Vorflut-Probleme

Von Prof. Dr. O. JAAG

Methodik der Untersuchung, Selbstreinigungsvermögen, Abwassereinleitung in die Vorfluter, Festlegung des anzustrebenden Reinigungsgrades, vom Vorfluter aus gesehen

So aner kennenswert und erfolgreich während des hinter uns liegenden Jahrhunderts die Verbesserung der hygienischen Verhältnisse in Wohnung und Haus waren, so schwer ist es zu verstehen, wie wenig weitsichtig diese Bestrebungen und Errungenschaften auf die *Gesamtbedürfnisse* des menschlichen Lebens und den Ablauf der Dinge in der Natur ausgerichtet waren. War das, was an Schmutzstoffen und Abfällen aus Haus und Hof, aus Quartieren und Gemeinden anfällt, entfernt und im nächsten Bach, Fluss oder See zum Verschwinden gebracht, so war offenbar die Philosophie zu Ende. Man baute auf die Beobachtung, dass das Wasser seit Jahrtausenden mit jeglichem Schmutz und Abfall selbsttätig fertig geworden war. «Fliesst das Wasser über 7 Stein, so ist es wieder rein.» Dies war der Sinn einer im Prinzip richtigen Erfahrung, und als die Wissenschaft diese Tatsache durch ein Mosaik physikalischer und chemischer Mechanismen erklärte, die in ihrem komplizierten Zusammenspiel das *Selbstreinigungsvermögen* eines Gewässers ausmachen, gab man sich erst recht zufrieden.

Und doch kam es anders, als man erwartet hatte. Zusehends, insbesondere seit der allgemeinen Einführung der Schwemmkanalisation in Städten und Dörfern, wurde die einst klare Flut unserer Bäche und Flüsse, aber auch vieler unserer Seen, trüber und trüber. Vielerorts bieten heute einst herrliche Badeplätze und Schwimmstrecken ein so hässliches Bild der Unordnung und Verwüstung, dass sich anspruchsvolle Menschen darob angewidert fühlen, sich von solchen Gewässern abwenden und, nicht ohne Grund, hygienische Gefahren für die Badenden befürchten.

Die Schäden dieser Vernachlässigung der Oberflächenwässer sind mannigfaltiger Art. In unseren Seen verschlechterten sich nach und nach

die chemisch-biologischen Verhältnisse derart tiefgreifend, dass anspruchsvollere Fischarten zum Aussterben verurteilt waren, weil in den tiefen Wasserschichten und über dem Seegrund, wohin die Tiefenlaicher ihr Ei-material ablegen, der lebenswichtige Sauerstoff vollkommen verschwand oder in so geringem Masse vorhanden blieb, dass ein natürliches Fortkommen dieser Fische nicht mehr möglich war. Es ist darum nicht verwunderlich, dass es die Fischer waren, die als erste auf die fortschreitende Verderbnis unserer Seen hinwiesen und immer dringender Abhilfe verlangten.

Aber die Auswirkungen dieser Störung des chemisch-biologischen Gleichgewichtes zeigten noch eine Reihe weiterer ungünstiger Folgen. Wenn, wie dies in einer Reihe von Seen alljährlich der Fall ist, die Masse der während des Sommers in mittleren Tiefenschichten des Wassers sich entwickelnden Algen, insbesondere der Burgunderblutalge (*Oscillatoria rubescens*), an der Seeoberfläche sich aufräumt, dann entwickeln sich sehr hässliche Gerüche, die geeignet sind, die Feriengäste aus der Gegend vielleicht ein für allemal zu vertreiben. Die Vermehrung des Algenlebens erschwert die Aufbereitung des Seewassers zu Trink- und Brauchwasser, indem die Filter immer mehr beansprucht werden, was da und dort eine Vorfiltrierung des Seewassers erforderlich macht. Wo einst unsere Seen saubere Ufer zeigten, so dass jeder Kieselstein des flachen Grundes dem Auge erkennbar war, begannen in neuerer Zeit lästige Algenbänke aus dem schleimigen Grund aufzuspiessen, bei Sonnenschein sodann an die Wasseroberfläche aufsteigend, so dass architektonisch den höchsten Ansprüchen entsprechende Strandbadanlagen in ihrem Wert in hohem Masse beeinträchtigt wurden. Dichte Bestände höherer Wasserpflanzen, wie verschiedene Arten von Laichkräutern, Tausendblatt, Wasserhahnenfuss und dergleichen, nehmen in solchen Seen dauernd mehr Raum ein, erschrecken die Badenden und verleihen Strandbadanlagen und Seeufern ein hässliches Bild der Ungepflegtheit. Hotelbetriebe kämpfen mit hohen Kosten, aber vielfach mit nur unbefriedigendem Erfolg gegen diese Algen- und Verkräutungsplage.

Was ist die Ursache dieser in der neuesten Zeit sich mehrenden unangenehmen Veränderungen in unseren Seen? Die Ursache der Störung des chemisch-biologischen Gleichgewichtes im Seewasser wird ausgelöst durch die Überproduktion an Algen und anderen Kleinorganismen. Zu ihrem normalen, aeroben Abbau am Ende der Vegetationsperiode bedarf es grösserer Mengen an Sauerstoff, als im betreffenden See vorhanden ist; die Abbauprozesse schlagen in Fäulnis um. Dabei entsteht giftiger Schwefel-

wasserstoff, Ammoniak und dergleichen, und am Seegrund lagert sich eine Schicht von Faulschlamm ab, die den Organismen des sauberen Wassers die Entwicklung verunmöglicht. Die Massenentfaltung der Algen, wie übrigens auch diejenige der höheren Wasserpflanzen, ist die Wirkung einer ungewollten Düngung des Seewassers durch die Pflanzennährstoffe, insbesondere Phosphorsäure, Stickstoff und Kaliverbindungen usw., die durch die Abwasser in grossen Mengen dem Gewässersystem zugeführt werden.

Der See wird mit seiner eigenen Produktion im Zuge der normalen Selbstreinigungsvorgänge nicht mehr fertig. Es ist ihm zu viel zugemutet worden, denn wie jeglichem anderen Ding sind auch dem Selbstreinigungsvermögen Grenzen gesetzt. Es handelt sich, was die Sanierung unserer Seen anbetrifft, also in erster Linie darum, diese ungewollte Düngung zu unterbinden durch eine möglichst weitgehende Fernhaltung der Pflanzennährstoffe. Wenn einmal diese Zufuhr aus Abwässern gedrosselt ist, dann werden auch unsere Seen – die einen rascher, die andern langsamer, je nach den Durchströmungsverhältnissen und ihrer topographischen Gestaltung –, wieder ihr Gleichgewicht zurückgewinnen.

In Fliessgewässern wird infolge der Einführung von ungereinigten Abwässern neben der Störung des Landschaftsbildes, den hygienischen Gefahren für Mensch und Tier und den fischereilichen Schäden insbesondere die Gewinnung uferfiltrierten Grundwassers in schwerwiegendster Weise erschwert. Hierüber weiss man eindrücklich Bescheid in jenen dicht-besiedelten und hochindustrialisierten Gebieten, zum Beispiel am Niederrhein, wo das Wasser bereits in hohem Masse zum Mangelstoff geworden ist. Unter hohen Kosten muss dort das Wasser, dessen Gewinnung ehemals keinerlei Schwierigkeiten bot, von störenden Stoffen, deren Natur vielfach noch nicht einmal genügend bekannt ist, befreit werden, sei es durch kostspielige Ozonisierung oder durch Behandlung mittels Aktivkohle. Ich verweise in diesem Zusammenhang auf die neueren Arbeiten von Prof. HOL-LUTA, Karlsruhe, über die Wasseraufbereitungsschwierigkeiten im Gebiet des Niederrheins. Solche Sorgen werden auch uns erwachsen, wenn einmal infolge Mangels anderer Beschaffungsmöglichkeiten zur Trink- und Brauchwasserversorgung aus Flüssen geschritten werden muss, wie dies beispielsweise für die Stadt Basel demnächst notwendig zu werden scheint.

Durch verunreinigte Oberflächengewässer droht aber auch dem *Grundwasser* ernste Gefahr. Dies hat sich in unserem Lande bereits auf das eindrücklichste gezeigt im Bereich von Stauhaltungen von Flüssen, die durch Abwasser belastet sind. Ich brauche in diesem Zusammenhange nur an die

Beispiele von Augst, Wettingen und Klingnau zu erinnern, wo einst ausgezeichnet arbeitende Grundwasserversorgungen infolge der Infiltration belasteten Wassers und deren Folgeerscheinungen aufgegeben werden mussten. Nicht dass, wie dies im Übereifer gelegentlich geäußert wird, die Aufstauung eines Flusses in jedem Fall üble Wirkungen auf das Grundwasser zur Folge haben müsste. Eine Gefahr besteht nur dann, wenn das zu stauende Wasser mit Schmutzstoffen belastet ist.

Die Beurteilung des Reinheits- bzw. des Belastungsgrades von Oberflächengewässern

Zur *Beurteilung* des Zustandes eines Gewässers, gleichviel ob See oder Fluss, ist eine möglichst eingehende Kenntnis erforderlich über die physikalisch-chemischen und die biologischen Verhältnisse des Wassers. Die biologischen Verhältnisse umfassen einerseits den Gehalt an Bakterien in der fließenden Welle und am Gewässergrunde, anderseits den Bestand, das heisst die Zusammensetzung der verschiedenen pflanzlichen und tierischen Organismen-Gesellschaften, einerseits im offenen Wasser, anderseits an Grund und Ufern. Dabei ist der Organismenbestand natürlich in sehr weitgehendem Masse gegeben durch die chemischen und topographischen Verhältnisse des Lebensraumes, welcher das in Betracht gezogene Gewässer darstellt, wie umgekehrt die Lebenstätigkeit der Organismen ihrerseits die chemischen Verhältnisse im Wasser in tiefgreifender Weise beeinflusst. Für den erfahrenen Fachmann genügt es oft, über einzelne Kriterien des Chemismus orientiert zu sein, um sich augenblicklich auch ein Bild machen zu können über die biologischen Verhältnisse, oder noch besser, durch die Feststellung der vorhandenen Organismenbestände Auskunft zu erhalten über die vorliegenden chemischen Verhältnisse. Indessen liegen sehr oft so komplizierte Verhältnisse vor, dass eine volle Analyse biologisch und chemisch unerlässlich ist, um ein wirklich klares Bild über den Zustand und den Belastungsgrad des Gewässers zu gewinnen.

In unseren geographischen Breiten unterliegt sowohl der chemische wie auch der biologische Haushalt der Gewässer *einem tiefgreifenden jahreszeitlichen Wechsel* gemäss der unterschiedlichen Wasserführung, der Temperatur, der Durchlichtung des Wassers und dem Entwicklungsrhythmus der Wasserorganismen. Sogar die unterschiedlichen Bedingungen zur Tag- und Nachtzeit machen sich im Regime des Gewässers deutlich bemerkbar.

Deshalb darf sich eine Beurteilung des Zustandes nicht auf eine ein-

malige Analyse stützen, sowenig sich die Qualität eines Trinkwassers auf Grund einer einmaligen Probenahme zuverlässig beurteilen lässt. Um genügende Kenntnis zu erhalten über die in einem stehenden oder fliessenden Gewässer vorliegenden Verhältnisse, ist mindestens eine möglichst vollständige Analyse in jeder Jahreszeit während der Dauer eines Jahres erforderlich. Wo sich dies aber machen lässt, soll in zweiwöchentlichen Zeitintervallen untersucht werden. Wo ein noch genaueres Bild erforderlich ist, wird jede Woche einmal, ja mitunter, wie dies beispielsweise im Niederrheingebiet geschieht, der chemische und bakteriologische Zustand alltäglich aufgenommen.

Bei der biologischen Analyse der Organismengesellschaften des Grundes und der Ufer, die nicht wie die chemischen Verhältnisse einen Momentanzustand im Haushalt des betreffenden Gewässers erfassen lässt, sondern ein Bild der *mittleren* Verhältnisse während einer Periode von mitunter mehreren Monaten darstellt, kann man sich in der Regel auf eine einmalige Aufnahme in jeder Jahreszeit beschränken.

1. Die bakteriologische Analyse

An und für sich ist es für ein Gewässer von geringem Belang, ob in der Masseinheit seines Wassers wenige oder viele Bakterien enthalten sind; erst wenn es zu Trink- oder Brauchzwecken gefasst werden muss, kommt dem Bakteriengehalt Bedeutung zu. Ist die Keimzahl andauernd sehr gering, zum Beispiel gemäss den Anforderungen des Schweizerischen Lebensmittelbuches unter 100 Keimen pro Kubikzentimeter, so braucht ein solches Wasser nicht unbedingt aufbereitet zu werden, es sei denn, dass man sich vor unangenehmen Überraschungen auf jeden Fall schützen wolle. Liegt die Keimzahl (auch nur zeitweise) höher, so muss zur Aufbereitung, das heisst zur Filtration oder Entkeimung geschritten werden. Wichtiger ist die Frage, ob Darmbakterien von Mensch und Tier, insbesondere Keime aus der Koligruppe, gefunden werden, die eine Verunreinigung durch häusliche Abwässer verraten.

Über den Zustand eines Gewässers lassen sich aus Keimzahl und wahrscheinlicher Koliziffer wichtige Schlüsse ziehen. Wie diese Zahlen ermittelt werden, ist Ihnen durch Herrn Dr. WUHRMANN im Prinzip erklärt worden, und im Rahmen unserer biologischen Übungen soll noch näher auf die Untersuchungsmethodik eingegangen werden.

Bei der Gewässerbeurteilung lässt die Keimzahl zunächst Schlüsse zu auf das Mass an abbaubaren organischen Verschmutzungsstoffen, die sich im

Wasser befinden; denn auf die organische Belastung reagiert die Bakterienflora äusserst empfindlich. Dies geht beispielsweise aus Abbildung 1 hervor. Diese Abbildung zeigt die Keimzahl an zwei Aufnahmetagen im Alpenrhein auf der Strecke von Reichenau, unterhalb des Zusammenflusses von Vorder- und Hinterrhein bis zur Mündung in den Bodensee. Liegen die Keimzahlen in den Quellflüssen meist bei etwa 30–100 je Kubikzentimeter, so erreichen sie bis Reichenau Werte von rund 600 im Mittel, zeitweise aber weit mehr. Unweit unterhalb Reichenau erhält der Rhein die ungeklärten Abwässer einer Holzverarbeitenden Unternehmung. Als bald schnellte an den beiden Aufnahmetagen die Keimzahl bis gegen 80000 hinauf, um freilich auf einer nur wenige Kilometer langen Fliessstrecke wieder auf 20000 oder gar unter 10000 abzusinken. Das ist die Wirkung der Selbstreinigung des Flusses. Die Abwässer des Dorfes Domat verursachen einen nur geringen Anstieg, und wiederum folgt eine Strecke der Selbstreinigung, bis die Abwässer der Stadt Chur einen erneuten Anstieg der Keimzahl auslösen, die freilich an den einzelnen Untersuchungstagen weitgehenden Schwankungen unterworfen ist.

Der verschiedenen im St.-Galler Rheintal dem Fluss zugeführten Dorf- und Industrieabwässer vermag der Rhein insoweit Herr zu werden, als die Keimzahl fortlaufend absinkt und unweit der Mündung in den Bodensee bei rund 1000–2000 liegt. Im Bodensee selbst und im Untersee vermindert sich der Bakteriengehalt des Wassers so weitgehend, dass das Wasser in genügender Entfernung vom Ufer und in einiger Tiefe den Anforderungen eines Trinkwassers entspricht. Bei Stein verlässt der Hochrhein den Untersee mit Keimzahlen, die im Jahresmittel bei etwa 1200, meist aber wesentlich tiefer liegen. So ergaben Untersuchungen, die in je zweiwöchigen Intervallen während der Dauer eines Jahres (1953/54) von unserer Anstalt durchgeführt wurden, am Ausfluss des Rheins aus dem Untersee bei Eschenz in der Zeit von Mitte Juni bis Mitte September eine mittlere Keimzahl von $261/\text{cm}^3$, während in 100 cm^3 Wasser etwa 17 Kolibakterien festgestellt wurden.

Auf seinem rund 150 km langen Lauf von Stein am Rhein bis Kembs verursachen dann die Abwässer aus einer grossen Zahl von Gemeinden und die zahlreichen, zum Teil bedeutenden Zuflüsse eine dauernde Erhöhung der Bakterienzahl, so dass der Strom mit einer mittleren Keimzahl von 14400 und mit einem Gehalt von rund 116 Koli-keimen in 1 cm^3 Wasser in die oberrheinische Tiefebene hinaustritt. Dies entspricht gegenüber Eschenz–Stein einer Erhöhung der Keimzahl um das rund 10fache, während der Gehalt an Koli um das 68fache anstieg, worin die starke

Abbildung 1

Belastung durch häusliche Abwässer zum Ausdruck kommt. Aus dem Gebiet des Mittel- und Niederrheins liegen nach Angaben deutscher Kollegen Keimzahlen vor, die um $100000/\text{cm}^3$, mitunter aber noch weit höher liegen. Aus diesen Befunden geht die zunehmende und massive Verunreinigung des Rheins, insbesondere in seinen tiefer liegenden Strecken mit aller Deutlichkeit hervor. Dazu kommt dann weiterhin im engeren Wirkungsbereich von Abwassereinmündungen die überaus starke Entfaltung von feststehenden Fadenbakterien, insbesondere des *Sphaerotilus natans* an der Flußsohle, so dass diese streckenweise einen dichten Bakterienbelag aufweist, dichte Pilztreiben im Wasser und stellenweise eine sekundäre Verschmutzung des Stromes verursacht, eine Erscheinung, der wir bekanntlich in sehr vielen Fluss- und Stromgebieten Europas begegnen.

Die beiden Kurven der ersten Abbildung lassen deutlich erkennen, wie weitgehend an zwei Probenahmetagen im Frühjahr und im Herbst die Einzelwerte streuen. Je dichter die Aufnahmen zeitlich gelegt werden, um so klarer wird natürlich das Bild. Immerhin zeigen beide Kurven einen ähnlichen Gesamtverlauf, der die Belastung durch die unterschiedlichen Abwasserzuleitungen in qualitativ derselben Weise erkennen lässt.

2. Die physikalisch-chemische Analyse

Die Aufnahme der *Wassertemperatur* im Laufe der Jahreszeiten ist für die chemische Analyse im besonderen von Bedeutung für die Errechnung des Sättigungsgrades des Wassers an gelöstem Sauerstoff, mitunter auch, namentlich in kleinen Gerinnen, zur Erklärung der Ursache von akutem Fischsterben. Zu beeinflussen vermögen wir den Wärmehaushalt eines Gewässers indessen nicht, es sei denn durch die Kontrolle der aus industriellen Betrieben eingeleiteten Abwässer, die aber in der Regel, bei uns wenigstens, den Wärmehaushalt eines Gewässers kaum zu beeinflussen vermögen. Der *pH-Wert* wird festgestellt, doch kommt ihm im Haushalt unserer meist gut gepufferten Wässer, abgesehen von Mündungsstellen bestimmter Fabrikabwässer, kaum Bedeutung zu, da das Wasser unserer Flüsse und Seen in der Regel vom Neutralpunkt, pH 7, nur unwesentlich abweicht.

Viel grössere Bedeutung erlangt dagegen die Feststellung des *Gehaltes an organischer Substanz*. Diese Feststellung kann von verschiedenen Seiten her angepackt werden. Zunächst von der Seite des Sauerstoffhaushaltes her. Da die Abbauprozesse im durchlüfteten Wasser Sauerstoff verbrauchen, wird sich im allgemeinen bei Gegenwart organischer Substanz in einem

belasteten Gewässer ein mehr oder weniger ausgeprägter Sauerstoffschwund feststellen lassen.

Betrachten wir in diesem Zusammenhang die Ergebnisse jener bereits erwähnten Untersuchung des Alpenrheins unterhalb von Reichenau. Abbildung 2 zeigt die Kurve der Jahresmittelwerte. So eindrucklich die

Abbildung 2
O₂-Gehalt und O₂-Zehrung, Mittelwerte im Längsprofil.

Bakterienzahl die Belastung des Stromes durch die Abwässer unterhalb der holzverarbeitenden Fabrik, der stromabwärts liegenden Gemeinden und der Stadt Chur anzeigte, so träge verhält sich das Rheinwasser hinsichtlich der Sauerstoffversorgung. Kaum ist in den Mittelwerten eine Depression feststellbar; unterhalb der genannten Fabrik und unterhalb des Dorfes Ems und im Bereich des Einflusses der Abwässer der Stadt Chur lässt sich ein Absinken der Kurve überhaupt nicht erkennen. Freilich, wenn wir die Werte der Sauerstoffsättigung während der drei Untersuchungsjahre 1944 bis 1946 betrachten, so sehen wir sie bei Reichenau zeitweise bis auf etwa 90% abfallen. Unterhalb der Fabrik bleiben sämtliche Werte unter Sättigung und fallen bis auf 65% ab, um im dritten Untersuchungsjahr infolge Umstellungen im Betrieb freilich fast dauernd über 100% zu erreichen (Abb. 3).

Abbildung 3

Verlauf der O_2 -Sättigung bei Reichenau, Domat-Ems und Au während der Untersuchungsperiode 1944–1946.

Detailliertere Kenntnis über die Natur des abwasserbelasteten Rheinwassers gibt uns der Wert der *Sauerstoffzehrung in 48 Stunden*. Das ist die Menge des während zweier Tage in einer verschlossenen Flasche im Dunkeln und bei 20° C aufgestellten Wassers. Aus den Abbildungen 4–6 geht das Mass dieser Sauerstoffzehrung deutlich hervor. Je breiter das Band zwischen Anfang- und Endsauerstoffgehalt ist, um so grösser ist die Zehrung. Unterhalb von Reichenau ist das Band verhältnismässig schmal,

Abbildung 4

Abbildung 5

Abbildung 6

unterhalb der Fabrik breiter, um dann, infolge der inzwischen abgelaufenen Selbstreinigung, bei Ragaz wiederum schmaler zu werden.

Durch diese Sauerstoffzehrung in zwei Tagen erhalten wir ein Bild über die Intensität der ersten Stufe des Abbaues, nicht aber des Sauerstoffbedarfs der das Wasser belastenden Substanz überhaupt. Wollten wir diesen Gesamtwert feststellen, so müssten wir den Sauerstoffverbrauch während mehrerer Wochen verfolgen, wenn auch nach etwa einer Woche der weitere Sauerstoffkonsum verhältnismässig geringe Ausmasse annimmt. In der Gewässeruntersuchung und in der Abwassertechnik hat man sich nun ganz allgemein entschieden für die Feststellung des Sauerstoffbedarfes während 5 Tagen. Das ist der sogenannte *biologische Sauerstoffbedarf* = BSB₅ (la demande en oxygène biologique-DOB; the Biological Oxygen Demand = BOD₅). Man erfasst damit ungefähr die Hälfte des total erforderlichen Sauerstoffes. In wenig belasteten Gewässern kann das gefasste Wasser direkt in den Thermostaten gestellt werden. Bei Abwässern dagegen ist eine vorherige Verdünnung mittels sauerstoffreichen Wassers erforderlich, wie Ihnen dies durch die Herren Dr. ZEHENDER und H. KUISEL gezeigt wurde.

Betrachten wir nun diese so bedeutungsvollen Verhältnisse des Sauerstoffhaushaltes noch am Beispiel einer neueren *Untersuchung des Rheinstromes*, wie sie durch die Internationale Kommission zum Schutze des Rheines gegen Verunreinigung kürzlich durchgeführt wurde und wie dies im Detail dargestellt ist im Untersuchungsbericht, der durch das an unserer Anstalt befindliche Sekretariat unter der Leitung unseres Herrn Dr. ZEHENDER verfasst wurde¹⁾.

Abbildung 7 vermittelt ein Bild über den Lauf des untersuchten Rheinstromes und über die Probenahmestellen bei Eschenz, Kembs, Lauterbourg an der deutsch-französischen Grenze, bei Braubach, oberhalb der Mündung von Lahn und Mosel, sodann bei Rees und Lobith an der deutsch-niederländischen Grenze. Abbildung 8 lässt erkennen, dass bei Eschenz, mit Ausnahme des Frühjahres, wo sauerstoffarmes Tiefenwasser aus dem Untersee abfließt, im Hochrhein im allgemeinen Sauerstoffsättigungen bis zu etwa 130% – im Mittel des Jahres 108% – vorliegen. Übersättigungen, wenn auch geringeren Ausmasses, sind unterhalb von Kembs noch zeitweise festzustellen. Von der deutsch-französischen Grenze bei Lauterbourg an aber treten überhaupt nur noch Sauerstoffdefizite auf, die, wie in Abbildung 9

¹⁾ Die Abbildungen 7–11 sind übernommen worden aus: *Bericht der Experten-Kommission über die physikalisch-chemische Untersuchung des Rheinwassers* (1. Serie Juni 1953 bis Juni 1954), (Birkhäuser Verlag, Basel und Stuttgart 1956).

Abbildung 7

Die Probenahmestellen der «Rheinkommission» vom Bodensee bis zum Meer.

Abbildung 8

Sauerstoffsättigungsindizes, Sauerstoffgehalt in kg/s sowie in mg/l, von Eschenz bis Lobith vom Juni 1953 bis Juni 1954.

Aus dem Bericht der «Rheinkommission» 1956.

Abbildung 9

Sauerstoff: (Sättigungsindex in %) ○ = Mittelwert (Juni 1953 bis Juni 1954), ● = Einzelwert;

sichtbar, an der deutsch-holländischen Grenze im Jahresmittel, gemäss einem Sättigungsindex von 59%, 41% ausmachen. Ein ähnliches Bild vermitteln die Mittelwerte des biologischen Sauerstoffbedarfes. Sie liegen im Untersuchungsjahr 1953/54 bei rund 2 mg/l auf der Höhe von Eschenz, steigen bis Kembs auf rund 3 mg an, um dann in der oberrheinischen Tiefebene infolge der Selbstreinigungsvorgänge bei Lauterbourg leicht abzusinken. Dann aber zeigt sich stromabwärts infolge der massiven und stets zunehmenden Belastung eine dauernde Zunahme derselben, um auf der Höhe der deutsch-niederländischen Grenze auf den Höchstwert von 6 mg/l anzusteigen (Abb. 10).

Hieraus geht also hervor, dass das Selbstreinigungsvermögen des Rheines nicht mehr genügt, um die dem Strom zugeführten Schmutzstoffe abzubauen. Auf die Bedeutung des Sauerstoffhaushaltes und auf die Folgerungen, die sich bezüglich der Reinhaltung der Fliessgewässer ergeben, werden wir später zurückkommen. Der Gehalt an organischer Substanz kann noch auf andere Weise festgestellt werden, so beispielsweise durch Kohlenstoffanalysen.

Die Feststellung des Gehaltes an *Phosphaten* ist für ein Fliessgewässer im allgemeinen in erster Linie dann von Bedeutung, wenn ein Bach oder Fluss sich in einen See ergiesst, da eine Phosphatanreicherung eutrophierend wirkt und die Entfaltung der planktischen Algen sowie der höheren Wasserpflanzen fördert und dadurch, wie wir gesehen haben, den Haushalt eines stehenden Gewässers aus dem Gleichgewicht wirft. EUGEN THOMAS und andere Autoren haben gezeigt, dass vielfach der Phosphatgehalt die Algenentwicklung entscheidend zu beeinflussen vermag. Im Fliessgewässer dagegen, wo – wenigstens in unserem Gebiet – sich ein autochthones Plankton praktisch nicht zu entfalten vermag, kann eine Förderung der grünen Vegetation infolge der daraus resultierenden, von innen herauskommenden Belüftung im allgemeinen nur von Vorteil sein. Kommt zum erhöhten Gehalt an Phosphaten aber noch Schlammablagerung, so kann diese Pflanzenentwicklung namentlich in kleineren Flüssen so üppig werden, dass sie in mancher Hinsicht lästig wird und Schwierigkeiten mancher Art verursacht.

Für den Gebrauch eines Wassers zu Trink- und Brauchzwecken spielt die *Härte* eine erhebliche Rolle. Dabei ist zu unterscheiden zwischen der transitorischen oder Karbonathärte, die sich durch Erhitzung des Wassers oder durch andere Mittel künstlich leicht korrigieren lässt. Die Härte des Wassers wird bekanntlich in Graden gemessen, wobei der Gehalt von 10 mg CaCO_3 /l einem französischen Härtegrad entspricht, der Gehalt von

10 mg CaO/l einem deutschen und der Gehalt von 10 mg CaCO_3 /0,7 l einem englischen Härtegrad.

Unsere Oberflächengewässer führen im allgemeinen ein weiches bis mittelhartes Wasser, je nach der geologischen und petrographischen Beschaffenheit des Einzugsgebietes. So stellten wir im Granitgebiet des Aarmassivs, zum Beispiel am Gelmersee, aber auch in Gewässern der Berninagruppe und im Massivgebiet des oberen Tessins Werte fest, die zwischen 1 und 2 französischen Härtegraden liegen. In Seen des Mittellandes stellten wir mit 16 französischen Graden die grösste Karbonathärte im Wasser des Murtensees fest. Grundwasser sind im allgemeinen wesentlich karbonatreicher. Ihre Härte liegt bei uns etwa zwischen 14 und 34 Graden.

Die transitorische Härte eines Wassers ergibt sich einerseits aus der Möglichkeit, die es bei seinem Lauf hatte, Kalk aus durchflossenem Gebiet aufzunehmen, anderseits aus dem Gehalt an Kohlensäure, die bekanntlich die Löslichkeit des Kalzium- und Magnesiumbikarbonates im Wasser in hohem Masse bestimmt. Überschreitet der Gehalt des Wassers an freier Kohlensäure den Löslichkeitswert, so wird das Wasser für Kalk, Beton und Eisen aggressiv; fällt dagegen der CO_2 -Gehalt unter den Gleichgewichtswert, so fällt Kalk als Kalziumkarbonat aus. Wir finden solche Ausfällungen beispielsweise an Quellaustritten, wenn infolge verminderten Druckes oder infolge Erwärmung des Wassers freie Kohlensäure aus dem Wasser austritt; es bilden sich dann Kalktuffe; dies ist ein abiogener Vorgang.

In unseren Seen erfolgt namentlich im Frühjahr, wenn die planktischen Algen sich mächtig entfalten und in ihrem Assimilationsprozess CO_2 spalten, also verbrauchen, eine Ausfällung von Kalkkristallen, die sich als sogenannte Seekreide am Seegrund absetzen. Das Wasser wird dann zeitweise trübe, und die Fischer sagen «das Wasser ist gebrochen». Das ist der Vorgang der sogenannten biogenen Entkalkung.

Die sogenannte *bleibende Härte*, die sich durch Kochen des Wassers nicht vermindern lässt, ist hauptsächlich verursacht durch die als Sulfat oder Chlorid vorhandenen Erdalkalien. Gipswässer sind bei uns selten, und auch die Chloride spielen im Haushalt unserer schweizerischen Gewässer keine grosse Rolle. Welche Bedeutung die *Chloride* dagegen erlangen können, zeigt sich in besonders eindrucklicher Weise wiederum im Rhein, dessen Versalzung von unterhalb der Schweizer Grenze bis zur deutsch-holländischen Grenze in einem derartigen Ausmasse ansteigt, dass Leben und Wirtschaft der auf das Rheinwasser angewiesenen Bevölkerung am Niederrhein und in den dichtest besiedelten Gebieten Hollands in hohem Masse erschwert werden.

Abbildung 11

Aus dem Untersuchungsbericht der Internationalen Rheinkommission geht hervor, dass die im Rhein abfliessenden Chloridmengen vom Untersee bis zum Meere fortschreitend, stellenweise aber sprungartig ansteigen, wobei ein erster grösserer Anstieg zwischen Kembs und Lauterbourg und ein zweiter zwischen Braubach und Rees erfolgt (Abb. 11).

Ergab sich für die Probenahmestelle Eschenz ein Jahresmittelwert von 2,9 mg Cl'/l bzw. von 0,9 kg Cl'/s, so stieg dieser Wert bis Lobith (deutsch-holländische Grenze) auf 162,6 mg Cl'/l bzw. auf rund 205 kg Cl'/s an, das heisst, dass im Mittel des Jahres tagtäglich rund 29000 t Kochsalz im Wasser des Rheins nach Holland transportiert werden. Um diese Salzmenge auf dem Schienenweg zu transportieren, wäre alle 20 Minuten bei Tag und bei Nacht ein Eisenbahnzug von 50 Güterwagen zu 10 t erforderlich.

Von der Salzföhrung des Stromes entfällt 1% auf den natürlichen Chloridgehalt des Rheins bei Eschenz, rund 3% werden ihm zugeführt auf der Strecke Eschenz-Kembs, 31% zwischen Kembs und Lauterbourg, 8% bis Braubach und rund 57% bis zur niederländischen Grenze. Aus dem Vergleich des Chloridgehaltes häuslicher Abwässer verschiedener Herkunft kann errechnet werden, dass aus den Wohnsiedlungen von rund 20 bis 25 Millionen im Einzugsgebiet des Rheins bis Lobith lebender Menschen rund 5% stammen, während die übrigen 95% aus dem natürlichen Chloridgehalt des Rheins und seiner Zuflüsse, aus den Abwässern aus Bergbaugebieten (insbesondere aus den Kalibergwerken am Oberrhein und Grubenabwässern des rheinisch-westfälischen Kohlengebietes) sowie aus der vielgestaltigen Industrie stammen, worunter die Sodafabriken offenbar eine besondere Rolle spielen.

Gemäss den in Europa und Amerika geltenden Normen darf ein für Trinkzwecke bestimmtes Wasser den Gehalt von 250 mg Cl'/l nicht übersteigen, da ein höherer Gehalt dem Wasser einen Salzgeschmack verleiht. Im Rhein aber übersteigt das Wasser zeitweise diesen Chloridgehalt und steigt bis auf 300 mg Cl'/l an. Da das Rheinwasser aber in hohem Masse zur Speisung des Grundwasserstromes unerlässlich ist, so ist ohne weiteres zu verstehen, dass aus dieser sehr bedeutsamen Versalzung des Rheins der Wasserversorgung in den Gebieten im Niederrhein und in Holland beinahe unübersteigbare Schwierigkeiten erwachsen. Aber auch der Landwirtschaft der Niederlande erwachsen aus diesem Zustand schwere Schäden, indem nachgewiesenermassen das zur Irrigation der hochentwickelten Kulturen verwendete Rheinwasser manchen Pflanzen Schaden zufügt.

Aus dieser Situation heraus erfolgte die Initiative der zuständigen Kreise

in den Niederlanden, die Rheinanliegerstaaten möchten diesen Fragen ihre Aufmerksamkeit widmen und für möglichst rasche Abhilfe besorgt sein. So entstand im Jahre 1949 die Internationale Kommission zum Schutze des Rheins gegen Verunreinigung, in der die Niederlande, Frankreich, Luxemburg, Deutschland und die Schweiz durch je 2 Delegierte und je 2 Experten vertreten sind. Diese Kommission ist nun intensiv an der Arbeit, um auf Grund des festgestellten chemischen Zustandes des Stromes die erforderlichen Sanierungsmassnahmen zu prüfen und den Regierungen der Rheinanliegerstaaten ihre Anträge zu unterbreiten. Geplant ist eine internationale Reinhaltetechnikonvention, die für sämtliche Rheinverschmutzer verbindlich sein soll.

Dem *Stickstoffhaushalt* in einem Gewässer kommt in mehrfacher Hinsicht Bedeutung zu, einmal infolge der wichtigen Rolle, die sowohl Nitrate als auch Ammoniumsalze bei der Ernährung der niedern und höheren Wasserpflanzen spielen, anderseits aber auch als Anzeiger bestimmter mikrobieller Vorgänge beim Abbau organischer Substanzen, wobei aus den Aminosäuren der Eiweisskörper und aus Harnstoff Ammoniak freigelegt wird. Ist im betreffenden Gewässer Sauerstoff in genügender Menge vorhanden, so findet alsbald wiederum auf Grund bakterieller Tätigkeit eine Oxydierung des Ammoniaks über Nitrit zu Nitrat statt. Fehlt dagegen Sauerstoff, so bleibt Ammoniak erhalten, ja selbst vorhandene Nitrate können durch die Tätigkeit denitrifizierender Bakterien Reduktionsprozesse auslösen, die bis zur Bildung von Stickoxydul und freiem Stickstoff führen können. Um ein möglichst klares Bild über diese Verhältnisse zu gewinnen, wird ein Oberflächengewässer in der Regel analysiert auf Nitrate, Nitrite, Ammoniak und organisch gebundenen Stickstoff.

Weitere Stoffe, die den natürlichen Haushalt eines Gewässers stören können, sind *Zyanide*, *freies Chlor*, *Ammoniak*, *Schwermetalle*, wie *Kupfer*, *Zink*, *Blei*, *Kadmium* usw. Ihre Analyse kommt namentlich bei der Beurteilung industrieller Abwässer in Frage. Über die Bedeutung und die Methode ihres Nachweises sei auf die einschlägige Literatur verwiesen.

Vielfach wird den industriellen Abwässern von vorneherein eine hohe Schädlichkeit für das Fischleben in unseren Gewässern zugeordnet. Um die Bedeutung dieser Gefahr am praktischen Beispiel abzuklären, sind nun verschiedene Unternehmungen, insbesondere der chemischen Industrie, darangegangen, durch eigene Versuche diese Frage qualitativ abzuklären, indem sie in ihren durch sauberes Flusswasser unterschiedlich verdünnten Abwässern anspruchsvolle Fische halten. Die bisherigen über die Dauer eines Jahres gesammelten Erfahrungen haben gezeigt, dass in der Beurtei-

lung der Fischgiftigkeit chemischer Abwässer Vorsicht und Zurückhaltung angezeigt ist.

Die biologische Beurteilung unterschiedlich belasteten Oberflächenwassers

Neben der physikalisch-chemischen Analyse kennen wir auch biologische Methoden, um den Belastungsgrad eines Gewässers zu beurteilen, denn, wie eingangs erwähnt, entspricht einem bestimmten chemischen Zustand auch das biologische Spektrum, das zum Ausdruck kommt in der Gestaltung und Zusammensetzung der Organismengemeinschaften, die ein Gewässer beleben. Der kürzlich verstorbene Berliner Biologe RICHARD KOLKWITZ hat zusammen mit seinem Mitarbeiter MARSSON zu Beginn dieses Jahrhunderts dieser Abhängigkeit von Chemismus und Lebewelt seine Aufmerksamkeit geschenkt und das bekannte *Saprobien*system aufgebaut, das seither fortlaufend weiter vertieft und verbessert wurde, so dass uns die biologische Analyse zur Beurteilung des Belastungsgrades eines Gewässers heute ausgezeichnete Dienste leistet, sofern wenigstens diese Analyse mit genügender Sachkenntnis, genügend kritischer Einstellung und möglichst grosser persönlicher Erfahrung durchgeführt wird.

Um Sie mit dem Gesamtaspekt dieser Organismengesellschaften und mit den wichtigsten pflanzlichen und tierischen Formen, die diese bestimmen, vertrautzumachen, haben wir die kleine Ausstellung für Sie zurechtgemacht, die bis zum Ende des Fortbildungskurses offensteht. Ich darf mich deshalb hier darauf beschränken, anhand einiger übersichtlicher Bilder den Sinn dieses Analysensystems in knappen Zügen darzustellen.

Mit KOLKWITZ und MARSSON unterscheiden wir insbesondere drei durch charakteristische biologische Merkmale gekennzeichnete Belastungsstufen eines Gewässers: die am stärksten verunreinigte Zone, wie sie etwa an der Einmündungsstelle ungereinigten Abwassers im Vorfluter auftritt, sowie die unmittelbar anschliessende Flußstrecke. Dies ist die sogenannte *polysaprobe Stufe*. In ihr spielen sich vehemente Abbauprozesse an leicht vergärbaren organischen Abwasserstoffen ab. Der Sauerstoff ist rasch verbraucht, weshalb Fäulnisbakterien und andere Bakterien, sodann Pilze und äusserst anspruchslose Kleintiere, wie Schlammwürmer, rote Zuckmückenlarven und dergleichen Organismen, sich in grosser Menge entfalten, während anspruchsvollere Tiere und grüne Pflanzen sozusagen vollkommen fehlen. Es sind also Saprophyten, die in der Lebensgemeinschaft dieser Zone beinahe unumschränkt das Feld beherrschen.

Hier finden wir die Mikroorganismen, die gemeinhin als «Abwasserpilze» bezeichnet werden: *Sphaerotilus natans*, das Schwefelbakterium *Beggiatoa alba*, *Sarzinen*, *Zoogloeen*, dann *Flagellaten*, *Ziliaten*, anspruchslose *Rädertiere*, *Tubifex*, *Chironomus* und schliesslich ganz spärlich eingestreut Abwasseralgen, wie *Oscillatoria* usw.

Auf einer Fließstrecke, die mehr oder weniger ausgedehnt sein wird, je nach den Verhältnissen des Flusses, der Gestaltung seiner Sohle, dem Gefälle und der Fliessgeschwindigkeit, der Wasserführung usw., erfolgt dank der Selbstreinigungsvorgänge, die sich im Wasser abspielen, eine weitgehende Aufarbeitung der organischen Substanz. Die chemischen Prozesse verlaufen langsamer; an die Stelle der Reduktionsprozesse treten Oxydationsprozesse; der aus der Luft dauernd aufgenommene Sauerstoff erreicht bereits, wenigstens tagsüber, beträchtliche Werte. Dementsprechend treten die anaeroben Bakterien zurück. Aerobe Formen erscheinen an ihrer Stelle, und mit ihnen verändert sich der Bestand an pflanzlichen und tierischen Organismen. Pigmentierte Kleinpflanzen, zunächst Blaualgen, Grünalgen und höhere Wasserpflanzen treten auf und verbessern ihrerseits das Sauerstoffklima des Lebensraumes. Der Artenbestand dehnt sich aus, und die Individuenzahl der einzelnen Arten fällt rasch ab. Wir sind in die *mesosaprobe Stufe*, die Zone mässiger Belastung, gelangt. Diese biologische Stufe erstreckt sich über eine weite Stufenleiter mit Übergängen auf der einen Seite nach der polysaprogen, auf der andern Seite nach der oligosaprogen Stufe des mehr oder weniger reinen Wassers hin. Deshalb ist diese mesosaprobe Zone unterteilt worden in eine α - und eine β -mesosaprobe Teilstufe, von denen eine jede den für sie charakteristischen Bestand an Pflanzen und Tieren aufweist.

Die eingetretene Veränderung zeigt sich im Bild der mesosaprogen Zone. Zwar sind noch Pilze, wie *Leptomitus lacteus*, *Flagellaten* und *Ziliaten*, vorhanden. Sie treten aber mengenmässig stark in den Hintergrund. Dafür nehmen *Blaualgen*, durch zahlreiche Arten vertreten, *Kieselalgen*, *Konjugaten*, überhand. Unter den Tieren erscheinen *Schlammegel* und bereits *Mollusken*. Diese Veränderung in der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft setzt sich fort in der Richtung einer Durchgrünung des pflanzlichen Bestandes, durch die Vermehrung der pigmentierten *Flagellaten*, *Grünalgen*, *Kieselalgen* usw. Nun treten in grosser Zahl *Insektenlarven*, *Köcherfliegenlarven* und anspruchsvollere Arten von *Zuckmücken* auf. Es ist das Bild, wie wir es in vielen unserer Flüsse und auch an Seeufern auf weite Strecken hin zu erkennen gewohnt sind.

In der biologischen Zone der *oligosaprogen Stufe* finden wir ein vielgestalti-

ges Bild von mikroskopischen und makroskopischen Wasserpflanzen und Kleintieren. *Unsere Fliessgewässer in die β -mesosaprobe* oder gar oligosaprobe Stufe zu bringen, das ist das Ziel der Abwasserreinigung und der Gewässerreinigung. Für detailliertere Auskunft über die biologischen Verhältnisse darf ich auf die erwähnte Ausstellung sowie auf die biologische Gruppe der praktischen Übungen, ferner auf die Liste der einschlägigen Literatur verweisen (siehe Seite 241).

Welcher Reinigungsgrad muss bei der Planung von Abwasseranlagen angestrebt werden?

Die Reinigung häuslicher und industrieller Abwässer erfolgt in Kläranlagen, in denen das Abwasser von seinen festen Stoffen mehr oder weniger weitgehend befreit wird, und dies um so vollständiger, je länger die Aufenthaltszeit im Vorklärbecken bemessen und je besser die hydraulischen Verhältnisse desselben ausgenützt sind. Die Leistungsfähigkeit solcher Absetzbecken ist unterschiedlich. Die Elimination absetzbarer Stoffe kann bis gegen 100% ausmachen. Meist ist aber der Wirkungsgrad erheblich geringer. Die im Abwasser gelösten Stoffe werden dabei weder zurückgehalten noch chemisch verändert. Sie gelangen in den Vorfluter, sofern sie nicht in biologischen Anlagen durch Nachreinigung abgebaut, das heisst mineralisiert wurden. Auch biologische Anlagen können, sofern ihre Möglichkeiten ganz ausgeschöpft werden, wie dies im Verlauf dieses Fortbildungskurses gezeigt werden wird, Reinigungseffekte von annähernd 100% ergeben.

Die Frage, wie weit die Abwasserreinigung getrieben werden soll, ob mechanische Reinigung genügt, ob biologische, ob Teil- oder Vollreinigung verlangt werden müsse, wird heute in unterschiedlicher Weise beurteilt, entweder von der Kläranlage oder vom Vorfluter aus. In manchen Ländern, wie Frankreich, Belgien, Dänemark, wird gesetzlich vorgeschrieben, welche Gehalte an belastenden Stoffen ein Anlageabfluss nicht überschreiten darf. Eine solche Regelung ist für Behörden, die die Bewilligung zur Einleitung von Abwässern in die Vorfluter zu erteilen haben, wohl der einfachste Weg, denn ob ein mehr oder weniger gereinigtes Abwasser den Anforderungen genügt oder nicht, lässt sich durch einfache Analyse leicht feststellen. Dabei werden die Anforderungen noch differenziert, je nach den Aufgaben, denen ein Fliessgewässer zu dienen hat, wobei der schärfste Maßstab an diejenigen Flüsse gelegt wird, die der Wasserversorgung, dem

Badebetrieb und der Fischerei dienen, während andere Gewässer für solche Zwecke von vorneherein aufgegeben werden. Ein Beispiel dieser Art ist die deutsche Emscher, der bisher kaum eine andere Aufgabe zugedacht war, als die Abwässer aus ihrem Einzugsgebiet aufzunehmen und dem Rheine zuzuleiten. Zur Zeit aber wird eine Anlage geplant, in der das gesamte Wasser dieses Flusses mechanisch und biologisch gereinigt werden soll.

Bei uns wird in den Anforderungen an den erforderlichen Reinheitsgrad unserer Gewässer nicht differenziert. Die Gewässer müssen einfach so sauber sein, dass sie die Aufgabe zu erfüllen vermögen, die sie im Leben und in der Wirtschaft des Landes zu leisten berufen sind. Diese Aufgaben sind für jeden Bach, Fluss oder Strom ungefähr dieselben. Unsere Gewässer sollen durch ein durchsichtiges, klares Wasser beim Beschauer den Eindruck der Ordnung hinterlassen. Jedermann nimmt bei uns das Recht in Anspruch, in einem Fluss oder See baden zu können. Jedes Gewässer soll auch so beschaffen sein, dass sich darin ein rechter Fischbestand zu halten vermag. An dieser Einstellung lässt das Schweizervolk nicht rütteln. Demgemäss sind die Anforderungen an den Anlagenabfluss bei uns hoch. Aus berufenem Munde haben wir im Vortrag von Herrn Ing. H. BACHOFNER erfahren, dass sich im Kanton Zürich bei den zuständigen Fachleuten und Behörden im Laufe der Jahre in diesen Auffassungen eine Wandlung vollzog. Wurden ursprünglich mechanische Kläranlagen als genügend erachtet, so werden heute in der Mehrzahl der Fälle biologische Reinigungsanlagen gefordert und gebaut.

Das unmittelbare Ziel der Abwasserreinigung besteht darin, im Vorfluter gute Ordnung zu halten und ihn von den hässlichen Bildern zu befreien, die bisher an und unterhalb der Einmündungsstelle von Abwässern bestanden: trübe Abwasserfahnen, im Wasser treibende grobe und feine Schmutzstoffe, Entfaltung charakteristischer pflanzlicher und tierischer Lebensgemeinschaften, wie sie für verunreinigte Fließstrecken typisch sind. Dazu kommt dann die Eliminierung eutrophierender Stoffe, die namentlich in Seen Unheil anrichten können. Das Ziel ist die Schaffung von denjenigen Bedingungen im Vorfluter, die die Entfaltung der natürlichen Organismengesellschaften, wie wir sie für die β -mesosaprobe oder oligosaprobe Stufe schon geschildert haben, fördern. Sind diese Bedingungen erreicht, so ist allen Belangen der Wassernutzung vollauf gedient.

Wie aber soll nun durch eine genügend weit gehende Abwasserreinigung dieser Zustand herbeigeführt werden? Man könnte, um sicherzugehen, die Forderung aufstellen, in jedem Falle Abwasser bis zur biologischen Vollreinigung zu behandeln. Eine solche Forderung liesse sich aus ökonomischen

mischen Gründen gewiss nicht verantworten. Wir wollen ja nicht eine Abwasserreinigung um ihrer selbst willen treiben. Da jedes Prozent des Reinigungsgrades Geld kostet, die letzten Prozente aber ganz besonders teuer sind, so soll die Reinigung nicht weiter getrieben werden, als dies – freilich mit strengen Maßstäben und auf lange Sicht bemessen – wirklich erforderlich ist. Der Fluss soll mit seinem Selbstreinigungsvermögen keineswegs ausgeschaltet werden. Er soll so viel, als er zu bewältigen vermag, selbst tun, denn er vollführt sein Werk gratis. Anzustreben ist ein Verdünnungsgrad des Anlageabflusses, der auf die Wasserführung, die hydrologischen Gegebenheiten, die Gestaltung des Flussbettes und seiner Ufer möglichst sorgfältig abgestimmt ist.

Wie kann nun dieser erforderliche Reinigungsgrad festgestellt werden? Wie das bei uns gemacht wird, werden wir Ihnen beim Besuch der Versuchsanlage unserer Anstalt in der Tüffenwies zeigen. Dort besteht ein System von Rinnen, in denen aus der Versuchskläranlage das mehr oder weniger gereinigte Abwasser unverdünnt mit unterschiedlichen Mengen unbelasteten Wassers vermischt abfließt. Je nach seiner Restbelastung wird sich in diesen Rinnen eine polysaprobe, eine mesosaprobe oder eine oligosaprobe pflanzliche und tierische Lebensgemeinschaft einstellen, und aus diesen Beobachtungen kann dann unter Zugrundelegung des möglichen Mischungsverhältnisses im Vorfluter der erforderliche Reinigungsgrad ermittelt werden.

Dabei wird einerseits auf das mittlere Niederwasser, andererseits auf die bereits vorhandene Belastung des betreffenden Vorfluters abgestellt werden müssen. Dieser Beurteilung kommt die englische Auffassung nahe, die verlangt, dass im Fluss gesunde Sauerstoffverhältnisse erhalten oder wiederhergestellt werden.

Man bezeichnet in England ein Fliessgewässer als in gutem Zustande befindlich, wenn in diesem Wasser eine Sauerstoffsättigung von mehr als 90% vorhanden ist; als noch annehmbar wird eine Sättigung von 75–90% betrachtet. Bei einem Gehalt von weniger als 50–75% wird ein Fluss als gefährdet bezeichnet, während bei Sättigungen unter 50% ein Gewässer als schwer verunreinigt beurteilt wird. Wie stehen in dieser Hinsicht die Verhältnisse in unseren Fliessgewässern? Wir haben gesehen, dass die Sauerstoffsättigung in unseren Flüssen im allgemeinen gut ist und dass ein Fluss in seinem Sauerstoffhaushalt auf eine Belastung um so träger reagiert, je grösser seine Wasserführung ist. Das ist auf die sehr grosse Sauerstoffreserve in einem grossen Fluss, wie beispielsweise dem Rhein, zurückzuführen. Und doch haben wir gesehen, dass sogar in diesem grössten Strom

Westeuropas der Sauerstoffhaushalt in erheblichem Ausmasse gestört ist, verschärft sich doch von der deutsch-französischen Grenze bei Lauterbourg stromabwärts das Sauerstoffdefizit in zunehmendem Masse, so dass es an der deutsch-niederländischen Grenze bereits auf einen Mittelwert von 41% angestiegen ist.

Ein Mittel zur Berechnung des erforderlichen Reinigungsgrades gibt uns KARL IMHOFF in die Hand durch die Erfassung der sogenannten *Abwasserlast* in bestimmten Punkten in einem Flußsystem. Die Abwasserlast entspricht dem Wert, der sich ergibt aus dem Verhältnis der Einwohnergleichwerte, die ein Wasser belasten, und der Wasserführung bei mittlerem Niederwasser. Beträgt dieser Quotient mehr als 30 Einwohnergleichwerte je Liter Wasserführung pro Sekunde, so ist nach IMHOFF eine biologische Reinigung des Abwassers ins Auge zu fassen. Liegt er tiefer, so genügt eine mechanische Reinigung.

Bei uns dürften die Anforderungen im allgemeinen höher sein, namentlich in Gebieten der Flusswasserinfiltration in den Grundwasserträger oder wenn infolge eines Flußstaus die Selbstreinigungsvorgänge infolge der verminderten Sauerstoffaufnahme aus der Luft im tieferen und weniger bewegten, aufgestauten Wasser vermindert sind. Überdies wird man bei der Beurteilung des Reinheitsgrades verschiedener Fliessgewässer und bestimmter Strecken derselben unterschiedlich empfindlich sein. Als Beispiel hierfür möchte ich den Rhein unterhalb des Rheinfalles nennen, wo der Strom kürzlich durch das neue Kraftwerk bei Rheinau bis zum Rheinfall hinauf gestaut worden ist. Hier gilt es nicht nur, das landschaftliche Bild des Stromes, das jahraus, jahrein Hunderttausende von Besuchern aus aller Welt anzieht, zu schützen, sondern gleichzeitig auch eine Beeinträchtigung des wichtigen Grundwasserfeldes unterhalb von Rheinau unbedingt zu vermeiden. Deshalb dürfen die Abwässer der oberliegenden Gemeinden unter keinen Umständen unangenehme Auswirkungen irgendwelcher Art nach sich ziehen. Trotz der sehr grossen Verdünnung, die das später geklärte Abwasser im Rhein erfährt, und trotz der von Natur aus gegebenen günstigen Bedingungen für die Selbstreinigung des Rheinwassers glauben wir, dass in diesem Falle eine nur mechanische Kläranlage nicht genügen dürfte, sondern dass von Anfang an eine biologische Nachreinigung gefordert werden sollte. Dass in diesem Stromgebiet Vorsicht am Platz ist, ging schon daraus hervor, dass schon vor vielen Jahren eine Badanstalt auf der Höhe der Gemeinde Neuhausen aus hygienischen Rücksichten aufgegeben und eine Badeanlage im Hinterland des Flusses angelegt werden musste.

An diesem Beispiel lässt sich zeigen, wie vorsichtig man sein muss bei

der Anwendung fixer Normen, die am einen Ort gewiss Berechtigung haben, am andern Ort aber nicht genügen.

Die Einleitung des Anlagenabflusses in den Vorfluter

Bei der Einleitung mehr oder weniger weitgehend gereinigter Abwässer in den Vorfluter wird in erster Linie darauf geachtet werden müssen, dass das hässliche Bild einer trüben Abwasserfahne im Fluss oder See nicht entsteht oder doch möglichst wenig ausgeprägt ist. Bei der Einleitung in einen See wird sich dies so bewerkstelligen lassen, dass der Anlagenabfluss ein Stück weit ins Seegebiet, sofern die Verhältnisse günstig liegen, bis an die Halde, das heisst den Steilabfall der Seewanne oder, sofern ufernahe Strömungen vorhanden sind, bis in dieses Gebiet hinein fortgesetzt wird. Dies wird aber in Seen mit ausgesprochener Wyse, das heisst mit einem breiten, flachen Litoral, mitunter mit hohen Kosten verbunden sein. Die gesamten lokalen Verhältnisse werden in solchen Fällen sorgfältig geprüft, bewertet, mit den entstehenden Kosten verglichen, und aus der Gesamtsituation wird die vorteilhafteste Lösung gesucht werden müssen. Allgemeine Empfehlungen lassen sich hierüber kaum geben. In jedem Fall soll die Entfernung der Einmündungsstelle von benachbarten Wasserfassungsstellen und Badeanlagen genügend gross bemessen sein. Manche Amtsstellen verlangen hierfür Minimaldistanzen von 1 km oberhalb und unterhalb einer von der Gefährdung auszuschliessenden Anlage. In vielen Fällen wird man sich mit geringeren Entfernungen begnügen können.

Ist im konkreten Fall auf Badeanlagen und Wasserfassungen die erforderliche Rücksicht genommen worden, so wird der Frage auf Grund sorgfältiger Ermittlungen geringere Bedeutung zukommen, ob die mehr oder weniger weitgehend gereinigten Abwässer mehr oder weniger oberflächlich oder tief gelegt dem See übergeben werden müssen. Indessen dürften prinzipiell die sich aus dem Abwasser noch absetzenden Sinkstoffe sowie die gelösten Stoffe im Epilimnion, das heisst in den höheren Wasserschichten infolge der grösseren sommerlichen Erwärmung des Seewassers und der grösseren Organismendichte am flachen Seegrund, rascher vor sich gehen als im jahraus, jahrein kühlen Hypolimnion. Sofern die Bildung von Schlamm-bänken vor der Mündung des Anlagenabflusses zu befürchten ist, so wird man damit weiter ins tiefere Seegebiet vorstossen müssen, sofern die Lösung nicht durch eine Erhöhung des Reinigungsgrades in der Anlage gesucht werden kann. Das organische Material solcher Schlamm-bänke baut sich nur sehr langsam ab, oft erst im Laufe vieler Jahre, ja sogar

Jahrzehnte, so dass eine lästig werdende Anhäufung abbaufähigen Materials erfolgen und in weitem Umkreis im ufernahen flachen Seegebiet die Entfaltung einer hässlichen Algen- und Wasserpflanzenvegetation auslösen kann. Der Entscheid über die Gestaltung und Einleitung des Anlagenabflusses wird also in jedem einzelnen Fall auf die lokalen Gegebenheiten abgestimmt werden müssen.

Bei der Einleitung geklärter oder gereinigter Abwässer in ein Fließgewässer wird man in der Regel einer Verteilung auf verschiedene Stellen des Querprofils des Gerinnes den Vorzug geben und gleichzeitig Einleitungsstellen wählen, wo infolge von Strömung und Wirbelbildung für eine möglichst rasche und innige Vermischung des Abwassers mit dem Flusswasser und gleichzeitig für eine möglichst gute Durchlüftung von Natur aus gesorgt ist.

Von fischereibiologischer Seite her wird freilich dann und wann der Standpunkt vertreten, man müsse zum mindesten einen Teil des Flussquerschnittes vom Anlagenabfluss freihalten, um den Fischen die Auf- und Abstiegsmöglichkeit im verhältnismässig unbelasteten Wasser zu ermöglichen. Wie weit solche Überlegungen in der Praxis Berücksichtigung verdienen, wird im einzelnen Fall mit den zuständigen Fachinstanzen der Fischerei abzuklären und festzulegen sein. Wir kennen Fälle, wo, entgegen der Prognose der Fischerleute, Wanderfische von Flußstrecken erheblicher Belastung offenbar keine Kenntnis nahmen, indem beispielsweise die Züge der Seeforellen des Bodensees in ihr Laichgebiet im Vorderrhein trotz der inzwischen eingetretenen starken Belastung oberhalb Chur in unvermindertem Masse erfolgten.

LITERATURVERZEICHNIS

Bericht der Expertenkommission über die physikalisch-chemische Untersuchung des Rheinwasser (Verlag Birkhäuser, Basel und Stuttgart 1956).

HAASE, W.-L., *Deutsche Einleitungsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung* (Verlag Chemie, Weinheim 1954).

IMHOFF, K., *Taschenbuch der Stadtentwässerung* (Verlag Oldenbourg, München 1956).

KLUT-OLSZEWSKI, *Untersuchung des Wassers an Ort und Stelle* (Springer-Verlag, Berlin 1945).

KOLKWITZ, R., *Ökologie der Saprobien; über die Beziehungen der Wasserorganismen zur Umwelt*. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Nr. 4 (Piscator-Verlag, Stuttgart 1950).

- LIEBMANN, H., *Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie* (Verlag Oldenbourg, München 1951).
- RUTTNER, F., *Grundriss der Limnologie* (Verlag Walter de Gruyter, Berlin 1952).
- Schweiz. Lebensmittelbuch* (Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, Bern 1937).
- Standard Methods for the Examination of Water, Sewage and Industrial Wastes* (American Public Health Association New York 1955).
- THIENEMANN, A., *Die Binnengewässer, Einzeldarstellungen aus der Limnologie und ihren Nachbargebieten* (Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart).