Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 49 (1957)

Heft: 11

Artikel: Ergänzende Bemerkungen zu den Ergebnissen der Rheinuntersuchung vom 13./14. März 1956

Autor: Schmassmann, Hansjörg

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-920849

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Ergänzende Bemerkungen zu den Ergebnissen der Rheinuntersuchung vom 13./14. März 1956[1]

Von Dr. *Hansjörg Schmaßmann*, Präsident der Fachkommission für regionale Abwasserfragen der Regionalplanungsgruppe Nordwestschweiz

1. Erwägungen zur Herkunft der organischen Stoffe im Rhein

Aus dem BSB_5 per Volumeneinheit und dem Abfluß des Gewässers kann man ein Maß für die in der Zeiteinheit anfallenden biochemisch oxydierbaren Stoffe berechnen, das als BSB_5-Anfall zu bezeichnen ist. Unter der Annahme, daß ein Einwohner täglich eine Menge an Schmutzstoffen liefert, die z. B. einem BSB_5 von 54 g entspricht, kann man den täglichen Anfall auch in Einwohnergleichwerten ausdrücken. Mit kaum durch eine andere Untersuchungsmethode zu überbietender Anschaulichkeit gewinnt man dadurch eine allgemeine Vorstellung von der Schmutzstoffbelastung eines Gewässers und von den Belastungszunahmen auf bestimmten Gewässerstrecken. Diese Art der Betrachtung läßt auch am ehesten erkennen, wo zur Erklärung einer Zunahme des BSB außer der Belastung durch häusliche Abwässer noch biochemisch oxydierbare Stoffe anderer Herkunft herangezogen werden müssen. Die Resultate der Rheinuntersuchung vom 13./14. März 1956 liefern uns einige solcher Beispiele. Obwohl die damit zusammenhängenden Probleme durch die Untersuchungsergebnisse vom März 1956 nicht vollständig abgeklärt sind, erscheint es doch angezeigt, sie hier zur Diskussion zu stellen. Damit soll vor allem angeregt werden, diese Fragen durch spezielle Untersuchungen einer Abklärung entgegenzuführen.

Im Bericht über die Aare-Untersuchung wurde darauf hingewiesen, daß der BSB des Aarewassers in jahreszeitlich wechselndem Ausmaß teilweise auf das aus den Seen stammende *Plankton* zurückzuführen sei. Neuere Rheinwasser-Untersuchungen haben in Bestätigung dieser Ansicht ergeben, daß insbesondere das Phytoplankton des Rheins einen erheblichen Einfluß auf die Höhe der BSB-Werte auszuüben vermag. Die mit der Kohlensäure-Assimilation der autotrophen Pflanzen verbundene Produktion lebender organischer Substanz vermag eine echte Zunahme der durch den BSB erfaßten biochemisch oxydierbaren Stoffe hervorzurufen. Der Anteil der lebenden organischen Substanz am BSB_5 kann im Rhein und in anderen Gewässern so bedeutend sein, daß er bei der Beurteilung der BSB-Werte unbedingt in Betracht gezogen werden muß. Wir werden gerade auf diese Frage in Zukunft sicher noch in vermehrtem Maße als bisher unser Augenmerk richten müssen.

Hinweise auf den dargelegten Sachverhalt ergaben sich auch aus den Rheinuntersuchungen vom 13./14. März 1956. So kann die Zunahme des BSB-Anfalls *zwischen Stein a. Rh. und Schaffhausen* von rund 20 t / Tag (= etwa 370 000 Einwohnergleichwerte) kaum auch nur zu einem ins Gewicht fallenden Anteil auf Abwassereinflüsse zurückgeführt werden. Wie der tägliche Gang der Sauerstoff-Konzentration zeigt, hatte auf dieser Strecke eine assimilatorische Tätigkeit stattgefunden, die zu einer Produktion lebender organischer Substanz geführt haben mußte. Diese Erhöhung des Gehaltes an lebender organischer Substanz ist sehr wahrscheinlich in erster Linie für die Erhöhung des BSB_5 verantwortlich zu machen. Bezeichnenderweise kommen bei Schaffhausen denn auch die durchschnittlich höchsten BSB-Werte zur Zeit des steilen Anstiegs der Sauerstoff-Konzentration zwischen 10 und 13 Uhr vor, als die Produktion an organischer Substanz somit am stärksten war.

Ferner ist die rund 40 t/Tag (etwa 750 000 Einwohnergleichwerte) betragende Zunahme des BSB-Anfalls *zwischen Schaffhausen und Dachsen* nur teilweise aus den Abwassereinflüssen der Region Schaffhausen verständlich. Auf Grund spezieller Untersuchungen wissen wir, daß der BSB_5 bei den vorliegenden Konzentrations-Verhältnissen nicht oder nur in geringem Maße von der Sauerstoff-Konzentration abhängig ist. Die Zunahme des BSB_5 zwischen Schaffhausen und Dachsen von 1,90 mg/l kann deshalb nicht direkt aus der auf der gleichen Strecke 1,76 mg/l betragenden Zunahme der Sauerstoff-Konzentration erklärt werden. Auch der Verlauf von BSB und Sauerstoff im Längsprofil des Rheins weist nicht auf einen solchen direkten Zusammenhang hin. So nahm der BSB_5 unterhalb Dachsen bis Ellikon um 2,42 mg/l ab, während beim Sauerstoff auf der gleichen Strecke nur eine Abnahme um 0,48 mg/l zu verzeichnen war. Wenn also die hohen BSB-Werte von Dachsen mit der hohen Sauerstoff-Konzentration direkt zusammenhängen würden, wäre es nicht erklärlich, daß bei den fast ebenso hohen Sauerstoff-Konzentrationen von Ellikon nicht ebenfalls hohe Werte auftraten. Die hohen BSB-Werte von Dachsen müssen deshalb als echt angesehen werden. Außer mit der Abwasserbelastung durch die Region Schaffhausen und mit der weiteren Erhöhung des BSB durch die photosynthetische Produktion der autotrophen Organismen ist auf dieser Strecke mit der Möglichkeit zu rechnen, daß Planktonorganismen in dem über die Stromschnellen schießenden und über den Rheinfall stürzenden Wasser in überdurchschnittlichem Maße zerstört und dadurch dem biochemischen oxydativen Abbau besser aufgeschlossen werden.

Auffallend ist die zwischen Eglisau-Oberwasser und -Unterwasser einerseits und Kaiserstuhl anderseits aus den Analysen-Werten vom 13./14. März 1956 hervorgehende erhebliche Zunahme der Belastung mit organischen Stoffen. Die Zunahme des Anfalls *zwischen Eglisau-Oberwasser und Kaiserstuhl* entsprach einem Kaliumpermanganat-Verbrauch von 102 t/Tag bzw. einem BSB_5 von 37 t/Tag (= etwa 690 000 Einwohnergleichwerte). Wäre diese Erhöhung auf den Zufluß der Glatt zurückzuführen gewesen, hätte sie sich in ähnlichem Maße auch bei Eglisau-Unterwasser geltend machen müssen. Ferner kann auf Grund des bei den Untersuchungen von Waser, Husmann und Blöchliger 1933/34 erhaltenen Mittelwerte und der entsprechenden Abflußmengen geschätzt werden, daß der mittlere Anfall aus der Glatt damals einem Permanganatverbrauch von rund 20 t/Tag bzw. einem BSB_5 von rund 2 t/Tag entsprach. Diese Werte vermögen somit die im März 1956 im Rhein zwischen Eglisau-Oberwasser und Kai-

[1] Vgl. Die Verunreinigung des Rheins vom Bodensee bis Karlsruhe. — Wasser- und Energiewirtschaft Nr. 5 und 10 (1957).

serstuhl festgestellten Zunahmen nicht zu erklären. Es bestehen auch keine Anhaltspunkte, daß die Belastung seit 1933/34 um diese enorme Differenz zugenommen hätte. Andere nennenswerte Abwasserbelastungen finden jedoch auf der Strecke Eglisau-Oberwasser–Kaiserstuhl nicht statt. Beim Versuch einer Interpretation der beträchtlichen Zunahmen des Permanganatverbrauchs und des BSB_5 ist namentlich an *Einflüsse aus den tieferen Partien des Stauraums von Eglisau* zu denken. Wir müssen mit der Möglichkeit rechnen, daß die an der Wasseroberfläche am Ende des Staues (Eglisau-Oberwasser) erhobenen Wasserproben Verhältnisse anzeigten, die in Bezug auf die gesamte aus dem Stauraum abfließende Wassermasse zu günstig waren. Damit ist jedoch nicht erklärt, daß die beträchtlichen Zunahmen des Gehaltes an organischen Stoffen nicht schon zwischen Eglisau-Oberwasser und Eglisau-Unterwasser festgestellt wurden. Nach den hydraulischen Verhältnissen ist zu erwarten, daß dann, wenn wie im März 1956 die gesamte Wassermenge genutzt wird, das Wasser der tieferen Partien des Stauraums vor allem durch die rechtsseitigen Turbinen zum Abfluß gelangt. Von anderen Flußkraftwerken, so z. B. von Färbungsversuchen beim Kraftwerk Augst, wissen wir, daß die durch die einzelnen Turbinen gegangenen Wassermassen selbst bei rechtwinkliger Abdrehung im Unterwasser nicht sofort vermischt werden, sondern zunächst noch auf größere Strecken mehr oder weniger geschlossen und sich nur allmählich vermischend nebeneinander weiterfließen. Es besteht somit — zunächst rein hydraulisch gesehen — die Möglichkeit, daß der im März 1956 von den tieferen Partien des Stauraums beeinflußte Abfluß der rechtsseitigen Turbinen an der in der linken Stromhälfte gelegenen Stelle Eglisau-Unterwasser gar nicht erfaßt worden ist, was die bis Kaiserstuhl beobachteten Zunahmen des Gehaltes an organischen Stoffen zu erklären vermöchte.

Die im März 1956 beobachtete Zunahme des Kaliumpermanganat-Verbrauchs zwischen Eglisau-Oberwasser und Kaiserstuhl ist auch insofern auffallend, daß Waser, Blöchliger und Thomas 1938/41 bei keiner der 18 Untersuchungen (Einzelproben im Längsprofil Eglisau–Straßenbrücke Kaiserstuhl) einen entsprechenden Befund festgestellt hatten, daß aus den Mittelwerten der 1948/54 von der Staatlichen Lebensmitteluntersuchungsanstalt Karlsruhe ausgeführten Untersuchungen[2] (Einzelproben im Längsprofil) im Gegensatz zum März 1956 zwischen Konstanz und Ettikon (oberhalb Koblenz) keine Zunahme des Permanganatverbrauchs hervorgeht und daß sich aus einer von derselben Anstalt im Oktober 1955 ausgeführten Untersuchung zwischen Rheinau und oberhalb Waldshut ebenfalls keine gesicherten Veränderungen des Permanganatverbrauchs ergeben. Was den Vergleich mit den Jahren 1938/41 betrifft, bestände die Möglichkeit, daß sich die Verhältnisse am Boden des seit 1920 bestehenden Stauraums inzwischen in der Weise geändert haben, daß die Schlammablagerungen angewachsen sind und ihr Einfluß dadurch verstärkt wurde. Daß es auf anderen, z. T. noch älteren Staustufen des Hochrheins nicht zu ähnlichen Erscheinungen gekommen ist, könnte mit der im Vergleich zu jenen gestauten Stromstrecken auf der Staustufe Eglisau geringeren Strömung zusammenhängen. Der Vergleich mit den Resultaten von 1948/55 weist indessen darauf hin, daß jedenfalls am 13./14. März 1956 Verhältnisse vorgelegen haben müssen, die auch für den heutigen Zustand außergewöhnlich waren, sei es nun in hydraulischer, in thermischer oder in chemischer Beziehung. Dabei kann der Zeitabstand seit der letzten durch ein größeres Hochwasser erfolgten Spülung des Stauraums eine Rolle spielen, indem der abgesetzte Schlamm nach Erreichen einer gewissen Schichthöhe auch bei Niederwasser nicht mehr zurückgehalten wird. Solche Einflüsse mögen auf anderen Staustufen ebenfalls eine Rolle spielen, werden aber dort durch andere Vorgänge stark überlagert. Da die Zunahme der Belastung mit chemisch und biochemisch oxydierbaren Stoffen unterhalb der Staustufe Eglisau sehr wahrscheinlich nicht dauernd in dem am 13./14. März 1956 festgestellten Ausmaße erfolgt, wird es auch bei Durchführung ergänzender Untersuchungen nicht leicht sein, die Ursache der beobachteten Erscheinung eindeutig abzuklären.

Zwischen Birsfelden und Neuenburg wurde am 13./14. März 1956 ein Zuwachs des BSB_5-Anfalls von 131 t/Tag, entsprechend rund 2,4 Millionen Einwohnergleichwerten, festgestellt. Werte ähnlicher Größenordnung ergeben sich aus den Resultaten anderer Untersuchungen. Die Zunahme des Anfalls an biochemisch oxydierbaren Stoffen ist somit viel größer, als rechnerisch aus der Belastung mit den häuslichen Abwässern der betreffenden Region hervorgeht. Dies weist darauf hin, daß sehr wahrscheinlich ein beträchtlicher Teil der auf der betreffenden Strecke in den Rhein gelangenden organischen Schmutzstoffe aus *industriellen Abwässern* stammt.

2. Der biochemische Abbau der organischen Stoffe beim BSB-Versuch[3]

Bereits 1908 war bei den Untersuchungen der englischen Royal Commission on Sewage Disposal erkannt worden, daß die biochemische Oxydation der in einem Wasser bzw. in einem Abwasser enthaltenen Stoffe in zwei Stufen vor sich geht. Für den *Verlauf der Oxydation* erster Stufe haben Streeter und Phelps auf Grund ihrer Untersuchungen am Ohio-Fluß gefunden, daß das Maß des biochemischen Abbaus der organischen Stoffe im Wasser direkt proportional der jeweils noch vorhandenen am restlichen vollen biochemischen Sauerstoffbedarf (erster Stufe) gemessenen Menge an biochemisch oxydierbaren Stoffen ist. Nach Streeter ist dieses Gesetz auch für die zweite Abbaustufe anwendbar. Es handelt sich demnach um zwei sich überlagernde Reaktionen 1. Ordnung, die sich allgemein wie folgt formulieren lassen:

$$Y = L_1 (1-10^{-k_1 t}) + L_2 (1-10^{-k_2 [t-a]})$$

Es bedeuten:

Y = BSB beider Stufen in der Zeit t
L_1, L_2 = BSB_{voll} der ersten bzw. zweiten Stufe
k_1, k_2 = Reaktionsgeschwindigkeitskonstante (auf Basis 10) der ersten bzw. zweiten Stufe
a = Zeitspanne, um welche die zweite Stufe später einsetzt als die erste Stufe

[2] G. Ebeling, Über den $KMnO_4$-Verbrauch (Manuskript im Protokoll der Fachkommission für regionale Abwasserfragen vom 24. 8. 56).

[3] H. Schmaßmann, Bedeutung und Fehlergrenzen der BSB-Bestimmung im Rheinwasser (Manuskript im Protokoll des Arbeitsausschusses für die Koordination der Untersuchungsmethodik am Hochrhein vom 9./10. September 1955).

Der zweite Teil der Gleichung gilt nur für positive Werte von t–a.

Die Richtigkeit dieser Theorie ist nicht unwidersprochen geblieben. In der Tat ist es ja erstaunlich, daß ein derart komplizierter Vorgang, wie ihn die biochemische Oxydation der im Wasser enthaltenen Stoffe zweifellos darstellt, durch eine einfache mathematische Beziehung zu erfassen sein soll. Es war deshalb interessant, durch *Versuche mit Rheinwasser* zu überprüfen, ob dieser Vorgang tatsächlich nach der Art von zwei sich überlagernden Reaktionen 1. Ordnung abläuft und ob sich der in einem beliebigen Zeitraum zu erwartende BSB des Rheinwassers auf Grund der an anderen Orten erhaltenen empirischen Beziehungen und Werte aus dem BSB_5 annäherungsweise berechnen läßt. Den Ergebnissen dieser Versuche kann entnommen werden, daß die zweite Reaktionsstufe etwa 6 Tage nach Versuchsbeginn einsetzt. Der Wert a liegt damit in der Größenordnung der im Illinois-Fluß erhaltenen Werte, wo Streeter a = 5 bis 11 Tage fand. Die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante der ersten Stufe wurde entsprechend dem von Streeter und Phelps bei ihren klassischen Untersuchungen gefundenen Wert bei 20° C zu $k_1 = 0{,}1$ angenommen. Für die anderen Temperaturen (7° bzw. 22°) wurde k_1 nach der Beziehung $k_1\ (T°\ C) = k_1\ (20°\ C) \cdot c^{(T-20)}$ berechnet, wobei c nach den Angaben von Gotaas zu 1,108 (bei 5–15°) bzw. zu 1,041 (bei 15–30°) angenommen wurde. Die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante der zweiten Stufe wurde zu 25% derjenigen der ersten Stufe angenommen. Dies ist das Mittel des von H. A. Thomas bei Abwasseruntersuchungen gefundenen Verhältnisses (20—30 %).[4]

Dem Vergleich der auf Grund dieser Annahme aus dem BSB_5 berechneten Werte mit den experimentell erhaltenen Werten kann entnommen werden, daß die bei der Ermittlung des BSB im Rheinwasser ablaufenden biochemischen Oxydationen tatsächlich bestimmten Gesetzmäßigkeiten folgen, die sich zumindest annäherungsweise und statistisch gesehen durch die Theorie von Streeter und die durch die amerikanischen Forscher erhaltenen Grundzahlen mathematisch erfassen lassen. So wichen z. B. die aus dem BSB_5 berechneten BSB_{20} bei Temperaturen von 20 und 22° nur ± 15% von den experimentell bestimmten BSB_{20} ab. Natürlich wollen wir uns klar sein, daß die im BSB-Versuch ablaufenden Vorgänge viel komplizierter sind, als daß sie unmittelbar einer Reaktion 1. Ordnung entsprechen würden. Ihre Summation ergibt jedoch einen Ablauf, der ähnlich wie derjenige einer bzw. zwei solcher sich überlagernden Reaktionen ist. Ferner kann den Versuchsergebnissen entnommen werden, daß die von Theriault angegebene Gleichung annäherungsweise zu Grunde gelegt werden kann, wenn es darum geht, den bei einer bestimmten Temperatur ermittelten BSB von Rheinwasser auf andere Temperaturbedingungen umzurechnen.

Einen weiteren Hinweis auf die Brauchbarkeit der angenommenen Beziehungen ergeben Resultate, die bei der Überwachung des Themse-Flusses gewonnen wurden. Southgate[5] schreibt hierüber: «Die meisten verfügbaren Werte über die Stärke der in die Themse erfolgenden Schmutzwassereinleitungen beziehen sich auf den BSB_5. Zur Berechnung des Einflusses dieser Einleitungen im Mündungsgebiet des Flusses muß man jedoch den vollen BSB kennen. Deshalb ist es wichtig, sich so genau wie möglich über das Verhältnis zwischen dem BSB_5 und dem vollen BSB zu vergewissern. Die meisten Laboratoriumsversuche zeigen, daß dieses Verhältnis etwa 1 : 2,9 beträgt.» Nach den von uns angenommenen Beziehungen ist der volle BSB bei 20° 2,92 mal größer als der BSB_5. Die Übereinstimmung weist darauf hin, daß die angenommenen Beziehungen zumindest bei größeren Strömen eine viel universellere Gültigkeit besitzen als gerade nur für den Illinois-River und den Hochrhein.

Abschließend kann festgestellt werden, daß uns die Bestimmung des Standard-BSB (BSB_5 bei 20° C) nicht nur ein vergleichbares Maß der im Rheinwasser enthaltenen biochemisch oxydierbaren Stoffe gibt, sondern uns auch die Möglichkeiten bietet, bei der Beurteilung des Gewässers weitere Schlüsse zu ziehen.

3. Der biochemische Abbau der organischen Stoffe im Grundwasser und die zulässige Belastung des Rheins mit organischen Stoffen

Die analogen Verhältnisse lassen es als berechtigt erscheinen, die bei der Ermittlung des BSB im Laboratorium, d. h. unter Luftabschluß in der Dunkelheit und bei fehlender Turbulenz, gefundenen Beziehungen auch anzuwenden, um den ungefähren Ablauf der biochemischen Oxydation und damit des Abbaus der oxydierbaren Stoffe im Grundwasser vorauszusagen. Zur Veranschaulichung sei das im Bericht über die Aare-Untersuchung angeführte Beispiel auf Grund der neuen Ergebnisse nochmals erläutert. Wenn der BSB_5 eines Wassers bei 20° zu 1,0 mg/l bestimmt wird, so kann sein voller BSB 1. und 2. Stufe nach der Streeterschen Gleichung bei der gleichen Temperatur zu 2,92 mg/l geschätzt werden. Da jedoch sowohl die mittlere Temperatur des Infiltrationswassers als auch die Grundwassertemperatur tiefer sind, wird der Gleichgewichtszustand schon bei einem unter 2,92 mg/l liegenden BSB erreicht werden. Dieser läßt sich nach der Theriaultschen Gleichung bei 10° zu 2,34 und bei 15° zu 2,63 mg/l schätzen. Annäherungsweise kann somit angenommen werden, daß im infiltrierten Grundwasser beim vollen Abbau der biochemisch oxydierbaren Substanzen unter aeroben Verhältnissen etwa 2½ mal so viel Sauerstoff aufgebraucht wird, wie der BSB_5 (20°) beträgt.

Bei der *Beurteilung der zulässigen Belastung des Hochrheins* mit biochemisch oxydierbaren Schmutzstoffen ist nach Auffassung der Fachkommission für regionale Abwasserfragen der RPG-NW von den gleichen Kriterien auszugehen, wie sie bereits im Bericht über die Aare-Untersuchung dargelegt wurden. Die bezüglich der zulässigen Belastung des Hochrheins höchsten Anforderungen ergeben sich vom Gesichtspunkt des Grundwasserschutzes, wodurch auch die von anderen Gesichtspunkten aus zu stellenden Forderungen erfüllt werden können. Wie an der Aare erfolgt auch am Hochrhein die Speisung der Grundwasservorkommen in erheblichem Umfange durch die Infiltration von Flußwasser. Im Jahresmittel kann bei beiden Gewässern mit einer aktuellen Sauerstoff-Konzentration von etwa 10 mg/l gerechnet werden. Wie im Aare-Bericht bereits dargelegt wurde, sollte die aktuelle Sauerstoff-Konzentration eines

[4] Vgl. W. Müller, G.I. 74 (1953), S. 15 ff.

[5] Report of the Water Pollution Research Board 1954.

Grundwassers zur Vermeidung korrosiver Eigenschaften möglichst über 7,5 mg/l liegen. Aus den verschiedenen Erwägungen ergibt sich auch für den Hochrhein die für die Aare gestellte Forderung, daß der BSB_5 im Niederwasser-Mittel nicht höher als etwa 1 mg/l liegen sollte. Auf die Frage, ob diese Forderung am Oberrhein unterhalb Basel, wo hinsichtlich der Wasserversorgungen andere Verhältnisse bestehen, ebenfalls berechtigt sei, kann im vorliegenden Zusammenhang nicht näher eingetreten werden.

Wie die anläßlich der Rheinuntersuchung vom 13./14. März 1956 ermittelten BSB-Werte zeigen, war die hinsichtlich des BSB zu stellende Anforderung im Abfluß des Bodensee-Obersees erfüllt. Da der BSB im Hochrhein zwischen Untersee und unterhalb Schaffhausen in erheblichem Maße durch Planktonorganismen verursacht ist, wird ferner für diese Stromstrecke nicht der gleich strenge Maßstab angelegt werden können. Fast erreicht wurde sodann ein BSB_5 von 1 mg/l im März 1956 am Ende der Staustufe Birsfelden. Die Untersuchungsergebnisse vom Jahre 1957 zwingen jedoch zum Schluß, daß die gestellte Forderung auch hier trotz der günstigen Resultate der einen Untersuchung nicht als erfüllt betrachtet werden kann.

Auf allen anderen Strecken des Hochrheins, insbesondere von der Aaremündung an, war die Belastung mit vorwiegend aus Abwässern stammenden biochemisch oxydierbaren Stoffen im März 1956 zu hoch, um einen ausreichenden Schutz des Grundwassers gewährleisten zu können. Diese Feststellung wird durch die praktischen Erfahrungen in den durch Rheinwasserinfiltrationen gespiesenen Grundwasservorkommen gestützt.

Außer dem am BSB gemessenen Gehalt an organischen Stoffen sind die durch den Permanganatverbrauch erfaßten Schmutzstoff-Belastungen in Betracht zu ziehen. Bei den langen Aufenthaltszeiten infiltrierter Flußwässer im Untergrund können nämlich auch die schwer abbaubaren Stoffe zum Sauerstoffschwund beitragen. Dabei fällt vor allem die durch den Zufluß der Aare erfolgende zusätzliche Belastung mit derartigen Stoffen erheblich ins Gewicht.

In Betracht zu ziehen wären schließlich die Verölung des Rheins und seine Verunreinigung mit phenolhaltigen Stoffen. Da hierüber im vorliegenden Zusammenhang keine Untersuchungen durchgeführt wurden, soll nur vollständigkeitshalber darauf hingewiesen werden.

4. Die Bedeutung der Selbstreinigung im Hochrhein

In fließenden Oberflächengewässern sind Verhältnisse vorhanden, die von denjenigen in der Sauerstoff-Flasche stark abweichen. Es ist deshalb nicht erstaunlich, wenn viele Beobachtungen zeigen, daß der Abbau der oxydierbaren Stoffe nicht nur in den biologischen Reinigungsanlagen, sondern auch in fließenden Gewässern viel rascher verläuft als bei der Bestimmung des BSB. Ferner wurde beobachtet, daß die Temperatur sowohl bei biologischen Reinigungsanlagen als auch bei fließenden Gewässern einen viel geringeren Einfluß auf den Abbau der oxydierbaren Stoffe besitzt als bei der laboratoriumsmäßigen Bestimmung des BSB. Ferner laufen im Fluß neben den beiden bei den oxydativen Prozessen unterscheidbaren Stufen verschiedene andere Vorgänge ab, welche teils zu einer Erniedrigung, teils zu einer Erhöhung des Gehaltes an biochemisch oxydierbaren Stoffen führen, z. B. Adsorptionsprozesse, Sedimentationsprozesse, Abschwemmung oder Auflösung von bereits abgesetztem Schlamm, Assimilationsprozesse usw. Die Differenz zwischen den Summen der den BSB erniedrigenden und der ihn erhöhenden Vorgänge ergibt den Betrag der Selbstreinigung. Man darf nicht erwarten, daß sich dieser mit der gleichen Genauigkeit mathematisch erfassen läßt wie der im Laboratorium beobachtete BSB-Abbau. Trotzdem kann der Darstellung der im fließenden Gewässer erfolgenden Verminderung der oxydierbaren Stoffe die der biochemischen Oxydation 1. Stufe entsprechende Streetersche Gleichung zugrunde gelegt werden. In der Praxis hat sich gezeigt, daß damit unter ähnlichen hydraulischen Verhältnissen meist auch ähnliche Reaktionsgeschwindigkeiten erhalten werden. Obwohl hier eine echte Reaktion 1. Ordnung noch viel weniger vorliegt als bei der laboratoriumsmäßigen BSB-Bestimmung, kann somit die Anwendung der betreffenden Gleichung dazu dienen, zahlenmäßige Aussagen über die Geschwindigkeit der im Gewässer ablaufenden Selbstreinigungsvorgänge zu machen. Sollen an ein Gewässer, z. B. im Hinblick auf den Grundwasserschutz, bestimmte Anforderungen an die Höhe des BSB gestellt werden, so liefert diese Kenntnis Grundlagen für die Ermittlung der notwendigen Dimensionierung von Abwasserreinigungsanlagen.

Die Geschwindigkeitskonstante der für den Ablauf der Selbstreinigung annäherungsweise angenommenen Reaktion 1. Ordnung, d. h. die «Selbstreinigungskonstante»,[6] können wir dann bestimmen, wenn der BSB sowohl vom oberen als auch vom unteren Ende einer Selbstreinigungsstrecke bekannt ist. Im Hinblick auf die BSB-Schwankungen im Tagesablauf erhält man jedoch einigermaßen brauchbare Werte nur dann, wenn auf 24stündige Untersuchungen sich stützende Mittelwerte vorliegen. In diesen Mittelwerten ist auch die verhältnismäßig große Streuung der Einzelbestimmungen des BSB_5 weitgehend eliminiert, wie dies z. B. aus den anläßlich der Rheinuntersuchung vom 13./14. März 1956 von Laufenburg bis Augst-Wyhlen ausgeführten Doppelbestimmungen hervorgeht. Im Durchschnitt aller Proben betrug die Differenz zwischen dem größeren und dem kleineren Einzelwert bei Laufenburg 0,49 mg/l, bei Ryburg 0,57 mg/l, bei Wyhlen 0,34 mg/l und bei Augst 0,39 mg/l oder im Mittel aller Stellen 0,45 mg/l. Vergleicht man jedoch entsprechend dem Zufall die Mittel aller in den Protokollen zuerst aufgeschriebenen mit allen als zweiten Versuch aufgeschriebenen Proben, erhält man eine wesentlich kleinere Differenz, die in Laufenburg — 0,06 mg/l, in Ryburg + 0,15 mg/l, in Wyhlen + 0,07 mg/l und in Augst — 0,12 mg/l oder im Mittel aller Proben nur noch etwa + 0,01 mg/l betrug. Daraus geht hervor, daß die Streuung der für die Berechnung der Selbstreinigungskonstante herangezogenen, aus 24 Einzelbestimmungen erhaltenen Tagesmittel nur noch gering ist.

Auf den Selbstreinigungsstrecken der Aare ergaben sich für die Selbstreinigungskonstanten Werte von $k' =$ 0,3 bis 0,4. Das heißt, daß die Selbstreinigung in diesem Gewässer am 30. September / 1. Oktober 1952 rund drei bis vier mal rascher verlief als der biochemische Abbau bei der laboratoriumsmäßigen Bestimmung des BSB.

[6] H. Schmaßmann, Untersuchungen über den Stoffhaushalt fließender Gewässer. — Schweiz. Z. f. Hydr. 13 (1951).

Am 13./14. März 1956 war die Strecke *Dachsen–Ellikon* der oberste Stromabschnitt, auf welchem eine Abnahme des BSB_5 zu verzeichnen war. Die Berechnung der Selbstreinigungskonstante ergibt für diese Strecke bei einer rund vierstündigen Fließzeit einen Wert von $k' = 1{,}9$. Auf dieser Strecke fand demnach ein außerordentlich rascher Abbau der biochemisch oxydierbaren Stoffe statt. Dies ist ein weiterer Hinweis darauf, daß die den BSB_5 zwischen Stein a. Rh. und Schaffhausen und vor allem zwischen Schaffhausen und Dachsen erhöhenden Substanzen zu einem wesentlichen Teil einen von Abwasserschmutzstoffen verschiedenen Charakter besaßen.

Ein außergewöhnlich rascher Abbau der biochemisch oxydierbaren Stoffe ergibt sich aus den Analysenwerten vom 13./14. März 1956 auch im Stromabschnitt Augst–Birsfelden. Ohne Berücksichtigung der auf der Strecke stattfindenden zusätzlichen Belastungen ergibt die Berechnung der Selbstreinigungskonstante ebenfalls ungefähr $k' = 1{,}9$. Mit der Berücksichtigung der zusätzlichen Belastungen würde k' noch erheblich größer. Schon der Wert $k' = 1{,}9$ übertrifft bei weitem die auf Selbstreinigungsstrecken der Aare 1952 sowie bei der vorliegenden Untersuchung auf den Strecken Kaiserstuhl–Koblenz und Laufenburg–Augst übereinstimmend mit etwa $k' = 0{,}3$ bis 0,4 gefundenen Werte. Auf den jedenfalls singulären Charakter der am 13./14. März 1956 im Gebiet der Staustufe Birsfelden erfaßten Verhältnisse wurde bereits im gemeinsamen Bericht über die koordinierte Rheinuntersuchung hingewiesen.

Auf den übrigen durch die Untersuchung vom 13./14. März 1956 am Hochrhein erfaßten Selbstreinigungsstrecken ergab die Berechnung der Selbstreinigungskonstante ähnliche Werte wie bei der Aare-Untersuchung 1952. So erhält man für die Strecke *Kaiserstuhl–Koblenz* bei einer rund achtstündigen Fließzeit etwa $k' = 0{,}4$. Unterhalb der Aare-Mündung kann sodann der Stromabschnitt zwischen Laufenburg und Augst-Wyhlen vorwiegend als Selbstreinigungsstrecke angesehen werden. Die Berechnung der Selbstreinigungskonstante ergibt sowohl für die Strecke *Laufenburg–Ryburg* (etwa 9 Stunden) als auch für die Strecke *Ryburg–Augst* (etwa 4½ Stunden) ungefähr $k' = 0{,}3$. Da die zusätzlichen Belastungen bei der Berechnung nicht berücksichtigt sind, dürfte der Wert dieser Strecken eher noch etwas größer sein. Die Geschwindigkeit der Verminderung der biochemisch oxydierbaren Stoffe lag somit auf diesen Strecken des Hochrheins in der gleichen Größenordnung, wie sie 1952 auf Selbstreinigungsstrecken der Aare gefunden worden war.

Daß die in der Aare und die im Hochrhein zwischen Kaiserstuhl und Augst ermittelten Selbstreinigungskonstanten größenordnungsmäßig übereinstimmen, kann kaum als Zufall angesehen werden. Dabei können hinsichtlich der Geschwindigkeit der Selbstreinigungsprozesse an der Aare und am Hochrhein — wenn wir von den Staustufen Eglisau und Birsfelden absehen — keine merklichen Unterschiede zwischen gestauten und ungestauten Stromstrecken erkannt werden. Da die Fließgeschwindigkeit auf den Staustufen verlangsamt ist, weist dieser Befund darauf hin, daß der auf die Längeneinheit des Stromes bezogene Betrag der BSB-Abnahme auf den gestauten Strecken eher größer ist als auf den natürlichen Stromabschnitten. Dies muß vor allem darauf zurückgeführt werden, daß auf den Staustufen neben dem oxydativen Abbau auch Sedimentationsvorgänge an der Erniedrigung der Belastung mit organischen Stoffen beteiligt sind. Staustufen können somit für die unterliegenden Stromstrecken eine Verbesserung der Wasserqualität bringen, im Staugebiet selbst dagegen infolge der Schlammablagerungen zu einer Verschlechterung der hygienischen Verhältnisse führen. Die unterhalb der Staustufe Eglisau beobachteten Verhältnisse lassen allerdings die Möglichkeit offen, daß die Schlammablagerungen zumindest zeitweise auch für die unterliegenden Stromstrecken nicht unbedenklich sein können. Eine überraschend starke Verminderung der Schmutzstoffe wurde im März 1956 auf der Staustufe Birsfelden beobachtet, während dann im ungestauten Oberrhein unterhalb Basel eine sich in einer Abnahme der biochemisch oxydierbaren Stoffe äußernde Selbstreinigung nicht zu erkennen war. Die Ursachen dieser beiden auffälligen Befunde sind ohne weitere Untersuchungen nicht abschließend zu überblicken. Doch zeigen die Untersuchungsergebnisse vom Januar 1957, daß die im März 1956 festgestellten günstigen Veränderungen auf der Staustufe Birsfelden nicht dauernd vorhanden sind.

Nehmen wir auf Grund der Ergebnisse der Aare-Untersuchung 1952 und der Rhein-Untersuchung 1956 für die beiden Gewässer eine Selbstreinigungskonstante von etwa $k' = 0{,}3$ an, so bedeutet dies in der Praxis, daß die an einer bestimmten Stelle des Gewässers vorhandene oder eingeleitete, am BSB gemessene Menge organischer Stoffe nach einer Fließzeit von einem Tag um etwa die Hälfte vermindert wird. Es ist jedoch nicht möglich, daraus Schlüsse auf die Sauerstoff-Bilanz des Gewässers zu ziehen, wie dies auf Grund effektiv bestimmter oder meistens sogar nur angenommener BSB-Werte einerseits und theoretischer Überlegungen über die Sauerstoff-Aufnahme anderseits vielfach versucht wird. Eine solche über die Ermittlung der Selbstreinigungsgeschwindigkeit hinaus gehende Berechnung kann gerade am Rhein nicht zu schlüssigen Resultaten führen, da sie einen ganz entscheidenden Faktor im Sauerstoff-Haushalt des Stromes, nämlich die assimilatorische Sauerstoff-Produktion, notgedrungen vernachlässigen muß.

5. Die Stoffhaushalts-Typen des Hochrheins

Vom fischereilichen Standpunkt aus sind alle zwischen Bodensee und Illingen beobachteten Sauerstoff-Werte noch als ausreichend zu betrachten. Auch vom wasserversorgungstechnischen oder vom allgemeinen hygienischen Standpunkt aus können die festgestellten Werte als solche, d. h. in ihrer absoluten Größe, kaum zu einer ungünstigen Beurteilung Anlaß geben. Bei großen Strömen wie dem Hoch- und Oberrhein mit einer ausreichenden Sauerstoff-Konzentration ist es auch viel weniger die absolute Größe der Konzentration oder des Anfalls, welche für die Beurteilung wertvoll ist. Vielmehr sind es die relativen Veränderungen im Längsprofil und im Tagesablauf, die uns wichtige Anhaltspunkte für die Beurteilung des Gewässers geben.

Der Sauerstoffhaushalt eines Gewässers wird im Wesentlichen durch folgende Vorgänge beeinflußt:

a) Austausch zwischen Wasser und Atmosphäre: Da eine bestimmte, von Druck und Temperatur abhängige Sauerstoff-Konzentration im Gleichgewicht mit der Atmosphäre steht, wird dann, wenn diese Sättigungs-Konzentration überschritten ist, Sauerstoff an die Atmosphäre abgegeben, dagegen dann, wenn sie unterschritten ist, Sauerstoff aus der Atmosphäre aufgenommen. Die Geschwindigkeit dieses nach der einen oder nach der anderen Seite verlaufenden Austauschvorganges ist vor allem von den hydraulischen Verhältnissen des Gewässers abhängig.

b) Sauerstoff-Produktion bei Assimilationsprozessen: Der Aufbau der Organismen erfolgt durch assimilatorische Prozesse. Organismen, welche dabei nur anorganische Substanzen aufnehmen und diese in körpereigene Stoffe überführen, bezeichnet man als autotroph. Die wichtigste Gruppe dieser autotrophen Organismen sind die grünen Pflanzen, welche unter Benützung der Energie der Sonnenstrahlung und mit Hilfe des Chlorophylls aus Kohlensäure und Wasser Kohlenhydrate aufzubauen vermögen. Bei diesem als Photosynthese bezeichneten Prozeß wird auch Sauerstoff produziert, wobei wegen des gegenüber der Atmosphäre erhöhten Sauerstoff-Partialdrucks eine über die Sättigungs-Konzentration hinaus gehende Lösung stattfinden kann. Das Ausmaß dieser Sauerstoff-Produktion hängt von der Menge der im Wasser lebenden grünen Pflanzen sowie von der Intensität ihrer Lebenstätigkeit ab. Indirekt ist die photosynthetische Sauerstoff-Produktion damit von den diesen Organismen zur Verfügung stehenden anorganischen Nährstoffen und von der Größe der Strahlungsenergie abhängig.

c) Sauerstoff-Konsum bei Atmungsprozessen: Den assimilatorischen oder synthetischen Prozessen stehen die dissimilatorischen Prozesse gegenüber, bei welchen organische Stoffe unter Freiwerden von Energie abgebaut werden. Wenn diese Prozesse als Oxydation unter Verbrauch von Sauerstoff stattfinden, werden sie als Atmung bezeichnet. An den im Gewässer ablaufenden Atmungsprozessen sind neben den autotrophen Organismen namentlich auch die heterotrophen Organismen beteiligt, welche die organische Substanz nicht selbst produzieren, sondern der Umwelt entnehmen. Die im Gewässer enthaltenen organischen Stoffe können teils in ihm selbst durch die autotrophen Organismen produziert werden, d. h. autochthon sein. Teils werden sie aus der Umgebung, z. B. durch Abwässer, zugeführt, sind also allochthon. Der infolge Atmungsprozessen entstehende Sauerstoff-Konsum eines Gewässers hängt danach im Wesentlichen einerseits von der Menge der im Gewässer selbst produzierten und der zugeführten organischen Substanz und anderseits von der Intensität der Atmungsprozesse ab.

Die in einem Gewässer ablaufenden und als Stoffwechsel zusammenzufassenden assimilatorischen und dissimilatorischen Prozesse üben somit einen erheblichen Einfluß auf den Sauerstoff-Haushalt aus. Die Sauerstoff-Konzentration und ihre Veränderungen erweisen sich deshalb als wichtigste Indikatoren für Richtung und Intensität der Stoffwechselvorgänge. Dabei können in fließenden Gewässern folgende Typen des Stoffhaushalts unterschieden werden: [7]

A. Autotrophe Gewässer: Im Sauerstoffhaushalt überwiegt der Einfluß der im Gewässer selbst stattfindenden Produktion organischer Substanz den Einfluß der allochthonen organischen Stoffzufuhr.

1. Oligotropher (nährstoffarmer) Fließgewässertyp: Sowohl die Sauerstoff-Konsumation der Organismen als auch die assimilatorische Sauerstoff-Produktion der autotrophen Pflanzen sind gering. Eine tägliche Periodizität des Sauerstoffs kann durch die bei verschiedenen Temperaturen unterschiedliche Löslichkeit des Sauerstoffs verursacht werden, wobei nachts Maxima und tagsüber Minima der Sauerstoff-Konzentration auftreten.

2. Eutropher (nährstoffreicher) Fließgewässertyp: Die Assimilationstätigkeit der autotrophen Pflanzen kompensiert mindestens zeitweise die bei gleichzeitigen Atmungsvorgängen erfolgende Sauerstoff-Konsumation und kann sogar zu Sauerstoff-Übersättigungen führen. Das Maximum der Sauerstoff-Konzentration tritt während des hellen Tages, das Minimum während der Nacht auf. (Im Bereich des Übergangs vom oligotrophen zum eutrophen Gewäßertyp kann u. U. ein mesotropher Typ ausgeschieden werden.)

B. Allotrophe Gewässer: Im Sauerstoffhaushalt überwiegt der Einfluß der allochthonen organischen Stoffzufuhr den Einfluß der im Gewässer selbst stattfindenden Produktion organischer Substanz.

3. Autotroph-allotropher Übergangstyp der Fließgewässer: Die Sauerstoff-Konzentration liegt dauernd unter dem Sättigungswert. Die tägliche Sauerstoff-Periodizität wird indessen noch durch photosynthetische Prozesse beeinflußt.

4. Allotropher Fließgewässertyp: Bei einer dauernd unter dem Sättigungswert liegenden Sauerstoff-Konzentration ist ein Einfluß photosynthetischer Prozesse auf die tägliche Sauerstoff-Periodizität nicht zu erkennen.

Tägliche Sauerstoff-Periodizitäten, welche nach dieser Typologie dem oligotrophen Fließgewässertyp zuzuordnen wären, wurden weder bei der Aare-Untersuchung vom 30. September/1. Oktober 1952 noch bei der Rheinuntersuchung vom 13./14. März 1956 beobachtet.

Für den *eutrophen Fließgewässertyp* sind namentlich diejenigen Strecken bezeichnend, auf welchen tagsüber deutliche Sauerstoff-Übersättigungen, nachts dagegen Sauerstoff-Defizite auftreten. Sauerstoff-Periodizitäten dieser Art wurden am 30. September/1. Oktober 1952 in der Aare[8] vom Abfluß des Bielersees bis Hohberg und dann — von einer durch die Abwässer der Region Solothurn beeinflußten Strecke unterbrochen — wieder bei Ruppoldingen festgestellt. Am Rhein entsprach im März 1956 die Strecke vom Abfluß des Untersees bis Schaffhausen diesem charakteristischen Fall des eutrophen Fließgewässertyps. Einen Sonderfall stellt die Strecke zwischen dem Rheinfall und Rheinau dar, wo der bei der Kohlensäure-Assimilation

[7] H. Schmaßmann, Die Stoffhaushalts-Typen der Fließgewässer. — Arch. f. Hydrobiol. / Suppl. 22 (1955).

[8] Bei den Vergleichen mit der Aare-Untersuchung sind die nach dem neuen Verfahren ermittelten Sättigungs-Konzentrationen berücksichtigt.

frei gewordene Sauerstoff infolge abiogener Sauerstoff-Übersättigungen nicht in Erscheinung trat. Auf dem Stromabschnitt Rheinau–Rüdlingen war dann der Einfluß der photosynthetischen Sauerstoff-Produktion und der Atmungsprozesse wieder deutlich in der täglichen Sauerstoff-Periodizität zu erkennen, wobei es jedoch wegen der anhaltenden abiogenen Sauerstoff-Übersättigung nachts zu keinen Sauerstoff-Defiziten kam. Ein entsprechender Sauerstoff-Haushalt wurde sodann auch unterhalb der Staustufen Eglisau und Reckingen auf der durch die Stelle Koblenz erfaßten ungestauten Stromstrecke festgestellt.

Auf den Staustufen Eglisau und Reckingen sowie auf dem vorwiegend von Staustufen eingenommenen Stromabschnitt zwischen der Aaremündung und Augst trat die für eutrophe Fließgewässer bezeichnende tägliche Sauerstoff-Periodizität im März 1956 nicht oder nur schwach in Erscheinung. Der auf diesen Strecken selbst stattfindende Sauerstoff-Umsatz war teilweise durch die Einflüsse der oberliegenden Stromstrecken überlagert. Die großen Wassertiefen und unterhalb der Aaremündung eventuell auch die von der Aare stammenden Schmutzstoff-Trübungen dürften die Haupthindernisse für eine intensive Assimilationstätigkeit gebildet haben. Da jedoch keine oder höchstens zeitweise geringe Sauerstoff-Defizite auftraten, können diese Stromabschnitte im März 1956 ebenfalls noch zum eutrophen Fließgewässertyp gezählt werden. Bei einer gegenüber dem März 1956 vergrößerten Strahlungsintensität kann es auf ihnen ebenfalls zu einer für den eutrophen Fließgewässertyp bezeichnenden täglichen Sauerstoff-Periodizität kommen. So waren bei Augst-Wyhlen am 1./2. Juni 1954 bei einer auch nachts andauernden Übersättigung deutliche Tagesmaxima der Sauerstoff-Konzentration vorhanden, während in der täglichen Sauerstoff-Periodizität des 22./23. September 1953 tagsüber schwache Übersättigungen und nachts geringe Defizite auftraten. Im Gegensatz dazu war bei einer gegenüber dem März 1956 noch verminderten Strahlungsintensität am 19./20. Februar 1954 ein dauerndes Sauerstoff-Defizit von durchschnittlich 93% vorhanden gewesen, wobei sich im täglichen Gang der Sauerstoff-Konzentration keine auf der oberliegenden Strecke stattgefundene assimilatorische Sauerstoff-Produktion zu erkennen gab. Ein ähnlicher Zustand war u. a. auch am 29./30. Januar 1957 angetroffen worden. Dies läßt darauf schließen, daß Stromstrecken, welche auf Grund der Untersuchungen vom März 1956 noch als eutroph anzusprechen sind, während der Wintermonate zeitweise den Charakter des allotrophen Fließgewässertyps annehmen können.

Eine sehr ausgeprägte photosynthetische Sauerstoff-Produktion zeigte sich im März 1956 im unteren Teil der Staustufe Birsfelden. Ebenso zeichneten sich die während der Nacht überwiegenden Atmungsvorgänge im täglichen Gang der Sauerstoff-Konzentration deutlich ab. Die im März 1956 eine bedeutende biologische Aktivität aufweisende Strecke repräsentierte somit einen charakteristischen Fall des eutrophen Fließgewässertyps. Auch die durch die Stelle Marlen erfaßte Oberrheinstrecke mit dem tagsüber meist leicht übersättigten und nach Mitternacht meist ein geringes Defizit aufweisenden Wasser kann zu diesem Typ gezählt werden.

Dagegen zeigte die vom Kembser Stau und vom Grand Canal eingenommene Stromstrecke oberhalb Neuenburg im März 1956 *Anklänge an den allotroph-autotrophen Übergangstyp* der Fließgewässer, indem assimilatorische Prozesse kaum in Erscheinung traten und vorwiegend unter dem Sättigungswert liegende Sauerstoff-Konzentrationen vorhanden waren. Der Einfluß der kulturbedingten Zufuhr allochthonen Materials hatte sich hier stärker ausgewirkt als im Hochrhein oberhalb Basel. Unterhalb Marlen, wo die tägliche Sauerstoff-Periodizität dem eutrophen Fließgewässertyp entsprach, hatte sich der Rhein dann bei Illingen erneut gegen die Grenze vom eutrophen Gewässertyp zum allotroph-eutrophen Übergangstyp verschoben. Obwohl sich hier eine assimilatorische Sauerstoff-Produktion in der täglichen Sauerstoff-Periodizität zu erkennen gab, war die Sauerstoff-Konzentration zumeist unter dem Sättigungswert. Diese Defizite sind auf die mit der größeren Schmutzstoffbelastung verstärkten Atmungsprozesse zurückzuführen. Ein ähnlicher Sauerstoffhaushalt war anläßlich der Aare-Untersuchung 1952 unterhalb der Abwassereinleitungen der Region Solothurn bei Hohfuhren festgestellt worden.

Die für den *allotroph-autotrophen Übergangstyp* der Fließgewässer charakteristische tägliche Sauerstoff-Periodizität wurde bei den Untersuchungen vom März 1956 nur in der Aare bei Koblenz festgestellt. Einzig bei dieser Stelle war der Einfluß der allochthonen, abwasserbedingten Zufuhr organischer Stoffe dauernd stärker als der Einfluß der autochthonen photosynthetischen Produktion, so daß während der ganzen 24stündigen Periode ein Sauerstoff-Defizit vorhanden war. Die photosynthetische Sauerstoff-Produktion trat zwar im täglichen Gang der Sauerstoff-Konzentration in Erscheinung, ohne aber das Sauerstoff-Defizit überwinden zu können. Auch am 30. September/1. Oktober 1952 hatte der tägliche Gang der Sauerstoff-Konzentration in der Aare bei Koblenz auf die Mitwirkung assimilatorischer Vorgänge hingewiesen. Dabei war der Zustand in bezug auf den Sauerstoffhaushalt etwas günstiger als im März 1956 gewesen, indem kurzfristig eine schwache Sauerstoff-Übersättigung auftrat. Dagegen war an der unterhalb der Limmatmündung für den vereinigten Aare- und Limmatabfluß repräsentativen Stelle Stilli-rechts bei einem auch hier erkennbaren Einfluß assimilatorischer Prozesse dauernd ein Sauerstoff-Defizit vorhanden gewesen, wie dies für den alltroph-autotrophen Übergangstyp der Fließgewässer bezeichnend ist. Mit einer stärker ausgeprägten täglichen Periodizität der Sauerstoff-Konzentration als bei Stilli-rechts war auch schon bei der für die Aare ohne Reuß und Limmat repräsentativen Stelle Lauffohr-links mit Ausnahme einer Probe dauernd ein Sauerstoff-Defizit festgestellt worden. Auf dem weiter oben gelegenen, durch eine Reihe von Staustufen gekennzeichneten Flußabschnitt war bei Aarau und bei Ruppoldingen sogar ein dauerndes Sauerstoff-Defizit vorhanden, ohne daß eine assimilationsbedingte tägliche Sauerstoff-Periodizität zu erkennen gewesen wäre. Der Sauerstoff-Haushalt entsprach somit hier demjenigen des *allotrophen Fließgewässertyps.*

Abschließend ergibt sich, daß der *Rhein* bei dem am 13./14. März 1956 festgestellten Zustand vom Un-

tersee bis Illingen dem eutrophen Fließgewässertyp zugezählt werden kann. Einzig unterhalb Basel und bei Illingen zeigten sich Anklänge an den allotroph-autotrophen Übergangstyp. Im Gegensatz dazu war die *Aare* am 30. September/1. Oktober 1952 von oberhalb Aarau bis zur Mündung gesamthaft gesehen dem allotroph-autotrophen Übergangstyp, zum Teil sogar dem allotrophen Fließgewässertyp zuzuzählen. Aus den 1952 und 1956 bei der Stelle Koblenz-Aare erhaltenen Ergebnissen wie auch aus den Resultaten früherer, bei analogen thermischen und hydrologischen Verhältnissen wie am 30. September/1. Oktober 1952 durchgeführten Rheinwasseruntersuchungen geht hervor, daß die beiden Untersuchungstage, was den Charakter des Sauerstoff-Haushalts betrifft, miteinander vergleichbar sind. Der Vergleich der im Hochrhein mit den in der Aare festgestellten Stoffhaushalts-Typen zeigt, daß — abgesehen von der am Rheinfall erfolgenden abiogenen Sauerstoff-Anreicherung — im Hochrhein die photosynthetische Produktion, im Unterlauf der Aare dagegen die abwasserbedingte allochthone Zufuhr organischer Stoffe den dominierenden Einfluß auf den Sauerstoff-Haushalt ausübt.

Hinsichtlich der Geschwindigkeit der Selbstreinigungsprozesse können, wie weiter oben dargelegt, im Hochrhein und in der Aare keine merklichen Unterschiede zwischen gestauten und ungestauten Stromstrecken erkannt werden. Was dagegen den Ersatz des bei den Abbauprozessen verbrauchten Sauerstoffs durch die photosynthetische Sauerstoff-Produktion betrifft, so geht sowohl aus den Ergebnissen der Aare-Untersuchung als auch aus denjenigen der Rhein-Untersuchung hervor, daß die ungestauten Stromstrecken günstiger als die Staustufen zu bewerten sind.

6. Abschließende Betrachtungen

Wie ein Märchen aus uralter Zeit berührt uns heute eine Notiz des «Rheinischen Antiquarius» aus dem 18. Jahrhundert. Dieses zum «Nutzen der Reisenden und anderer Liebhaber sehenswerter Sachen» herausgegebene Werk berichtet nämlich: «Es führet dieser Rheinstrom von Natur ein klares, helles und der Farbe nach weißgraulichtes Wasser, welches nicht nur zum Trinken und Baden, sondern auch zum Waschen und Kochen nicht undienlich ist. Es ist gar füglich zu vermuten, daß der Name des Stromes von der Klarheit und Reinigkeit seines Wasser rührt.» [9]

Welche Eindrücke der Anblick des Stromes heute in uns erweckt, wissen wir alle, auch wenn sich die Reiseführer der Gegenwart höflich darüber ausschweigen. Die zunehmende Verschmutzung ist auch durch zahlreiche Untersuchungen nachgewiesen. Was jedoch bis vor kurzem an den uns vor allem interessierenden Hochrhein fehlte, war eine Übersicht über die stromabwärts stattfindenden Veränderungen. Das Problem einer nach einheitlichen und vergleichbaren Gesichtspunkten und Methoden durchzuführenden Untersuchung stellt sich auch bei anderen Gewässern, die mehrere Kantone oder sogar Staaten durchfließen — wenn man brauchbare Unterlagen für die Sanierung erhalten soll. Aus diesem Grunde hatte die Fachkommission für regionale Abwasserfragen der Regionalplanungsgruppe Nordwestschweiz eine Untersuchung der Aare vom Bielersee bis zur Mündung koordiniert. Im selben Sinne erfolgte dann auf Anregung und unter der Oberleitung der Fachkommission die Untersuchung des Rheinstromes vom Bodensee bis oberhalb Karlsruhe.

Die koordinierten Untersuchungen der Aare und des Rheins haben gezeigt, daß in beiden Gewässern vor allem die Belastung mit organischen Schmutzstoffen ein zulässiges Maß überschritten hat. Die derzeitige Schmutzstoffbelastung ist trotz der Selbstreinigungsvorgänge im allgemeinen so hoch, daß sie sich namentlich auf die mit infiltriertem Rheinwasser gespiesenen Grundwasservorkommen ungünstig auswirkt. Im Gegensatz zum offenen Strom kann im Grundwasser kein Ersatz des bei den Abbauprozessen verbrauchten Sauerstoffs stattfinden. Unterhalb der Aaremündung z. B. ist die Belastung mit organischen Schmutzstoffen 3- bis 4mal höher, als im Hinblick auf den Schutz des Grundwassers zulässig wäre. Die zahlreichen Grundwasserschäden im unteren Aaretal und im Hochrheintal [10] sind deshalb nicht erstaunlich. Direkte Flußwassernutzungen, Fischerei und Badesport leiden ebenfalls unter den gegenwärtigen Zuständen. Den Mißständen und Gefahren kann nur durch die Reinigung der häuslichen und industriellen Abwasser entgegengewirkt werden.

Wie sehr die Ehrfurcht vor dem Strome zum Schaden aller im Laufe der Jahrhunderte nachgelassen hat, läßt uns die Kölner Sage vom Heiligen Kunibert eindrücklich bewußt werden. Als Bischof Kunibert — so berichtet die Sage — einmal einen Besessenen geheilt hatte, verlangte der ausgetriebene böse Geist, in den Rhein zu fahren. Bischof Kunibert aber rief: «Was du unsauberer und schmutziger Gast, du willst ein solch heiliges Wasser besudeln, das der Weltschöpfer gesegnet hat von seinem Urquell bis dahin, wo es der Ozean aufnimmt?! So viele Wunder durchleuchten es ja, so viele Heilige haben es verehrungswürdig gemacht, und so viele Naturkräfte adelten es je und je! Und nun möchtest du in die reinen Wasser fahren?! Zeug aus in den Abgrund des Meeres, unter die Ungeheuer der Nacht!» [11] Von solcher Art war Bischof Kunibert. Er ahnte noch nichts von unserem Zeitalter, das viele Jahrhunderte später seinem geliebten Strom so übel mitspielen sollte. Mögen sich bald genügend Jünger St. Kuniberts finden, um die heute das Wasser besudelnden und recht realen unsauberen und schmutzigen Gäste überall daran zu hindern, in den Rhein zu fahren! Dann wird der Strom auf seinem ganzen Lauf wieder ein Quell der Freude und Erholung sein können. Dann werden wir auch nicht mehr darum bangen müssen, ob uns und unseren Nachkommen ausreichende Mengen reinen Trinkwassers und geeigneten Industrie-Brauchwassers zur Verfügung stehen werden.

[9] Nach A. Kaeß, G.I. 72, S. 301 (1951).

[10] Vgl. H. Schmaßmann, Ursachen, Folgen und Bekämpfung der Gewässerverunreinigung. — Schweizer Naturschutz 23, Nr. 2 (1957).

[11] Nach Goswin P. Gath, Kölner Sagen, abgedruckt in der Sondernummer «Der Rhein» der «Tat» vom 23./24. September 1944.