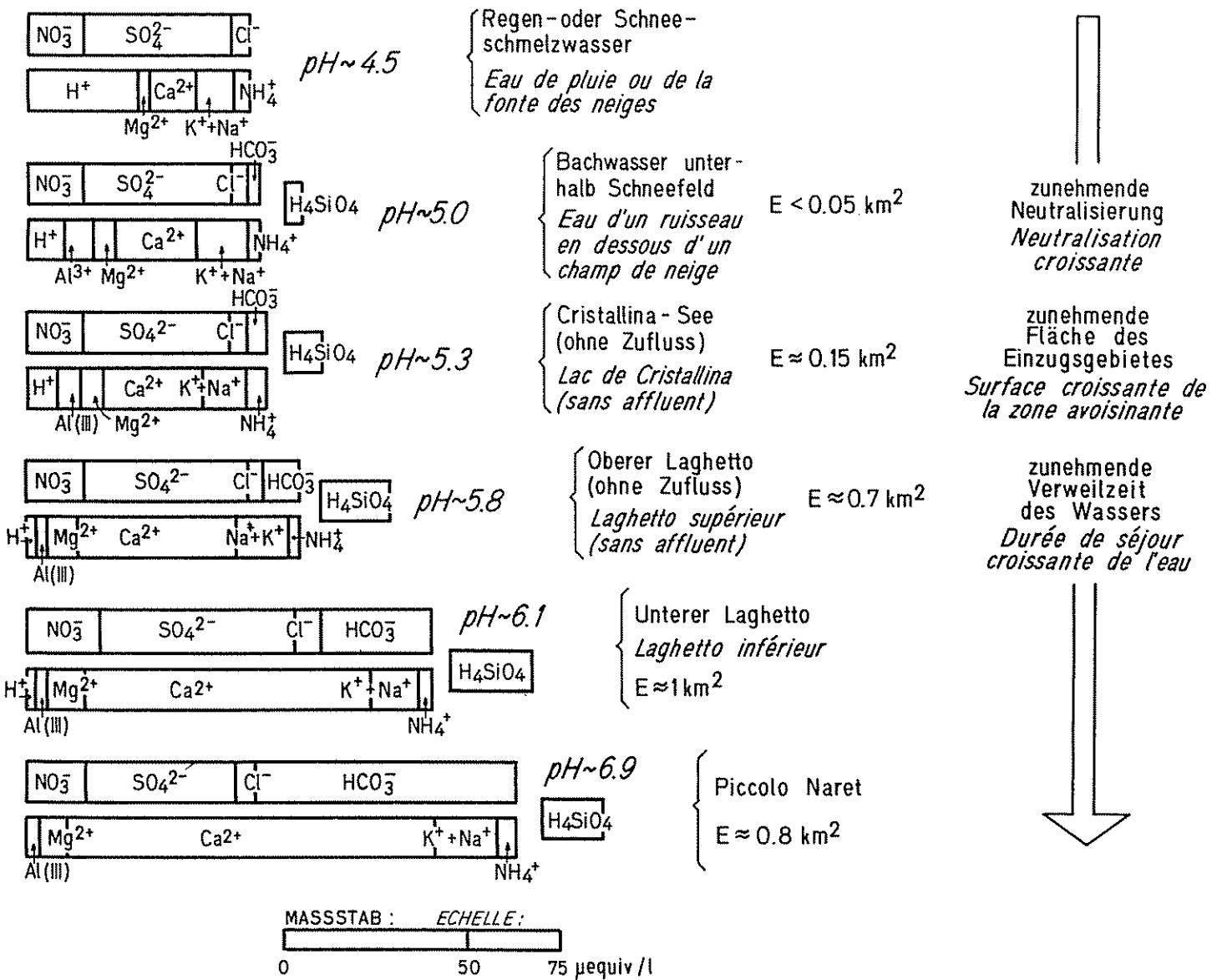
Chaque découplage temporel ou local de la production et de la minéralisation de la masse biologique mène à une modification de la balance H⁺ de l'environnement. Ceci se produit avant tout en cas d'exploitation agricole et forestière intense du sol et à l'occasion d'instabilités saisonnières. La formation de la masse biologique (masse phytobiologique, phytoplankton, humus) par le CO₂ dans les conditions de l'assimilation de NH₄⁺ et de l'absorption de Ca²⁺ et de K⁺ provoque une acidification complémentaire de l'eau et l'acidification du sol. L'absorption de plus de cations que d'anions doit être compensée par l'absorption d'ions OH⁻ ou par l'émission d'ions H⁺ à l'environnement. Ceci peut lessiver des cations du sol et provoquer sa podsolisation. L'humus et les gisements de tourbe peuvent également devenir très acides et transmettre de l'acide humique aux eaux.

Lacs de montagne acides au Tessin

Quoique la concentration d'acide excédentaire dans l'eau de pluie suisse atteint une importance semblable à celle de la Scandinavie, les conséquences des pluies acides sur nos sols et systèmes écologiques aquatiques sont minimes comparées à la Scandinavie et à l'Amérique du Nord, car nos sols et sédiments contiennent presque partout des parts de carbonates (calcaire) relativement hautes qui provoquent la neutralisation rapide des acides excédentaires. Ceci n'est pas le cas pour certains lacs de montagne situés dans des régions non calcaires. Au sud des Alpes, les zones avoisinantes de quelques lacs de montagne élevés, situés essentiellement dans la région des lignes de partage des eaux dans la vallée supérieure de la Maggia et dans la vallée de la Verzasca, se trouvent exclusivement dans un terrain cristallin. La désagrégation des roches cristallines (granit, gneiss, micaschiste), c'est-à-dire la réaction de l'acide excédentaire (ions H⁺) avec les bases de ces roches se déroule beaucoup plus lentement que la dissolution de carbonates (calcaire). De ce fait, il y a des lacs acides dans ces régions de montagne, quoique les analyses des précipitations faites par l'EAWAG aient montré des précipitations moins acides dans les régions élevées que dans la plaine. Les lacs de montagne de ce genre sont essentiellement acides quand la durée de séjour de l'eau de pluie acide ou de l'eau acide provenant de la fonte des neiges dans les zones avoisinantes est relativement courte. Comme le sol en question est essentiellement couvert de blocs de roches et de roches dures et où il y a très peu de matériel finement réparti, l'eau a peu de temps pour réagir avec les roches. En outre, l'effet tampon sur le pH des arbres ou de la végétation épaisse manque à ces altitudes. Comme les analyses faites par l'Office de la protection des eaux du canton du Tessin l'ont montré, il y a environ 20 petits lacs de montagne avec des valeurs de pH situées en dessous de 6 (10 lacs ont des pH en dessous de 5,5; le pH le plus bas qui a été mesuré est de 4,6). D'après une première approximation faite, ce sont les petits lacs avec les plus petites zones avoisinantes et avec la durée de séjour la plus courte qui sont le plus acides. Si le lac est alimenté en eau provenant immédiatement de la fonte des neiges, l'acidité de son eau n'est alors pas très différente de celle de la neige.

Fig. 7 donne une image schématique de quelques eaux typiques dans la vallée supérieure de la Maggia et démontre comment avec la surface croissante de la zone avoisinante et par conséquent avec un temps de réaction croissant, les eaux de pluie et celles provenant de la fonte des neiges acides à l'origine sont neutralisées successivement; les concentrations des cations (de Al³⁺ et Ca²⁺, K⁺ et Na⁺) ainsi que de l'acide silicique dégagés pendant la dissolution augmentent au cours de ce processus. [4]

Fig. 7



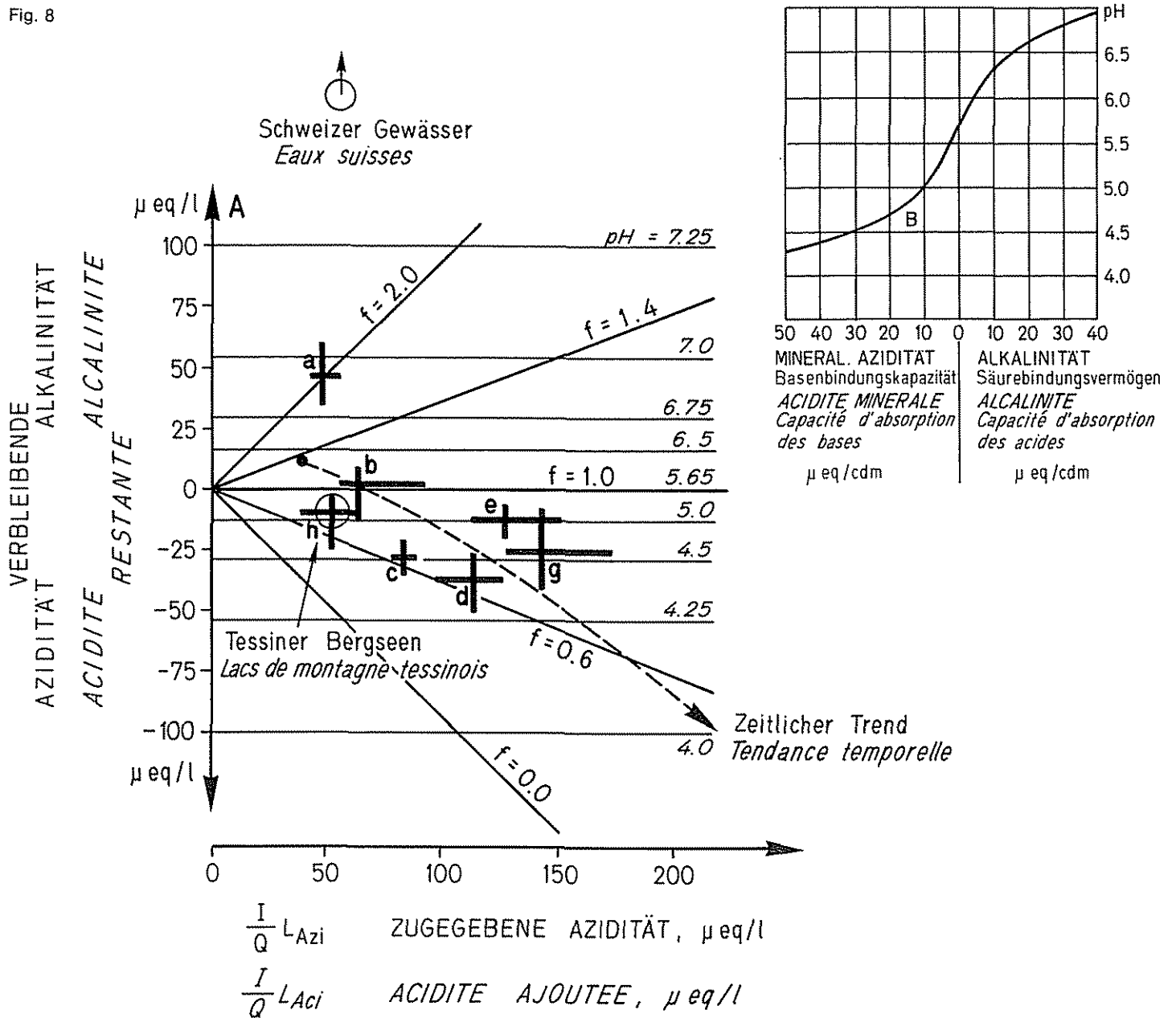
Chemische Zusammensetzung einiger Wässer in der Nähe der Wasserscheide des oberen Maggiateles (Gebiet des Naret-Stausees) (2100–2500 m).

Das Ausmass der Säureneutralisierung des sauren Regen- oder Schneeschmelzwassers (Verwitterung) nimmt mit zunehmender Fläche des Einzugsgebietes, E (grössere Verweilzeit des Wassers), zu; diese ist begleitet von einer Zunahme des pH und der Konzentration von Kieselsäure (H_4SiO_4) und der bei der Auflösung freiwerdenden Kationen. Bedingt durch hydrologische Veränderungen bei der Schneeschmelze können signifikante jahreszeitliche Schwankungen auftreten. Die hier wiedergegebenen Daten entsprechen Messungen von Ende Juli 1982.

Composition chimique de quelques eaux à proximité de la ligne de partage des eaux dans la vallée supérieure de la Maggia (région du barrage du Naret) (2100–2500 m).

L'importance de la neutralisation de l'acide des eaux de pluie ou des fontes de neige (érosion des roches) augmente avec l'accroissement de la surface E de la zone avoisinante (durée de séjour croissante de l'eau); cette neutralisation est accompagnée d'une augmentation du pH et de l'acide silicique (H_4SiO_4) ainsi que des cations libérés lors de la dissolution. A la suite de modifications hydrologiques, il peut y avoir des variations saisonnières. Les données reproduites ci-dessus correspondent aux mesurages de fin juillet 1982.

Fig. 8



Zusammensetzung natürlicher Seen als eine Funktion der Säurebelastung (modifiziert von Schnoor [18]).

Die mit den sauren Niederschlägen in das Einzugsgebiet des Sees eingetragene Azidität wird vor allem durch die Verwitterung (Reaktion mit den Basen der Gesteine) teilweise neutralisiert. f ist der äquivalente Anteil der Säure, die durch Verwitterung neutralisiert wurde ($f=0$ bedeutet keine Neutralisation; $f=1$ entspricht einer perfekten Pufferung, d.h. alle H^+ werden neutralisiert; $f > 1$ bedeutet zusätzliche Alkalisierung, z.B. durch Auflösung von $CaCO_3$ durch CO_2). Der Unterschied zwischen zugegebener Azidität und verbleibender Azidität (= -Alkalinität) entspricht dem Ausmass der Verwitterung (Neutralisation). Für ein wässriges System im Gleichgewicht mit dem CO_2 der Atmosphäre gehört zu jeder Alkalinität (Karbonathärte) oder Azidität ein pH (vgl. Skizze oben rechts). Die gestrichelte Linie stellt den zeitlichen Trend für den Fortschritt der Azidifizierung mit zunehmender Säurebelastung dar.

a und b sind Seen in Minnesota und Wisconsin (USA); c sind der Birkenes- und zwei andere Seen in Norwegen; d sind fünf schwedische Seen; e und g sind Seen in Neu-England und die La-Cloche-Seen in Ontario; h sind Schweizer Seen im oberen Maggiatal (Tessin).

Composition de lacs naturels en tant que fonction de la charge d'acides (Schnoor [18], modifié)

L'acidité introduite dans la zone avoisinante du lac est avant tout neutralisée par l'érosion chimique (réaction avec les bases des roches). f est la part équivalente de l'acide ayant été neutralisée par l'érosion ($f=0$ signifie «pas de neutralisation»; $f=1$ correspond à un effet tampon parfait, c'est-à-dire tous les H^+ sont neutralisés; $f > 1$ signifie une alcalisation complémentaire, par exemple par la dissolution de $CaCO_3$ par CO_2). La différence entre l'acidité ajoutée et l'acidité restante (= - alcalinité) correspond au degré de la dégradation (neutralisation). A chaque système aqueux en équilibre avec le CO_2 de l'atmosphère appartient pour chaque alcalinité (dureté carbonatée) ou acidité un pH (voir esquisse en haut à droite). La ligne pointillée représente la tendance temporelle du progrès de l'acidification avec la charge d'acide croissante.

a et b sont des lacs au Minnesota et en Wisconsin (U.S.A.); c représente le lac Birkenes et deux autres lacs en Norvège; d signifie cinq lacs suédois; e et g sont des lacs en Nouvelle-Angleterre et les lacs La-Cloche en Ontario; h indique les lacs suisses dans la vallée supérieure de la Maggia (Tessin).

Seen keineswegs steril. Da die Zufuhr von Nährstoffen äusserst gering ist – die Wasser enthalten weniger als 5 µg P pro Liter – ist aber die Produktivität klein.

Die Verwitterungsrate im Einzugsgebiet dieser Seen kann aus dem Unterschied zwischen Säurebelastung und verbleibender Azidität berechnet werden; sie beträgt ca. 500 µeq ha⁻¹ Jahr⁻¹. Dies ist etwa halb soviel wie die Verwitterungsrate der Aluminiumsilikate im Einzugsgebiet des alpinen Rheins [6].

Ein Vergleich der sauren Tessiner Bergseen mit andern sauren Seen in Skandinavien, England und Nordamerika (Fig. 8) [5], und eine Berücksichtigung des bei den andern Seen zum Teil beobachteten historischen Trends in der Versauerung zeigt auf, dass die Tessiner Bergseen erst seit kurzer Zeit (5–10 Jahren) die Säurebelastung des Regens nicht mehr ausgleichen konnten. Untersuchungen der gleichen Seen von H. Marrer vor zehn Jahren scheinen dies zu bestätigen. Es muss befürchtet werden, dass die freien Säuren der Niederschläge weiter zunehmen. Bei einer Verdoppelung der H⁺-Ionenkonzentration (Absinken des pH auf 4,2) in den alpinen Niederschlägen würden wahrscheinlich die meisten Bergseen in kristallinen Einzugsgebieten pH-Werte unterhalb 5 aufweisen [4].

Frühwarnsysteme der Natur

Die Atmosphäre ist ein wichtiges Förderband nicht nur für die potentiellen starken Säuren, sondern auch für viele Substanzen, die die aquatischen und terrestrischen Ökosysteme gefährden. Beispielsweise werden auch in nichtstädtischen Gebieten ca. 100g ha⁻¹ Jahr⁻¹ polyaromatische Kohlenwasserstoffe aus der Atmosphäre eingetragen. Regenwasser enthält in dicht besiedelten Gebieten in der Regel höhere Konzentrationen an gelösten Schwermetallen als in unseren Oberflächengewässern. Die atmosphärische Belastung des Bodensees mit Schwermetallen ist um ein bis zwei Grössenordnungen grösser als diejenige der Ozeane [7]. Saure Seen und schlecht wachsende Bäume sind Indikatoren für die Verunreinigung der Atmosphäre. Sie sind Warnsysteme, die uns anthropogene Störungen wichtiger hydrogeochemischer Kreisläufe anzeigen.

Verdankung: Wir danken Herrn G. Righetti vom Dipartimento dell'ambiente, Sezione protezione acqua e aria, 6500 Bellinzona, für seine Hilfe und wertvollen Anregungen.

La concentration de l'aluminium dégagé ne peut monter que jusqu'à la solubilité de l'oxyde d'aluminium; plus le pH est bas, plus grande est la concentration Al³⁺. Le fait que les poissons ne peuvent pas se reproduire dans les lacs acides est probablement dû à la concentration d'Al³⁺ trop élevée et éventuellement aussi à d'autres métaux, et moins à la concentration d'acide libre. En outre, les lacs ne sont pas du tout stériles. Comme l'adduction de substances nutritives est extrêmement minime – les eaux contiennent moins de 5 µg de P par litre – la productivité est forcément petite.

La vitesse d'érosion chimique dans la zone avoisinante des lacs en question peut être calculée sur la base de la différence entre la charge d'acide et l'acidité restante; elle s'élève environ à 500 µeq ha⁻¹ an⁻¹. C'est à peu près la moitié de la vitesse d'érosion des silicates d'aluminium dans la zone avoisinante du Rhin alpin [6].

La comparaison des lacs de montagne acides du Tessin avec d'autres lacs acides en Scandinavie, en Angleterre et en Amérique du Nord (fig. 8) [5] compte tenu de la tendance historique à l'acidification montre que les lacs de montagne tessinois ne peuvent plus compenser la charge en acides depuis peu de temps seulement (5 à 10 ans). Les analyses faites il y a dix ans dans les mêmes lacs par H. Marrer semblent le confirmer. Il y a lieu de craindre que les acides dégagés des précipitations augmenteront encore. En cas de redoublement de la concentration des ions H⁺ (baisse du pH à 4,2) dans les précipitations alpines, la plupart des lacs de montagne situés dans les zones avoisinantes cristallines auraient probablement des valeurs de pH en dessous de 5. [4]

Systèmes d'alarme naturels

L'atmosphère est non seulement un véhicule important pour les acides potentiels forts, mais aussi pour de nombreuses substances qui menacent les systèmes écologiques, aquatiques et terrestres. L'atmosphère apporte par exemple aussi dans des régions non urbaines env. 100g ha⁻¹ an⁻¹ d'hydrocarbures polyaromatiques. Dans des régions très peuplées, l'eau de pluie contient généralement des concentrations de métaux lourds dissous plus élevées que dans nos eaux de surface. La charge du lac de Constance provenant de l'atmosphère est d'un à deux ordres de grandeur plus élevée que celle des océans [7].

Les lacs acides et les arbres qui poussent mal sont des indicateurs de la pollution de l'atmosphère. Ils représentent des systèmes d'alarme qui nous indiquent des perturbations anthropogènes de certains cycles hydrogéochemiques importants.

Remerciement: Nous remercions Monsieur G. Righetti du Dipartimento dell'ambiente, Sezione protezione acqua e aria, 6500 Bellinzona, de son aide et de ses suggestions précieuses.

- [1] J. Zobrist und W. Stumm, Wie sauber ist das Regenwasser? NZZ Nr. 146 (1979).
- [2] W. Stumm, J. J. Morgan und K. L. Schnoor, Saurer Regen, eine Folge der Störung hydrogeochemischer Kreisläufe, Naturwissenschaften, im Druck.
- [3] G. Righetti, Controlle sui laghi alpini del cantone Ticino, Acquicoltura Ticinese, 10. Sept. 1981.
- [4] W. Stumm und G. Righetti, Saurer Regen Saure Schweizer Bergseen, Neue Zürcher Zeitung, Beilage «Forschung und Technik», Nr. 232, 6. Okt. 1982.

- [5] J. L. Schnoor, W. D. Palmer, J. M. Eilers and G. E. Glass, in Modeling of Total Acid Precipation Impacts, J. L. Schnoor, ed., im Druck, Ann Arbor Science.
- [6] J. Zobrist und W. Stumm, Chemical Dynamics of the Rhine Catchment Area, in River Inputs to Ocean Systems (United Nations, 1980).
- [7] L. Sigg, M. Sturm, W. Stumm, L. Mart und H. W. Nürnberg, Schwermetalle im Bodensee; Mechanismen der Konzentrationsregulierung, Naturwissenschaften, Sept. 1982.

Autoren

Dr. Jerald L. Schnoor ist Professor an der Universität von Iowa, USA, am Department of «Civil and Environmental Engineering, Division of Energy Engineering». Prof. Schnoor war im vergangenen Jahr Gastdozent an der EAWAG und wird sich dieses Jahr erneut an unseren Arbeiten beteiligen und sich dazu für drei Monate in der Schweiz aufhalten.

Die Chemikerin *Dr. Laura Sigg* leitet den Fachbereich «Chemische Analytik», welcher der Abteilung Chemie angegliedert ist.

Dr. Werner Stumm, Direktor der EAWAG und Professor an der ETHZ, ist neben seinen wissenschaftlichen, internationalen Kontakten bekannt durch die Herausgabe seines Lehrbuches in Wasserchemie (Aquatic Chemistry), dessen überarbeitete Zweitauflage ins Japanische übersetzt wurde und von dem eine chinesische Übersetzung vorbereitet wird.

Dr. Jürg Zobrist, Chemiker und Mitarbeiter der chemischen Abteilung hat bereits im Jahre 1979 zusammen mit Professor Stumm eine Arbeit über das Schweizer Regenwasser herausgegeben. Die vier Autoren behandeln in ihrem Beitrag eingehend die Belastung der Schweizer Seen durch saure Niederschläge und erläutern deren Einfluss auf einige Bergseen, die in kalkfreien Gebieten mit ausschliesslich kristallinem Gestein liegen.

Thomas Joller hat im Jahre 1977 sein Studium an der ETHZ (Abteilung X, Naturwissenschaften) als Physiker abgeschlossen und ist seither Doktorand bei Prof. Dr. H. Ambühl als Doktorvater und wird von PD Dr. D. Imboden betreut. Seine Tätigkeiten innerhalb des Nationalfondsprojektes über den Einfluss von internen Transportprozessen auf den trophischen Zustand von Seen übt er an der Abteilung für Multidisziplinäre Limnologische Forschung/Erdwissenschaften (MLF) in Kastanienbaum aus. In seiner Dissertation mit dem Thema «Untersuchungen vertikaler Mischungsstrukturen mit chemisch-physikalischen Tracern im Hypolimnion des eutrophen Baldeggersees», welche kurz vor dem Abschluss steht, werden alle Parameter eingehend behandelt, die für die erwähnte Sanierung von Bedeutung sind. In seinem Artikel berichtet er über seeinterne Massnahmen zur Sanierung des Baldegger-, Hallwiler- und Sempachersees und berichtet zugleich über die durchgeführten Versuche und neusten Ergebnisse.

Auteurs

Le *Dr Jerald L. Schnoor* est professeur au «Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Energy Engineering» à l'Université d'Iowa, U.S.A. L'année passée le professeur Schnoor a été professeur hôte à l'EAWAG, et cette année il participera de nouveau à nos travaux et séjournera pour cette raison pendant trois mois en Suisse.

La chimiste *Dr Laura Sigg* dirige la section de «Chimie analytique» attachée à la division de chimie.

Le *Dr Werner Stumm*, directeur de l'EAWAG et professeur à l'EPFZ, est connu, à part ses contacts scientifiques internationaux par la publication de son manuel de chimie aquatique (Aquatic Chemistry), dont la deuxième édition remaniée a été traduite en japonais. La traduction en chinois de cette nouvelle édition est actuellement en cours.

Le *Dr Jürg Zobrist*, chimiste et collaborateur de la division chimique, a déjà publié avec le professeur Stumm un travail sur l'eau de pluie suisse. Les quatre auteurs mentionnés traitent dans leur travail de façon détaillée la charge des lacs suisses causée par les précipitations acides et expliquent leur influence sur quelques lacs de montagne situés dans des régions formées exclusivement par de la roche cristalline, sans dépôts calcaires.

Thomas Joller a terminé ses études de physicien à l'EPFZ (division X, sciences naturelles) en 1977. Depuis lors il est candidat au doctorat sous les auspices du Prof. Dr H. Ambühl, en collaboration avec le privat-docent Dr D. Imboden. Il exerce ses activités au sein du projet du Fond national voué à l'influence des processus de transport internes sur l'état trophique des lacs à la Division de recherche limnologique multidisciplinaire/Sciences de la terre (MLF) à Kastanienbaum. Dans sa thèse de doctorat sur le thème «Analyses des structures de mélange verticales avec des traceurs chimiques ou physiques dans l'hypolimnion du lac de Baldegg eutrophisé» qui sera terminée sous peu, l'auteur traite en détail tous les paramètres ayant de l'importance pour l'assainissement en question. Il parle dans son travail des mesures à prendre à l'intérieur des lacs pour assainir les lacs de Baldegg, Hallwil et Sempach, et en même temps il renseigne sur les essais faits et les résultats les plus récents.

Redaktion/Rédaction: Dr. C. Matter und Dr. P. Perret

Neues über die EAWAG und ihre Mitarbeiter

Der Rektor der ETHZ bestätigte mit einer Bescheinigung den 14 Absolventen des Nachdiplomstudiums «Siedlungswasserbau und Gewässerschutz» den erfolgreichen Abschluss. Die Absolventen, die das Nachdiplomstudium im Herbst 1982 abgeschlossen haben, sind: *J. Berger, M. Cideciyan, M. Dubach, F. Duss, W. Ernst, P. Etter, D. Hornung, E. Kuhn, M. Kurt, O. Sigel, J. Studer, M. Tschui, H. Weber, U. Weilenmann.*

Unter der Leitung von *Prof. Dr. Jennie Ching-I Liu* besuchte eine Delegation der chinesischen Akademie der Wissenschaften der Volksrepublik China die EAWAG. Frau Dr. Liu ist Vizepräsidentin des Instituts für Umweltchemie der Academia Sinica. Während des fünftägigen Aufenthaltes betreute Frau Dr. C. Matter die Gäste.

Zur Förderung des Wissenschaftsaustausches zwischen der Volksrepublik China und der Schweiz wurde *Herr Prof. Dr. Werner Stumm* nach Peking eingeladen, um verschiedene Vorträge zu halten über

- Metallverunreinigende Substanzen in natürlichen Gewässern; Ihre Effekte, kontrollierenden Faktoren und das Schicksal respektive ihre Verteilung in der Umwelt
- Die Rolle der Oxidations- und Reduktionsprozesse in bezug auf die Regulierung der chemischen Zusammensetzung natürlicher Gewässer
- Die Atmosphäre als Förderband wasserunreinigender Substanzen
- Die Verteilung und das Verhalten von Spurenkomponenten und -verunreinigungen innerhalb der aquatischen Umwelt
- Modelle der Kolloidchemie für Partikel in natürlichen Gewässern und Abwasser
- Die Entfernung von partikulären Stoffen bei der Trinkwasseraufbereitung und der Abwasserreinigung
- Globale chemische Kreisläufe und ihre Beeinträchtigung durch den Menschen.

Dr. Alexander J. B. Zehnder hat im Januar 1983 von der EAWAG Abschied genommen, um seinen neuen Wirkungsbereich als Ordinarius für Mikrobiologie an der landwirtschaftlichen Universität von Wageningen, Holland, anzutreten.

Herr Dr. Zehnder war wissenschaftlicher Adjunkt an der EAWAG und Lehrbeauftragter der ETHZ (Abteilungen II und III A) sowie der Universität Zürich (Philosophische Fakultät II). Aktiv beschäftigte er sich auf den Gebieten der Ökophysiologie, Physiologie und Biochemie der Methanbakterien. Er befasste sich ebenfalls mit terminalen Prozessen der anaeroben Diagenese von organischem Material und den Problemen der anaeroben Schlammbehandlung. Als Beispiel multidisziplinärer Zusammenarbeit behandelte er in engem Kontakt mit der chemischen Abteilung die biologischen Transformationen von chlorierten Kohlenwasserstoffen im Grundwasser bzw. bei der Grundwasserbildung.

1971 beendete Herr Dr. Zehnder sein Studium an der ETHZ als Biochemiker und war anschliessend während zweier Jahre als Berater der Weltgesundheitsorganisation (WHO) in Rabat, Marokko, auf dem Gebiete der Wasserqualität tätig. Nach dem Abschluss seiner Doktorarbeit 1976 bei Prof. Dr. K. Wuhmann an der Abteilung für Biologie der EAWAG über das Thema «Ökologie der Methanbakterien», war er als Post Doc im «Department of Bacteriology» der Universität von Madison, USA, tätig. Die mikrobielle Ökologie und Physiologie der Methanbakterien blieben sein Steckenpferd. Zudem beschäftigte er sich bei Prof. Thomas D. Brock mit Prozessen in marinen und lakustrischen Sedimenten sowie bei der Schlammbehandlung. Er behandelte ebenfalls Probleme

Nouvelles concernant l'EAWAG et ses collaborateurs

Par la remise d'un certificat, le recteur de l'EPFZ a attesté aux 14 candidats qu'ils avaient achevé avec succès le cours post-grade en matière de «Construction hydraulique dans les agglomérations et de protection des eaux». Les candidats ayant terminé le cours post-grade en question en automne 1982 sont les suivants: *J. Berger, M. Cideciyan, M. Dubach, F. Duss, W. Ernst, P. Etter, D. Hornung, E. Kuhn, M. Kurt, O. Sigel, J. Studer, M. Tschui, H. Weber, U. Weilenmann.*

Une délégation de l'Académie chinoise des sciences de la République populaire de Chine sous la direction du *Prof. Dr Jennie Ching-I Liu*, vice-présidente de l'Institut pour la chimie de l'environnement de l'Academia Sinica, a rendu visite à l'EAWAG. Madame C. Matter a bien voulu prendre soin des hôtes pendant leur séjour de cinq jours.

Dans le but de favoriser l'échange scientifique entre la République populaire de Chine et la Suisse, le *Prof. Dr Werner Stumm* a été invité à Pékin pour donner une série de conférences sur

- les substances métalliques polluantes dans les eaux naturelles, leurs effets, les facteurs contrôlants et leur répartition dans l'environnement
- le rôle des processus d'oxydation et de réduction dans le réglage de la composition chimique d'eaux naturelles
- l'atmosphère comme agent transporteur de substances qui polluent l'eau
- la répartition et le comportement des composantes traces et les polluants traces dans l'environnement aquatique
- les modèles de la chimie colloïdale pour les particules contenues dans les eaux naturelles et dans les eaux usées
- l'élimination des matières solides dans la préparation de l'eau potable et l'épuration des eaux usées
- les cycles chimiques globaux et leur perturbation par l'homme.

Le Dr. Alexander J. B. Zehnder a pris congé de l'EAWAG en janvier 1983 pour se consacrer à sa nouvelle activité de professeur titulaire de microbiologie à l'Université agricole de Wageningen en Hollande.

Le Dr Zehnder était adjoint scientifique à l'EAWAG et chargé de cours à l'EPFZ (divisions II et III A) ainsi qu'à l'Université de Zurich (faculté de philosophie II). Son activité s'étendait aux domaines de la physiologie écologique, la physiologie et la biochimie des bactéries de méthane. Il se consacrait également aux processus terminaux de la diagenèse anaérobie du matériel organique et au traitement anaérobie des boues. Faisant preuve de collaborations multidisciplinaires, il travaillait aussi avec la division de chimie sur les transformations biologiques des chlorures d'hydrocarbures dans les nappes souterraines ou lors de la formation de celles-ci. Le Dr Zehnder a terminé ses études en biochimie à l'EPFZ en 1971. Il a ensuite travaillé pendant deux ans comme conseiller de l'Organisation mondiale de la Santé (O.M.S.) à Rabat au Maroc dans le domaine de la qualité de l'eau. En 1976, après avoir terminé son doctorat sur le thème «L'écologie des bactéries de méthane» chez le Prof. Dr K. Wuhmann à la division de Biologie de l'EAWAG, il a travaillé en qualité de Post Doc au «Department of Bacteriology» à l'Université de Madison aux U.S.A. L'écologie microbienne et la physiologie des bactéries de méthane sont restées son violon d'Ingres. En outre, il a travaillé chez le Prof. Thomas Brock sur les processus se déroulant dans les sédiments marins et lacustres ainsi que pendant le traitement des boues. Il s'est aussi occupé de problèmes bio-énergétiques. En 1979, il a changé d'université pour s'établir à l'Université de Stanford en Cali-

der Bioenergetik. Im Jahre 1979 übersiedelte er an die Stanford-Universität in Kalifornien, USA, wo er ein Jahr lang die Stelle als Assistenzprofessor des «Department of Civil Engineering» bekleidete, und kehrte 1980 an die EAWAG zurück. Die Schwerpunkte seiner Forschungstätigkeit an der landwirtschaftlichen Universität von Wageningen sind einerseits die Bodenmikrobiologie inklusive Stickstoff-Fixierung und andererseits die Mikrobiologie des Grundwassers und der Abwasserreinigung. Wir wünschen Herrn Dr. Alexander Zehnder mit seinem fünfzigköpfigen Mitarbeiterstab in Holland viel Erfolg.

fonie U.S.A. où il a rempli la fonction de professeur assistant au «Department of Civil Engineering» pendant une année, et il est retourné à l'EAWAG en 1980. Les points-clé de son activité de recherche à l'Université agricole de Wageningen sont d'une part la microbiologie du sol, y compris la fixation de l'azote, et d'autre part la microbiologie des nappes souterraines et de l'épuration des eaux usées. Nous souhaitons plein succès en Hollande au Dr Alexander Zehnder et à ses cinquante collaborateurs.



Fig. 9:

Besuch einer Delegation der chinesischen Akademie der Wissenschaften der Volksrepublik China an der EAWAG.
 Une délégation de l'Académie chinoise des Sciences de la République populaire de Chine en visite à l'EAWAG.
 von links nach rechts/de gauche à droite:

1. Reihe vorn/au 1^{er} rang: E. Cheng, Prof. Dr. W. Stumm, Prof. Dr. J. Liu, Dr. C. Matter, S. Zheng, Prof. K. Hu, M. Yu.
2. Reihe hinten/au 2^e rang: R. Wang, R. Schertenleib, Dr. Kl. Mechsner, Prof. H. Tang, Dr. J. Hoigné.

Dr. Christina Matter-Müller hat die EAWAG gegen Ende 1982 verlassen, um in einem ihrer Familie nahestehenden Betriebe eine grössere Management-Aufgabe zu übernehmen. Nach der Diplomierung als Chemieingenieurin hat sie mit einer an der EAWAG ausgeführten Arbeit über «Sorptions- und Stoffaustauschprozesse refraktärer organischer Stoffe in einer Belebtschlammanlage» an der ETHZ doktoriert. Nach der Vertiefung Ihrer Forschungsausbildung am Ingenieurdepartement der Stanford-Universität konnte Frau Matter an die EAWAG zurückgewonnen werden, wo sie als Mitglied des Direktionsstabes verantwortungsvolle Aufgaben über die Valorisation der EAWAG-Forschung übernahm. Ferner hat sie die Redaktion der EAWAG-Mitteilungen (dies ist die letzte von ihr redigierte Nummer) und anderer Publikationen betreut. Sie hat sich vor allem als «Verbindungsmann» zur Direktion bei den Koordinationsaufgaben von abteilungsübergreifenden Forschungsprojekten grosse Verdienste erworben.

W. Stumm

Madame Christina Matter-Müller, Dr ès chimie, a quitté l'EAWAG vers la fin 1982 pour se charger d'un poste d'organisation dans une entreprise familiale. Après son diplôme d'ingénieur chimiste, elle a obtenu son doctorat de l'EPFZ pour un travail effectué à l'EAWAG sur les procédés de sorption et d'échange de matières organiques réfractaires dans une installation à boues activées. Après avoir approfondi ses connaissances au département ingénieur de l'Université de Stanford, l'EAWAG a eu la joie de «récupérer» Madame Matter. Elle y a assumé, en tant que membre de la direction, un poste de responsabilités pour la valorisation de la recherche effectuée à l'EAWAG. En outre, elle était chargée de la rédaction des Nouvelles de l'EAWAG (ce numéro est sa dernière contribution) et d'autres publications. Elle était surtout estimée pour ses mérites «de personne de liaison» de la direction pour la coordination de travaux de recherche interdisciplinaires.

W. Stumm

Kurs für Fortgeschrittene in mikrobieller Ökologie im Seenforschungslaboratorium in Kastanienbaum

Vom 13. September bis 8. Oktober 1982 fand im Seenforschungslaboratorium in Kastanienbaum ein Fortbildungskurs in mikrobieller Ökologie für fortgeschrittene Wissenschaftler aus verschiedenen Teilen Europas und aus Übersee statt. Die Organisatoren, *Prof. Dr. R. Bachofen* (Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Zürich), *Prof. Dr. N. Pfennig* (Biologische Fakultät der Universität Konstanz) und der EAWAG-Angehörige *Dr. A. J. B. Zehnder*, offerierten in diesem vierwöchigen Kurs eine Mischung aus theoretischen Instruktionen und experimentellen Labor- und Feldarbeiten. Das Programm für die erste Woche bestand aus einer Einführung in die Mikrobiologie der anaeroben Bakterien (methanogene Bakterien, Sulfatreduzierer, photosynthetische Schwefel- und Nichtschwefelbakterien) und deren Kultivierungstechniken. Die übrigen drei Wochen waren den in der Natur ablaufenden, anaeroben Prozessen gewidmet, insbesondere der Quantifizierung des Schwefel- und Kohlenstoffzyklus und der qualitativen Beschreibung ihrer Bakteriologie. Als Studienobjekte dienten der Rot- und der Soppensee, zwei eutrophe Seen der Zentralschweiz. Von total 37 Teilnehmern besuchten 22 nur den ersten Teil des Kurses. Aufgrund der limitierten Anzahl Laborplätze musste die Teilnehmerzahl für den zweiten Teil auf 15 beschränkt werden.

Der persönliche Einsatz und Enthusiasmus aller Beteiligten brachte manche neuen Daten und Information vor allem über den Rotsee. In zwei separaten Publikationen wird über die neusten Erkenntnisse berichtet werden.

Cours avancé d'écologie microbienne organisé au Laboratoire de Recherches des lacs à Kastanienbaum

Du 13 septembre au 8 octobre 1982, il a été organisé un cours de perfectionnement en écologie microbienne pour des scientifiques venant de différentes parties d'Europe et d'outre-mer. Les organisateurs, soit le *Prof. Dr. R. Bachofen*, (Institut pour la Physiologie des plantes de l'Université de Zurich), le *Prof. Dr. N. Pfennig*, (Faculté biologique de l'Université de Constance) et le collaborateur de l'EAWAG, le *Dr. A. J. B. Zehnder*, ont offert aux participants de ce cours d'une durée de quatre semaines un programme composé d'instructions théoriques et de travaux expérimentaux au laboratoire et sur le terrain. Le programme établi pour la première semaine comprenait une introduction à la microbiologie des bactéries anaérobies (bactéries méthanogènes, réducteurs de sulfate, thiobactéries et autres bactéries photosynthétiques) et la technique de leur culture. Les trois autres semaines étaient consacrées aux processus anaérobies se déroulant dans la nature, notamment à la quantification du cycle du soufre et du carbone et à la description qualitative de leur bactériologie. Le Rotsee et le Soppensee, deux lacs eutrophisés de la Suisse centrale, ont servi d'objets d'études.

22 des 37 participants seulement ont suivi la première partie du cours. En raison des places de travail limitées au laboratoire, le nombre des participants à la seconde partie a dû être réduit à 15.

L'engagement personnel et l'enthousiasme de tous les participants ont apporté plusieurs données et informations nouvelles, notamment concernant le Rotsee. Deux publications séparées donneront des informations sur les dernières connaissances acquises.

EAWAG-Publikationen

- 893
Bloesch, J.: Inshore-Offshore Sedimentation Differences Resulting from Resuspension in the Eastern Basin of Lake Erie. *Canad. J. of Fisheries & Aquatic Sci.* 39, 748-759 (1982).
- 894
Bloesch, J., Evans, R.D.: Lead-210 Dating of Sediments Compared with Accumulation Rates Estimated by Natural Markers with Sediment Traps. *Hydrobiologia* 92, 579-586 (1982).
- 895
Mechsner, K., Wuhrmann, K.: Cell Permeability as a Rate Limiting Factor in the Microbial Reduction of Sulfonated Azo Dyes. *Europ. J. Appl. Biotechnol.* 15, 123-126 (1982).
- 896
Siever, R., Stumm, W.: Quality of Water - Surface and Subsurface. «Scientific Basis of Water Research Management», U.S. National Academy, Washington 1982, pp. 58-71.
- 897
Schaffner, C., Stephanou, E., Giger, W.: Determination of Nonylphenols and Nonylphenolethoxylates in Secondary Sewage Effluents. In: «Analysis of Organic Micropollutants in Water». Ed. by A. Bjørseth & G. Angeletti. D. Reidel Publ., Dordrecht, Boston & London 1982, pp. 330-334.
- 898
Zürcher, F.: Simultaneous Determination of Total Purgable Organochlorine, -Bromine and -Fluorine Compounds in Water by Ion-Chromatography. In: «Analysis of Organic Micropollutants in Water». Ed. by A. Bjørseth & G. Angeletti. D. Reidel Publ., Dordrecht, Boston & London 1982, pp. 272-276.
- 899
Hoigné, J., Bader, H.: Rate Constants of Reactions with Organic and Inorganic Compounds in Water I. *Water Research* (1982).
- 900
Hoigné, J., Bader, H.: Rate Constants of Reactions of Ozone with Organic and Inorganic Compounds in Water II. *Water Research* (1982).
- 901
Henseler, G.: Vergleichende Beurteilung verschiedener Klärschlammbewirtschaftungsarten. *Gas - Wasser - Abwasser* 62, 222-227 (1982).
- 902
Henseler, G.: Die Kosten der Kärschlammbehandlung in der Schweiz. *Wasser, Energie, Luft* 74, 150-152 (1982).
- 903
Staehelin, J., Hoigné, J.: Decomposition of Ozone in Water. *Environ. Sci. & Technol.*
- 904
Grob, K., Grob, G., Blum, W., Walther, W.: Preparation of Inert Glass Capillary Columns for Gas Chromatography. *J. of Chromatogr.* 244, 197-208 (1982).
- 905
Gujer, W., Krejci, V., Schwarzenbach, R., Zobrist, J.: Von der Kanalisation ins Grundwasser - Charakterisierung eines Regenereignisses im Glattal. *Gas - Wasser - Abwasser* 62, 298-311 (1982).
- 906
Stephanou, E., Giger, W.: Persistent Organic Chemicals in Sewage Effluents II. Quantitative Determination of Nonylphenols and Nonylphenol Ethoxylates by Glass Capillary Chromatography. *Environ. Sci. & Technol.* (1982).
- 907
Grauer, R., Stumm, W.: Die Koordinationschemie oxidischer Grenzflächen und ihre Auswirkung auf die Auflösungskinetik oxidischer Festphasen in wässrigen Lösungen. *Colloid & Polymer Sci.*
- 908
Grob, K., Grob, G.: Capillary Columns with Immobilized Stationary Phases. Part 5: Determination of Column Bleeding; Re-silylation. *J. of HRC & CC* 5, 349-354 (1982).
- 909
Sturm, M., Zeh, U., Müller, J., Sigg, Laura, Stabel, H.H.: Schwebstoffuntersuchungen im Bodensee. *Eclogae Geol. Helv.* 75, (3) (1982).
- 910
Gewässerschutz in ländlichen Gebieten. *Gas-Wasser-Abwasser* 62, 11, 545-579 (1982)
- Gujer, W.: Gewässerschutz in ländlichen Gebieten.
- Gujer, W., Krejci, V., Eichenberger, E.: Hinweise für die Wahl von Einleitbedingungen für kleine Abwasserquellen.
- Fleckseder, H.: Sind kleine Abwasserreinigungsanlagen tatsächlich so schlecht wie ihr Ruf?
- Fleckseder, H., Gujer, W., Krejci, V.: Abwasserreinigung bei stark schwankendem Anfall.
- Fleckseder, H., Krejci, V.: Absetzen, anaerobe Abwasserreinigung, Schlammfäulung und Schlammwässerung bei kleinen Abwasserreinigungsanlagen.
- Fleckseder, H., Krejci, V.: Überlegungen zum Einsatz unbelüfteter Abwasserteiche.
- Gujer, W., Fleckseder, H.: Gedanken zu kleinen Belebtschlamm-anlagen.
- 911
Zürcher, F., Bader, H., Hoigné, J.: Verhalten organischer Spurenstoffe bei der Ozonung von Trinkwasser. *Activity Rep. of the Community-COST Concertation Committee* (Oct. 1987-Dec. 1981), Vol. 2, pp. 198-213.
- 912
Stumm, W., Righetti, G.: Tessiner Bergseen: saurer Regen, saure Traufe. *Neue Zürcher Zeitung, Beil. «Forschung und Technik»*, 6. Okt. 1982, Nr. 231.
- 913
Baccini, P., Grieder, E., Stierli, Ruth, Goldberg, Sabine: The Influence of Natural Organic Matter on the Adsorption Properties of Mineral Particles in Lake Water. *Schweiz. Z. Hydrol.* 44/1, 99-116 (1982).
- 914
Hoigné, J.: Mechanisms, Rates and Selectivities of Oxidations of Organic Compounds Initiated by Ozonation of Water. In: R. G. Rice, A. Netzer (Eds.): «Handbook of Ozone Technology and Applications», Vol. 1, Ann Arbor Science, Ann Arbor 1982, pp. 341-379.
- 915
Graydon, J., Grob, K.: How Efficient Are Capillary Cold. *J. of Chromatography* (1983).
- 916
Bader, H., Hoigné, J.: Colorimetric Method for Measurement of Aqueous Ozone Based on Decolorization of Indigo Derivates. In: «Ozonation Manual for Water & Wastewater Treatment», 1982.
- 917
Stumm, W., Morgan, J. J., Schnoor, J. L.: Saurer Regen, eine Folge der Störung hydrogeochemischer Kreisläufe. *Naturwissenschaften* (1983).
- 918
Haag, W.R., Hoigné, J., Bader, H.: Ozonung bromidhaltiger Trinkwasser: Kinetik der Bildung sekundärer Bromverbindungen. *Vom Wasser* 59, 237-251 (1982).
- 919
Hoigné, J., Bader, H.: Kinetik typischer Reaktionen von Chlordioxid mit Wasserinhaltsstoffen. *Vom Wasser* 59, 253-267 (1982).

920

Boller, M.: Weitergehende Gewässerschutzmassnahmen im Einzugsgebiet stehender Gewässer. Forum Städte-Hygiene (1983).

921

Gujer, W., Krejci, V.: Abwasserreinigung in kleinen Kläranlagen. Neue Zürcher Ztg., Beil. «Forschung und Technik», Nr. 214, 15.9.1982.

922

Stumm, W.: Assessing the Environmental Behaviour of Aquatic Pollutants. Hydrol. Sci. Bull.

923

Gächter, R., Urech, J.: Feasibilities and Limits of Field Experiments to Study Ecological Implications of Heavy Metal Pollution. In: «Trace Element Speciation in Surface Waters and Its Ecological Implications». Plenum Press, pp. 137-158.

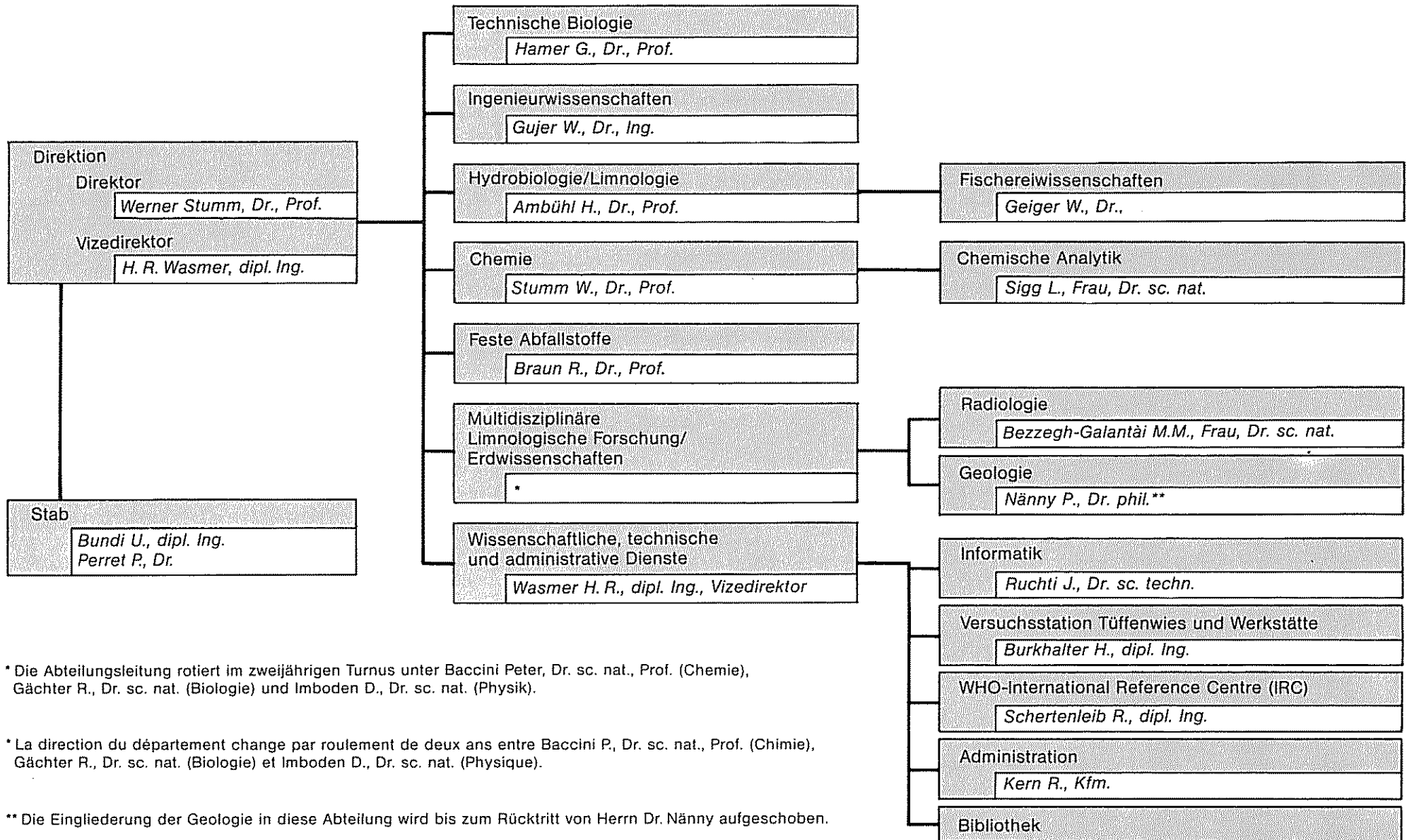
924

Sigg, Laura, Sturm, M., Stumm, W., W., Mart, L., Nürnberg, H. W.: Schwermetalle im Bodensee – Mechanismen und Konzentrationsregulierung. Naturwiss. 69, 546-547 (1982).

Organigramm der EAWAG

Fachabteilung

Fachbereiche und Organisationseinheiten



* Die Abteilungsleitung rotiert im zweijährigen Turnus unter Baccini Peter, Dr. sc. nat., Prof. (Chemie), Gächter R., Dr. sc. nat. (Biologie) und Imboden D., Dr. sc. nat. (Physik).

* La direction du département change par roulement de deux ans entre Baccini P., Dr. sc. nat., Prof. (Chimie), Gächter R., Dr. sc. nat. (Biologie) et Imboden D., Dr. sc. nat. (Physique).

** Die Eingliederung der Geologie in diese Abteilung wird bis zum Rücktritt von Herrn Dr. Nänny aufgeschoben.

** L'intégration de la géologie dans ce département est repoussée jusqu'au départ de Dr. Nänny.