

Chimia 48 (1994) 475–478  
 © Neue Schweizerische Chemische Gesellschaft  
 ISSN 0009–4293

# Ein Umweltchemie-Praktikum an der Fachhochschule Darmstadt

Peter Fischer, Stefan Hüttenhain, Volker Kramb und Volker Wiskamp\*

**Abstract.** It should be an aim of chemical education to make students meet aspects of environmental protection in the lab courses. Students at the Fachhochschule Darmstadt carry out model experiments on metal (Ag, Cu) and polymer (PMMA, PET, PS, paper) recycling and on air and water purification like gas washing, charcoal adsorption, or treatment with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV light. They are made familiar with analytical methods like AAS, UV/VIS spectroscopy and polarography to determine traces of heavy metals in the environment and work on a research project on decontamination of soil.

## Einleitung

Der Umweltschutz spielt eine immer grössere Rolle und muss daher insbesondere auch in der praktischen Chemieausbildung vermittelt werden. Dies kann im Sinne des Zürcher Modells [1] praktikumsintegriert erfolgen: Durch konsequentes Prüfen, ob Lernziele auch beim Arbeiten mit ungiftigen statt mit hochtoxischen und umweltschädigenden Stoffen erreichbar sind, durch Verkleinern von Ansätzen, Weiterverwerten von Präparaten, getrenntes Sammeln von Resten, Recycling von Ausgangsverbindungen und Lösungsmitteln sowie fachgerechter Entsorgung nicht wiederverwertbarer Reste durch die Studenten selbst gelingt es, nicht nur das Sondermüllaufkommen eines Chemiefachbereichs erheblich zu reduzieren, sondern auch, den Auszubildenden wichtige Elemente des Umweltschutzes beizubringen, ohne dass klassische Lehrinhalte zu kurz kommen (vgl. auch [2–5]). Weiterhin kann Umweltchemie in speziellen Praktika thematisiert werden. Das an der Fachhochschule Darmstadt neu konzipierte Umweltchemie-Praktikum, über das im folgenden berichtet wird, gliedert sich in drei Teile, die von Studierenden nach dem Vordiplom unabhängig voneinander als zweiwöchige Blockkurse durchgeführt und mit jeweils vier Semesterwochenstunden im Wahlpflichtprogramm angerechnet werden.

Der erste Teil beinhaltet Modellversuche zur Luft- und Wasserreinigung, zum

Metall- und Polymerrecycling und zur Verwendung nachwachsender Rohstoffe. Der zweite Teil bringt den Studierenden einige analytische Standardmethoden zur Untersuchung von Umweltbelastungen nahe. Im dritten Teil schliesslich werden kleine Forschungsprojekte zum Thema Bodensanierung bearbeitet.

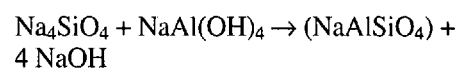
## 1. Modellversuche zur Umweltchemie

Vor Beginn des Praktikums müssen sich die Studenten z.B. anhand der Literaturstellen [6–17] in verschiedene Themen des Umweltschutzes einarbeiten und darüber ein Kolloquium ablegen. Dann führen sie (als Zweiergruppe) die im folgenden beschriebenen Versuche nach vorgegebenen Vorschriften durch und recyceln ihre Versuchsreste bzw. entsorgen sie fachgerecht im Sinne des praktikumsintegrierten Umweltschutzes (s. o.), denn ein Umweltchemie-Praktikum wäre didaktisch wenig sinnvoll, wenn es selbst zur Umweltverschmutzung beitrüge. Abschliessend schreiben die Studenten einen Bericht über die erzielten Ergebnisse.

### 1.1. Synthese von Zeolith A und Aktivkohle

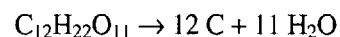
Zunächst stellen die Praktikanten zwei im Umweltschutz häufig verwendete Stoffe her: Zeolith A (wird z.B. als Ionenaustauscher zum Binden von Schwermetallen eingesetzt [6]) und Aktivkohle (Adsorbens insbesondere für organische Luft- und Wasserinhaltsstoffe [7]).

In enger Anlehnung an eine Patentvorschrift [18] (vgl. auch [19]) wird Wasserglas mit einer Natriumaluminat-Lösung vereinigt, wobei das Alumosilicat auskristallisiert.



Seine Aufnahmekapazität für Ca-Ionen ist etwa halb so gross wie die eines Zeolith A-Industrieproduktes (*Degussa*).

Die technische Herstellung von Aktivkohle durch chemische Aktivierung von Kohlenhydraten lässt sich im Praktikum am Beispiel der Entwässerung von Rohrzucker modellhaft demonstrieren [19]. Der Zucker wird entweder bei 600–800 K thermisch oder mit konz. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> entwässert.



Die resultierenden Zuckerkohlen können eine sehr verdünnte Methylenblaulösung entfärben, haben also grundsätzlich adsorbierende Eigenschaften, wenn auch erwartungsgemäss nicht in dem Masse wie eine Handelskohle (*Merck*).

### 1.2. Luftreinigung

Die Methode der Wahl zur Entfernung anorganischer Gase aus einem Luftstrom ist die Gaswäsche, zur Entfernung organischer Lösungsmitteldämpfe die Adsorption an Aktivkohle [8].

Die Studenten erzeugen z.B. Cl<sub>2</sub> (aus KMnO<sub>4</sub> und HCl), SO<sub>2</sub> (aus Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> und H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), H<sub>2</sub>S (aus FeS und H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) oder NH<sub>3</sub> (aus NH<sub>4</sub>Cl und NaOH oder aus dem im anorganischen Grundpraktikum anfallenden Cu(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>SO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O und NaOH) und absorbieren es in einer geeigneten Waschflüssigkeit (NaOH für Cl<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>S, Bildung von NaOCl/NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> für NH<sub>3</sub>, Bildung von (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Die absorbierte Gasmenge wird iodometrisch oder acidimetrisch bestimmt. In der Regel wird mehr als 95% der theoretisch möglichen Gasmenge in der Wasch-Lösung wiedergefunden, womit die Effektivität der Gaswäsche bewiesen ist [20][21].

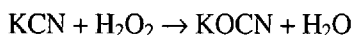
Die Rückgewinnung von verdampfendem organischem Lösungsmittel wird folgendermassen demonstriert [22]: In einem Rotationsverdampfer werden 100 g CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> destilliert. In der Vorlage werden nur 90 g davon wiedergefunden, der Rest ist verdampft. Schaltet man an die obere Öffnung des Rotationsverdampfers ein Rohr mit 30 g ausgeheizter körniger Aktivkohle, wird dort 10 g CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>-Gas festgehalten, was an einer entsprechenden Gewichtszunahme der Kohle zu erkennen ist. Beim anschliessenden Ausheizen der beladenen Kohle in einer Destillationsapparatur wird das CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> desorbiert und destilliert über, womit das Lösungsmittel und die Kohle gleichzeitig recycelt sind.

\*Korrespondenz: Prof. Dr. V. Wiskamp  
 Fachbereich Chemische Technologie der  
 Fachhochschule Darmstadt  
 Hochschulstrasse 2  
 D-64289 Darmstadt

1.3. Wasserreinhalung

1.3.1. Cyanidentgiftung

Cyanide spielen in der Technik eine grosse Rolle, z.B. bei der Gold- und Silberlaugung oder in der Galvanikindustrie [23]. Freies Cyanid lässt sich mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> glatt zerstören:



Es bildet sich zunächst das etwa tausendmal weniger giftige Cyanat, das dann langsam zu Carbonat hydrolysiert. Im Modellversuch lässt sich im Eindampfungsrückstand einer mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> behandelten Cyankali-Lösung IR-spektroskopisch kein Cyanid mehr nachweisen [24] (wir ziehen die IR-Spektroskopie zur Analyse heran, um das Praktikum methodisch zu bereichern).

Genauso gut lässt sich Cyanid mit Hypochlorit zerstören:

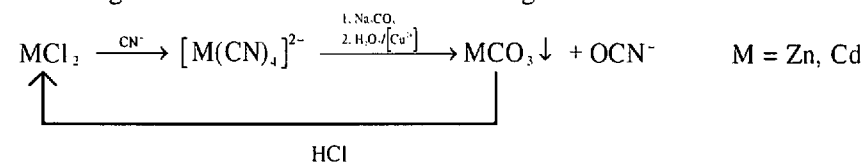


Probleme können dabei allerdings auftreten, wenn das cyankalihaltige Wasser zusätzlich gelöste organische Stoffe enthält, die vom intermediär gebildeten Chlorcyan chloriert werden können, so dass toxische Folgeprodukte entstehen [25]. Am Beispiel der Behandlung einer resorcinhaltigen KCN-Lösung mit NaOCl erkennen die Studenten, dass zwar mit der Cyanidoxidation ein Umweltproblem gelöst, dafür aber ein anderes kreiert wird, denn das zuvor an chlororganischen Verbindungen freie Wasser enthält nun signifikante Mengen davon, was durch eine AOX-Messung bestätigt wird [26]. Dies kommt der Umwelt insgesamt natürlich nicht zugute. Die Entgiftung der resorcinhaltigen KCN-Lösung mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ist also das eindeutig bessere Verfahren, da hierbei überhaupt keine Chlorierungsprodukte entstehen können [27].

An Schwermetallionen gebundenes Cyanid erfordert häufig den Einsatz eines Katalysators, um mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oxidiert werden zu können. Dies wird folgendermassen demonstriert: Versetzt man eine ZnCl<sub>2</sub>- oder CdCl<sub>2</sub>-Lösung mit Soda, so fallen die Metallcarbonate aus. Die Fällung bleibt erwartungsgemäss aus, wenn die Metallkationen zuvor mit Cyanidionen unter Ausbildung der Komplexe [M(CN)<sub>4</sub>]<sup>2-</sup> maskiert wurden. Gibt man zu den sodahaltigen Komplexlösungen H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, passiert zunächst nichts. Erst nach Zugabe eines Tropfens CuSO<sub>4</sub>-Lösung setzt spontan eine Carbonatfällung ein. Dies kann dadurch erklärt werden, dass Cyanidionen auf das zweiwertige Kupfer übertragen werden, welches in einwertiges unter gleichzeitiger Bildung von Dicyan übergeht. Dieses wird

von H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> weiter- und das einwertige Kupfer zu zweiwertigem rückoxidiert, womit der Katalysezyklus geschlossen ist [24].

Die ausgefallenen Metallcarbonate werden abfiltriert und mit HCl in die Ausgangsverbindungen ZnCl<sub>2</sub> und CdCl<sub>2</sub> übergeführt, so dass kein zu entsorgender Giftmüll übrig bleibt.



1.3.2. Fotochemische Abwasserbehandlung

Besonders schwer abbaubare Verbindungen wie chlorierte Kohlenwasserstoffe oder Metall-EDTA-Komplexe können nur mit sehr drastischen Oxidationsmethoden wie z.B. mit Ozon, UV-Licht, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Fotohalbleitern sowie Kombinationen davon zerstört werden [10–12]. Die Studenten führen dazu drei Modellversuche durch. Zunächst versuchen sie, CaEDTA<sup>2-</sup> in einer sodahaltigen Lösung mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> zu zerstören. Dies gelingt erst nach mehreren h und ist an einer leichten Trübung der Reaktionsmischung durch ausfallendes CaCO<sub>3</sub> zu erkennen. Wenn die H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/CaEDTA<sup>2-</sup>-Mischung aber in einem UV-Tauchlampenreaktor mit einem Hg-Hochdruckbrenner bestrahlt wird [28], bilden sich aus H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> OH-Radikale, die aufgrund ihres grossen Oxidationspotentials von 2.8 V das komplexgebundene EDTA zerstören, wodurch die Maskierung des Calciums aufgehoben und die Kalksteinbildung schon nach kurzer Zeit sichtbar wird.

Eine mit CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> gesättigte wässrige Lösung (bereitet durch Schütteln von H<sub>2</sub>O mit CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> und anschliessender Phasentrennung) wird mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> versetzt und bestrahlt. Nach wenigen min lässt sich die beginnende Mineralisierung des chlorierten Kohlenwasserstoffs dadurch beweisen, dass bei Zugabe von AgNO<sub>3</sub>-Lösung weisses AgCl ausfällt [28].

Abschliessend zum Thema 'Fotochemische Abwasserbehandlung' verfolgen die Studenten den Abbau der Wasserinhaltsstoffe Phenol (0,02% Lösung, mit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> auf pH = 3 eingestellt) oder *p*-Toluolsulfonsäure (0,05% Lösung) in Gegenwart des Fotohalbleiters TiO<sub>2</sub> (P25, Degussa, 0,1% Suspension) und durchgeleiteter Luft in Abhängigkeit von der Bestrahlungsdauer (vgl. [29][30]). Der Chemische Sauerstoffbedarf (*Merck Spectroquant 14555*) der Lösungen ist nach 4 h Bestrahlung auf etwa 50% der Ausgangswerte gesunken. Nur noch ca. 20% des ursprünglich eingesetzten Phenols ist vorhanden (*Merck Spectroquant Phenoltest 14551*) bzw. der theoretisch möglichen Menge Sulfat (Spal-

tung der *p*-Toluolsulfonsäure) ist entstanden (*Merck Spectroquant Sulfatest 14789*).

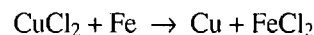
Der Abbau kann nach [29] folgendermassen erklärt werden: Durch Einwirkung von UV-Licht werden Elektronen aus dem Valenzband des TiO<sub>2</sub> in das Leitungsband angehoben. Die dadurch im Valenzband

entstehenden positiven Löcher werden durch Elektronen aus dem Wasser aufgefüllt, wodurch Wasserradikale und durch anschliessende Dissoziation Protonen und OH-Radikale entstehen. Diese bauen die organischen Wasserinhaltsstoffe dann über mehrere Zwischenstufen zu CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O ab [12]. Luftsauerstoff begünstigt den Prozess, indem er die angeregten Valenzelektronen abfängt.

Den Studenten wird klargemacht, dass die Versuche zum fotochemischen Abbau von CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, Phenol und *p*-Toluolsulfonsäure lediglich Modellcharakter haben. Will man die Wässer vollständig und schnell entgiften, wird man sicherlich auf die Methode der Adsorption an Aktivkohle zurückgreifen (s. o.). Diese nutzen die Praktikanten auch aus, um die Versuchsreste zu konditionieren. Nach 10 min Rühren mit pulverförmiger Aktivkohle weisen die klaren Filtrate praktisch keinen CSB mehr auf.

1.4. Rückgewinnung von Metallen

In der Elektronikindustrie werden Leiterplatten aus Kupfer mit FeCl<sub>3</sub>-Lösung gebeizt. Dabei geht ein Teil des Kupfers als CuCl<sub>2</sub> in Lösung und die entsprechende Menge FeCl<sub>3</sub> wird zu FeCl<sub>2</sub> reduziert. In der Regel wird das Halbedelmetall Kupfer aus dem Beizbad durch kathodische Reduktion wiedergewonnen [23]. Im Praktikum wird die Cu-Gewinnung durch Zementation mittels Eisen bevorzugt [31]:



Im zweiten Versuch zum Thema Metallrecycling wird aus einer Röntgen-Platte Silber gewonnen [32]. Zunächst wird die silberhaltige Gelatineschicht mit NaOH von der Trägerfolie abgespült. Die feinteilige Silbersuspension wird gekocht, um das Silber zu koagulieren und danach abzusaugen und zu waschen. Das Rohsilber wird zwecks Reinigung mit HNO<sub>3</sub> zu AgNO<sub>3</sub> gelöst, mit HCl zu AgCl gefällt und dieses, suspendiert in NaOH, mit Formaldehyd-Lösung zu reinem Silber reduziert. Das formaldehydhaltige Filtrat wird mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> entgiftet.

### 1.5. Polymerrecycling

Vier polymere Gegenstände des täglichen Lebens werden nach fünf grundsätzlich verschiedenen Verfahren aufbereitet, um den Studierenden einige der zahlreichen Möglichkeiten der Polymerverwertung [14][15] aufzuzeigen.

Plexiglas wird durch Erwärmen in einer Destillationsapparatur auf über 600 K quantitativ zu seinem Monomer Methacrylsäuremethylester gecrackt, welches als leicht gelbliche Flüssigkeit übergeht. Es wird noch einmal destillativ gereinigt und steht dann für eine neue PMMA-Synthese zur Verfügung [33][34].

Eine Polyethylenterephthalat-Getränkflasche wird in kleine Stücke geschnitten und mit alkoholischer NaOH gekocht. Die starke Base zerlegt den Polyester in seine Grundbausteine, und Terephthalsäure sowie Ethylenglycol können in hoher Ausbeute isoliert werden (vgl. [33]).

Ein Polystyrol-Joghurtbecher wird in Toluol gebracht, worin sich das Grundpolymer löst, die aufgedruckten Farben jedoch unlöslich sind. Nach Filtration erhält man eine farblose Polystyrollösung. Diese wird in Wasser dispergiert und die Dispersion destilliert. Ein H<sub>2</sub>O/Toluol-Azeotrop geht über, wodurch dem Polystyrol das Lösungsmittel entzogen wird, so dass es agglomeriert und im Destillationskolben zusammen mit überschüssigem Wasser zurückbleibt. Es kann leicht isoliert und getrocknet werden [34].

Zeitungspapier wird nach dem De-Inking-Verfahren mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> gebleicht [33]. Es resultiert eine breiige Masse, die nach dem Ausstreichen und Trocknen wie Sanitärpapier aussieht.

In einem zweiten Versuch wird Zeitungspapier mit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> behandelt, wobei es durch hydrolytische Spaltung der glycosidischen Bindungen des Cellulose-Grundpolymers zu einer Verzuckerung kommt. Der Zuckergehalt der Reaktionslösung wird iodometrisch bestimmt [35].

### 1.6. Nachwachsende Rohstoffe

In einem Umweltchemie-Praktikum darf die Frage nach den Rohstoffen der chemischen Industrie nicht ausgespart werden. Da der bislang wichtigste Ausgangsstoff der organischen Chemie, das Erdöl, zunehmend knapp wird, kommt der Nutzung alternativer, nachwachsender Rohstoffe, insbesondere der Kohlenhydrate, Fette und Öle, zur Herstellung einiger für die Chemie wichtiger Produkte, z.B. Tenside und Polymere, immer mehr Bedeutung zu [16][17].

An einem Beispiel, der polymeranalogen Umsetzung von Cellulose mit Essigsäure zu Cellulose-3-acetat bzw. -2,5-dia-

cetat [36] lernen die Studenten, wie sinnvoll und gleichzeitig einfach es ist, die nachwachsende Baumwolle in vielseitig nutzbare Werkstoffe überzuführen. Die Veresterungsprodukte werden IR-spektroskopisch miteinander und mit der Ausgangszellulose verglichen.

## 2. Umweltanalytik

Ziel des Praktikums Umweltanalytik ist, den Studenten mit der Atomabsorptionsspektrometrie, UV/VIS-Spektralfotometrie und Polarografie drei instrumentell-analytische Methoden vorzustellen, die oft bei Routineuntersuchungen von Umweltproben eingesetzt werden. Die AAS ist ein universelles Verfahren, das vorwiegend zur Serienbestimmung von Schwermetallen verwendet wird und sich durch Einfachheit und Universalität auszeichnet [37][38]. Die UV/VIS-Spektralfotometrie, ein dafür ebenfalls altbewährtes Verfahren [39][40], wird insbesondere im theoretischen Zusammenhang mit der AAS betrachtet. Die Polarografie unterscheidet sich prinzipiell von den anderen beiden Verfahren, wird ebenfalls häufig angewendet und kann vor allem zur Bestimmung mehrerer Elemente nebeneinander eingesetzt werden [41].

Nachdem die Studenten (Zweiergruppen) ein Kolloquium über die theoretischen Hintergründe der Verfahren und die Bestimmungsmethoden abgelegt haben, werden sie in die Gerätetechnik eingeführt und bestimmen dann überwiegend Schwermetalle im ppm-Bereich. Zunächst werden einfache wässrige Lösungen, z.B. von Cu oder Pb, mit Hilfe des Standard-Eichkurvenverfahrens analysiert und daran anschließend Proben mit komplizierter Matrix auf ihren Schwermetallgehalt untersucht. Diese sind Abwasserproben vom Ein- und Auslauf der institutseigenen Kläranlage oder der konditionierten Restlösungen aus der 'Qualitativen Analyse' [42], die mit Hilfe des Additionsverfahrens bestimmt werden. Ferner sind Löslichkeitsprodukte schwerlöslicher Schwermetallverbindungen durch Restkonzentrationsmessungen zu berechnen und mit den theoretischen Werten zu vergleichen. Dies dient dazu, den Studierenden die Möglichkeiten und Grenzen der Fällungstechnik bei der Abwasserklärung zu verdeutlichen.

## 3. Projektarbeiten zur automatisierten Bodenextraktion

In einem Umweltchemie-Praktikum darf der Lebensbereich Boden [43] nicht ausgespart werden, insbesondere da in letz-

ter Zeit immer mehr Altlasten aufgedeckt werden, die eine Reinigung des Bodens erforderlich machen [44]. Dies kann nur dann effektiv geschehen, wenn die Kontaminationen und der Fortgang der Sanierungsschritte analytisch genau bestimmbar sind. Standardisierte Verfahren dazu gibt es bislang allerdings nicht. Differenzen in der Analytik belasteter Böden führten sogar zu erheblichen Unsicherheiten bezüglich berichteter Schadstoffwerte und der Bewertung des Untersuchungsgutes [45]. Ziel eines Projektes an der Fachhochschule Darmstadt ist es daher, die Genauigkeit der Analytik durch automatisierte Bodenextraktion zu verbessern.

Zweiergruppen von Studenten bearbeiten innerhalb von jeweils zwei Wochen Teilaspekte des Forschungsvorhabens. Dies ist didaktisch sinnvoll, zumal es primäres Ziel der Hochschule ist, die Auszubildenden zu selbständigem Problemlösen und Forschen zu befähigen.

Untersucht werden Standardböden der Bundesrepublik Deutschland (Braunerde, Podsol), die zunächst durch Beregnungen mit kondensierten Aromaten, z.B. Anthracen oder Pyren, halogenierten Kohlenwasserstoffen (Lösungsmitteln), BTX-Aromaten und Phenolen, organischen Säuren, Nitroaromaten, Aminen und Heterocyclen gezielt kontaminiert und (zwecks besserer Benetzbarkeit) vermahlen mit Inertstoffen wie Kieselgel, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> oder CaF<sub>2</sub> in die Säule einer präparativen Mitteldruckchromatografieanlage (*Büchi*) gegeben werden. Es wird mit einer weiteren Säule mit der stationären Phase (Kieselgel *Lichroprep Si 60* oder Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) verbunden und z.B. mit einem Dioxan/H<sub>2</sub>O-Gemisch, dessen Zusammensetzung durch einen Gradientenmischer kontinuierlich beginnend mit reinem Dioxan und endend mit reinem Wasser geändert wird, eluiert. Die Bodenkontaminationen werden dabei in Abhängigkeit von ihren Polaritäten eluiert: Zunächst die unpolaren kondensierten Aromaten, polychlorierten Biphenyle oder Hexachlorbenzol, später die polaren Stoffe wie Nitrobenzol oder Phenol [46][47]. Die Eluate werden mittels eines automatischen Fraktionssammlers gesammelt, die einzelnen Fraktionen dann mittels Chromatografie (GC-ECD), UV-Spektroskopie oder Fluoreszenzspektrometrie auf ihre Inhaltsstoffe untersucht. Diese können abschließend auf definierten Festphasen abgestufter Polarität (Polymere, *Tenax*, *XAD*, (modifiziertes) Kieselgel, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ionenaustauscherharze, organische Molekularsiebe) resorbiert werden.

Die Studenten variieren Art und Menge der Kontamination(en) und die Extraktionsparameter und vergleichen die Effizi-

enz der automatisierten Bodenextraktion mittels MPLE mit der konventionellen Soxhlet- und Schüttelextraktion (Extraktionsmittel Toluol) [45][48][49]. Die Gruppen sind darauf angewiesen, die Erfahrungen der Vorgängergruppe zu erfragen und weiterzuverwerten. Da sie sich in kurzer Zeit in die Gedankenwelt der Projektproblemlösung einarbeiten müssen, sollten sie bereits über ausreichendes handwerkliches Können und Wissen verfügen, sich also im fortgeschrittenen Stadium ihrer Ausbildung befinden. Gelegentlich gehen die Projektarbeiten auch direkt in eine Diplomarbeit über. Über die Ergebnisse sollen die Studenten einen Bericht im Stil einer Publikation schreiben. Besonderer Wert ist dabei darauf zu legen, die Ergebnisse kritisch in den Gesamtrahmen des Projektes einzuordnen.

### Zusammenfassung

Studenten der Fachhochschule Darmstadt führen im Rahmen des Wahlpflichtprogramms Modellversuche zur Luft- und Wasserreinigung, zum Metall- und Polymerrecycling und zum Thema Nachwachsende Rohstoffe durch, werden mit Standardverfahren der Umweltschutzanalytik wie AAS, UV/VIS-Spektrofotometrie und Polarografie vertraut gemacht und bearbeiten kleine Forschungsprojekte zur Bodenchemie und -sanierung.

Die Praktika vervollständigen das Gesamtkonzept für eine ökologisch orientierte Chemieingenieurausbildung. Die nach dem 'Zürcher Modell' organisierten Grundpraktika in Anorganischer, Analytischer und Organischer Chemie zielen neben der Vermittlung klassischer Lehrinhalte der einzelnen Fächer zusätzlich darauf ab, den Chemieanfängern die dringende Notwendigkeit des Umweltschutzes bewusst zu machen, sie zum sicheren und umweltgerechten Umgang mit Gefahrstoffen zu befähigen und sie im Sinne des Verursacherprinzips für die fachgerechte Aufarbeitung der Versuchsreste selbst in die Verantwortung zu nehmen, kurz: ihnen beizubringen, dass Chemie, Sicherheit und Umweltschutz untrennbar zusammengehören (affektive Lernziele).

Im hier vorgestellten Umweltchemie-Praktikum für fortgeschrittene Studenten geht es mehr darum, das zum Umweltschutz nötige Fachwissen über Recycling- und Entsorgungstechnologien, präventive Massnahmen und Analyseverfahren zu vermitteln (kognitive Lernziele) und die Bedeutung der Forschung für den Umweltschutz herauszustellen. 'Praktikums-integrierter Umweltschutz' und 'Umweltche-

mie-Praktikum' ergänzen sich deshalb gegenseitig.

Unser Dank gilt den studentischen Mitarbeitern, die die hier beschriebenen Versuche mit viel Engagement und Begeisterung entwickelt haben, Herrn Dipl. Ing. V. Mettke, Kläranlage Mainz, für die Durchführung von AOX-Messungen, Herrn Prof. Dr. H. Fischer, Universität Zürich, für sein grosses Interesse an unseren Ergebnissen und dem Hessischen Ministerium für Wissenschaft und Kunst für die finanzielle Unterstützung.

Eingegangen am 7. Juni 1994

- [1] H. Fischer, *Chimia* **1991**, *45*, 77; *Chem. unserer Zeit* **1991**, *25*, 249, 'Praktikum in Allgemeiner Chemie', 2. Aufl., VHCA, Basel und VCH, Weinheim, 1994.
- [2] V. Wiskamp, *J. Prakt. Chem.* **1993**, *335*, 217; V. Wiskamp, J. Schneider, *J. Chem. Educ.* **1994**, *71*, 587.
- [3] V. Wiskamp, R. Bauer, P. Kunz, J. Nink, A. Nintschew, D. Rohrer, A. Sunur, *Chimia* **1993**, *47*, 424.
- [4] V. Wiskamp, J. Schneider, *Chimia* **1994**, *48*, 142.
- [5] V. Wiskamp, *Die Farbe* **1991/1992**, *38*, 179.
- [6] W. Büchner, R. Schliebs, G. Winter, K.-H. Büchel, 'Industrielle Anorganische Chemie', 2. Aufl., VCH, Weinheim, 1986, Kap. Zeolithe, S. 334-342.
- [7] Wie [6], Kap. Aktivkohle, S. 520-528.
- [8] Folienserie des Fonds der Chemischen Industrie, Frankfurt, 1987, Bd. 22, 'Umweltbereich Luft'.
- [9] Wie [8], Bd. 13, 'Umweltbereich Wasser'.
- [10] K.-E. Köppke, *Korrespondenz Abwasser* **1993**, *40*, 62.
- [11] O. Legrini, E. Oliveros, A.M. Braun, *Chem. Rev.* **1993**, *93*, 671.
- [12] D. Bahnemann, *Nachr. Chem. Tech. Lab.* **1994**, *42*, 378.
- [13] B. Krauss, L. Hartinger, 'Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik', 3. Aufl., Hrsg.: Abwassertechnische Vereinigung e.V., Verlag für Architektur und techn. Wissenschaften, Berlin, 1985, Bd. 7, Kap. 10, S. 514-560.
- [14] K. Wagemann, *Nachr. Chem. Tech. Lab.* **1994**, *42*, 28.
- [15] H. Käufer, A. Thiele, *Spektr. Wissenschaft* **1993**, *102*; W. Michaeli, J. van Marwick, J. Dassow, S. Herren, R. Bluhm, B. Schäfer, V. Lackner, M. Stark, *ibid.* **1993**, *107*; J. Gartzel, G. Heil, *ibid.* **1993**, *114*; R. Riess, *ibid.* **1993**, *118*.
- [16] H.G. Hauthal, *Nachr. Chem. Tech. Lab.* **1992**, *40*, 996.
- [17] H. Zobelein, *Chem. unserer Zeit* **1992**, *26*, 27.
- [18] H. Strack, W. Roebke, D. Kneitel, E. Parr, 'Verfahren zur Herstellung eines kristallinen Zeolithpulvers des Typ A', Degussa Frankfurt, Patentschrift DE 2660722 C2, 12.3.1987.
- [19] V. Wiskamp, *Chem. Lab. Biotech.* **1994**, *45* (Beilage Memory), 17.
- [20] K. Hoffmeier, D. Radsziwill, V. Wiskamp, *Chem. Lab. Biotech.* (Beilage Memory) **1994**, *45*, 42.
- [21] V. Wiskamp, R. Greguletz, A. Lukas, B. Schöneweis, *Prax. Naturwiss. Chem.*, im Druck.
- [22] V. Wiskamp, A. Nintschew, *Chem. Lab. Biotech.* **1993**, *44* (Beilage Memory), 32.
- [23] G. Wittke, 'Metalle', Studienbücher Chemie, Diesterweg Sauerländer, Frankfurt, 1987.
- [24] V. Wiskamp, R. Bauer, A. Lukas, *Chem. Lab. Biotech.* (Beilage Memory), im Druck.
- [25] B. Funke, M. Kolb, R. Schmidt, P. Kunz, *Galvanotechnik* **1990**, *81*, 1999.
- [26] P. Lima, Diplomarbeit, Fachhochschule Darmstadt, 1994.
- [27] Degussa AG, 'Entgiftung cyanidischer Abwässer mit Wasserstoffperoxid', Produkt-Broschüre, Frankfurt, 1992; O. Helmling, E. R. Barensee, S. Diehl, *Chem. Ind.* **1990**, *3*, 24.
- [28] V. Wiskamp, *Chem. Lab. Biotech.* (Beilage Memory), im Druck.
- [29] M. W. Tausch, *Prax. Naturwiss. Chem.* **1991**, *40*, 2.
- [30] H. Reich, Diplomarbeit, Fachhochschule Darmstadt, 1992; V. Wiskamp, *Chem. Lab. Biotech.* **1994**, *45*, 220.
- [31] V. Wiskamp, T. Konno, K. Okamoto, V. Kramb, P. Lima, X. Morel, *Chem. Lab. Biotech.* (Beilage Memory) **1994**, *45*, 53.
- [32] V. Kramb, A. Nickel, V. Wiskamp, *Chemikon*, im Druck.
- [33] H.-J. Bader, R. Blume, 'Umweltchemie im Experiment', 2. Aufl., Cornelsen Scriptor, Frankfurt, 1990.
- [34] V. Wiskamp, M. Hörter, B. Köhler, B. Nau, *Chem. unserer Zeit* **1992**, *26*, 232.
- [35] K. Marin, G.-U. Flechsig, *Chem. Lab. Biotech.* **1993**, *44* (Beilage Memory), 1.
- [36] D. Braun, H. Cherdron, W. Kern, 'Praktikum der makromolekularen organischen Chemie', Hüthig, Stuttgart, 1979.
- [37] P. Fischer, *GIT Fachz. Lab.* **1987**, 794.
- [38] B. Welz, 'Atomabsorptionsspektrometrie', VCH, 3. Aufl., Weinheim, 1983.
- [39] B. Lange, Z. J. Vejdecke, 'Photometrische Analyse', VCH, Weinheim, 1987.
- [40] P. Fischer, *GIT Fachz. Lab.* **1987**, 19.
- [41] M. Geissler, 'Polarographische Analyse', VCH, Weinheim, 1981.
- [42] V. Wiskamp, D. Rohrer, P. Kunz, A. Sunur, *Chem. Lab. Biotech.* **1993**, *44* (Beilage Memory), 18.
- [43] P. Schachtschabel, F. Scheffer, 'Lehrbuch der Bodenkunde', 13. Aufl., Enke, Stuttgart, 1992.
- [44] N. Franke, M. Lindemann, J. Ruppe, *Chem. Schule* **1990**, *37*, 401.
- [45] I. Blankenhorn, D. Meijer, R.J. van Delft, *Fresenius J. Anal. Chem.* **1993**, *343*, 497.
- [46] C. Reichardt, 'Solvents and Solvent Effects in Organic Chemistry', 2. Aufl., VCH, Weinheim, 1988.
- [47] H. Langhals, *Angew. Chem.* **1982**, *94*, 739.
- [48] O. Jübermann, 'Verteilen und Extrahieren', in 'Houben Weyl, Methoden der Organischen Chemie', 4. Aufl., Thieme, Stuttgart, Bd. 1/1, 1958, S. 223.
- [49] U. Wahle, 'Analysenschema für organische Stoffe in Böden', Dissertation, Universität Duisburg, Wissenschaftsverlag Dr. W. Marein, Frankfurt, 1990.