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

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 49 (1957)

Heft: 10

Artikel: Die Verunreinigung des Rheins vom Bodensee bis Karlsruhe [Fortsetzung]

Autor: Schmassmann, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-920844

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: 10.07.2025

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

Die Verunreinigung des Rheins vom Bodensee bis Karlsruhe

(Fortsetzung zu dem im Maiheft der WEW S. 115/126 erschienenen Bericht)

C. Die Beschaffenheit des Rheinwassers und deren Veränderungen auf den einzelnen Stromstrecken

1. Hydrographische Charakterisierung der Probefassungsstellen

(1) Konstanz. Am Ende der Konstanzer Bucht geht der *Bodensee-Obersee* in den *Seerhein* über[32]. Die in Konstanz von einem Boot aus beim nördlichen Pfeiler der Brücke gefaßten Proben können als repräsentativ für den Abfluß des Obersees angesehen werden.

(2) Gottlieben. Der Seerhein mündet nach 4 km langem Lauf in den Untersee ein[32]. Durch die in Gottlieben von einem Boot aus 10 m vom linken Ufer erhobenen Proben wurde der Zufluß des Untersees erfaßt. Immerhin bleibt die Möglichkeit offen, daß durch Rückstau des Untersees oder durch ufernahe Abwassereinflüsse Abweichungen gegenüber dem Mittel des Gesamtabflusses vorhanden waren. Am 14. März 1956 war z. B. um 4 Uhr eine Stagnation der Strömung und bis 5 Uhr eine Aufwärtsbewegung eingetreten, die bis 8 Uhr bestehen blieb, nach welcher Zeit wieder die Abwärtsbewegung erfolgte. Zwischen Konstanz und Gottlieben gelangen die Abwasser der Region Konstanz — soweit nicht direkt in den Obersee eingeleitet — in den Rhein.

(3) Stein a. Rh. Das Rheinwasser durchfließt dann den die direkte Fortsetzung des Seerheins bildenden Rheinsee (Untersee im engeren Sinne), während die nördlichen Seearme nicht oder nur wenig von ihm berührt werden[32]. Im Gegensatz zu dem noch oligotrophen Obersee weist der flachere Untersee einen eutrophen Charakter auf. Seine Eutrophierung ist im Laufe der letzten 30 Jahre stark fortgeschritten und macht sich besonders in den strömungsarmen nördlichen Seearmen, aber auch bereits in dem vom Rhein durchflossenen Seeabschnitt durch Faulschlammbildung bemerkbar[33]. Bei Stein a. Rh. verläßt das Wasser als Hochrhein endgültig den Bodensee. Die hier von einem Boot aus etwa 30 m vom linken Widerlager der Brücke entfernt erhobenen Proben sind für den Abfluß des Untersees repräsentativ.

(4) Dießenhofen. Der Hochrhein gelangt in ruhigem Lauf bis Schaffhausen, wo er durch den sogenannten Moserdamm noch etwas gestaut wird. Bei Dießenhofen erfolgte die Probefassung von der Mitte der Brücke aus. An dieser Stelle kann eine gute Durchmischung im gesamten Stromquerprofil angenommen werden.

(5) Schaffhausen. Die am oberen Ende der Badanstalt, in etwa ⅓ Strombreite vom rechten Ufer erhobenen Proben können ebenfalls als repräsentativ für den Gesamtabfluß gelten.

(6) Flurlingen. Unterhalb des Moserdammes nimmt der bisher ruhig dahinfließende Strom über dem von Kalkfelsen gebildeten und dicht mit Moosen bewachsenen Grund einen turbulenten Lauf an. Dann wird die Strömung bis Flurlingen wieder mäßiger, ist aber auch hier erheblich stärker als oberhalb Schaffhausen. Die Probefassung erfolgte in Flurlingen von der Mitte der Brücke aus. Da sich die bei Schaffhausen eingeleiteten Abwasser in der starken Strömung jedenfalls rasch mit dem Gesamtabfluß mischen, dürfte die Probefassungsstelle ungefähr mittleren Verhältnissen entsprechen.

(7) Dachsen. Unterhalb Flurlingen ist der Rhein erneut in die Kalkfelsen eingeschnitten, wird immer schneller und turbulenter, um schließlich als Rheinfall über die 20 m hohe Wand hinunterzustürzen. Die Vegetation des Strombettes erreicht im Gebiet des anstehenden Kalkes zwischen Schaffhausen und dem Rheinfall «eine derartige Entwicklung, daß es wohl nicht leicht fallen würde, auch nur einen Quadratdezimeter vegetationsfreien Stromgrundes aufzufinden»[34]. Unterhalb des Rheinfalls wird das Strombett von einem großen Becken gebildet, das unmittelbar am Fuß der Felswand mit 13 m seine größte Tiefe erreicht. Nach Mitteilung von Dr. P. Haberbosch, der 1921/22 die Gestalt des Rheinfallbeckens erforscht hatte, zeigt dieses, «was die Strömungsverhältnisse betrifft, ganz eigenartige, vielleicht einmalige Verhältnisse». Das abfließende Wasser des linksseitigen Zürcherfalls bildet nämlich gegenüber dem Wasser des rechtsseitigen Schaffhauserfalls einen Stau. Dadurch entsteht im rechten Teil des Beckens eine Kreisströmung, die in ihm sogar «eine ziemlich hohe ovale Sandbank erzeugt. Hölzer, bisweilen auch Tierleichen, kreisen tagelang um die mittleren ruhig stehenden Wasserpartien». Nach Durchfließen des Rheinfallbeckens nimmt der Strom in seiner ganzen Breite wieder einen verhältnismäßig ruhigen Lauf an. Bei der etwa 800 m unterhalb des Rheinfallbeckens gelegenen Stelle Dachsen wurden die Proben 15 m vom linken Ufer entfernt von einem Bausteg (für neuen Steg Dachsen–Nohl) aus erhoben.

(8) Rheinau. Von Dachsen bis etwa Rüdlingen hatte der Rhein im März 1956 noch seinen natürlichen Lauf, während er heute auf dem oberen Teil dieser Strecke durch den Stau des Kraftwerks Rheinau verändert ist. Bei Rheinau erfolgte die Probefassung in der Strommitte von der Brücke des im Bau befindlichen Wehres aus. Nach der langen Strecke ohne wesentliche Abwassereinleitungen darf die Stelle als repräsentativ für den Gesamtabfluß angesehen werden.

(9) Ellikon. Die von der Fähre aus, etwa ⅓ bis ½ Strombreite vom linken Ufer entfernt, erhobenen Proben können ebenfalls als für den Gesamtabfluß repräsentativ gelten.

(10) Rüdlingen. Die Proben wurden von der Brücke aus, etwa ⅓ Strombreite vom rechten Ufer entfernt, erhoben. Nach Dr. E. Thomas ist das Wasser der linksseitig in den Rhein einmündenden Thur an dieser Stelle noch nicht beigemischt, so daß die Proben eher für einen etwa 0,8 km stromaufwärts gelegenen Stromquerschnitt als repräsentativ gelten können.

[32] F. Kiefer, Naturkunde des Bodensees (1955).
H. Fast, Systematische Untersuchungen über den chemischen und bakteriologischen Zustand des Bodensees, Jahrbuch vom Wasser 22 (1955).

[33] O. Jaag, Gewässerschutzprobleme des Rheins unter Berücksichtigung der Trink- und Brauchwasserversorgung von den Quellen bis zur Mündung. — Wasser- und Energiewirtschaft (1954).

[34] O. Jaag, Die Kryptogamenflora des Rheinfalls und des Hochrheins von Stein bis Eglisau. — Mitt. Natf. Ges. Schaffhausen 14 (1938).
O. Jaag, Die Kryptogamenflora des Rheinfalls. — Schweizer Naturschutz 7 (1941).

(11) Eglisau-Oberwasser. Von Rüdlingen an macht sich der Einfluß der Staustufe Eglisau geltend, auf welcher die Fließgeschwindigkeit allmählich geringer wird. Im Gebiet der Staustufe Eglisau mündet die Töß in den Rhein. Proben wurden im Oberwasser des Kraftwerks Eglisau, etwa 30 m vom linken Ufer entfernt, erhoben.

(12) Eglisau-Unterwasser. An die Staustufe Eglisau schließt stromabwärts die Staustufe Reckingen an, wobei sich die Strömung gegen das Wehr zu ebenfalls verringert. Im Unterwasser des Kraftwerks Eglisau wird der Zufluß der Glatt dem Rhein beigemischt. Die Probefassung «Eglisau-Unterwasser» erfolgte etwa 1 Kilometer unterhalb des Kraftwerks von einem Boot aus im linken Stromteil. Da die Glatt und ihr Kanal von links her einmünden, hoffte man, bei dieser Probenahme eine gute Durchmischung von Glatt- und Rheinwasser erfaßt zu haben. Die zwischen Eglisau-Oberwasser und Eglisau-Unterwasser festgestellte deutliche Zunahme der Chlorid-Konzentration und der Alkalität sowie die dann bis Kaiserstuhl erfolgte Abnahme dieser Werte weisen indessen darauf hin, daß das Glatt-Wasser an der Probefassungsstelle im Vergleich zum Gesamtabfluß eher in überdurchschnittlichem Maße beigemischt war. Bemerkenswerterweise ergaben sich dann zwischen Eglisau-Unterwasser und der nur 2,3 km stromabwärts gelegenen Stelle Kaiserstuhl statistisch gesicherte Zunahmen des Permanganatverbrauchs und des BSB_5, obwohl auf dieser Strecke keine nennenswerte zusätzliche Belastung mit Abwässern stattfindet. Da die Proben Eglisau-Unterwasser und Kaiserstuhl von zwei verschiedenen Laboratorien untersucht wurden, besteht einerseits die Möglichkeit, daß geringfügige methodische Differenzen die Unterschiede zwischen den beiden Stellen beeinflußten. Andererseits ist auch mit der Möglichkeit zu rechnen, daß aus tieferen Schichten des Stauraumes Eglisau abfließende Wassermassen, die durch Bodenschlamm sekundär verunreinigt waren und die aus hydraulischen Gründen erst in Kaiserstuhl erfaßt wurden, dort eine Verschlechterung der Wasserqualität verursachten.

(13) Kaiserstuhl. Die Proben wurden von der Mitte der Brücke aus erfaßt. Man darf annehmen, daß an dieser Probefassungsstelle der Gesamtabfluß des Rheins repräsentativ erfaßt wurde.

(14) Koblenz-Rhein. Unterhalb des Kraftwerks Rekkingen besitzt der Rhein wieder einen natürlichen Lauf, auf welchem stark turbulente Strömungen namentlich im Gebiet der Stromschnellen des «Koblenzer Laufens» vorhanden sind. Der Abfluß des Rheins wird durch die unterhalb des Koblenzer Laufens zufließende Wutach vermehrt. Nach Voruntersuchungen des aargauischen Laboratoriums bestehen im Querprofil bei Koblenz keine erheblichen Differenzen. Deshalb wurde auf die Fassung an zwei Stellen im Querprofil verzichtet, und es wurden nur Proben von der Mitte der Straßenbrücke aus erhoben. Gemäß den Ergebnissen der Voruntersuchung kann diese Stelle als repräsentativ für den Abfluß des Rheins vor seiner Durchmischung mit der Aare angesehen werden.

(15) Koblenz-Aare. Bei ihrem Zusammentreffen besitzt die Aare allgemein einen größeren Abfluß als der Rhein. Die Beschaffenheit des Rheinwassers unterhalb der Aaremündung wird deshalb stärker durch das Aarewasser als durch das von oberhalb der Aaremündung zufließende Rheinwasser beeinflußt. Der Stoffhaushalt der Aare war bereits am 30. September und 1. Oktober 1952 einer eingehenden Untersuchung unterzogen worden. Der mittlere Abfluß betrug damals vor der Mündung in den Rhein 435 m^3/s, während er am 13./14. März 1956 mit 366 m^3/s noch niedriger war. Für die Prüfung der Beschaffenheit des dem Rhein zufließenden Aare-Wassers wurde die unterste Probefassungsstelle der Aare-Untersuchung von 1952 gewählt. Die dabei von der Eisenbahnbrücke Koblenz-Felsenau, 10 m links des zweiten Pfeilers vom rechten Ufer, erhobenen Proben können als repräsentativ für den Abfluß der Aare gelten. Die mittleren Konzentrationen des gemischten Aare- und Rheinwassers ergeben sich als geometrisches Mittel der Summen der Produkte von Abfluß und Konzentration bei den Stellen 14 und 15.

(16) Laufenburg. Die oberste, 6 km lange Teilstrecke des mit der Aare vereinigten Rheins wird vom Stau des Kraftwerks Albbruck-Dogern eingenommen. In diesen mündet unterhalb Waldshut der Abfluß des von einem im Schwarzwald gelegenen Speicher gespiesenen Schluchseewerks, bei welchem zeitweise auch Wasser aus dem Rhein entnommen und in den Speicher gepumpt wird. Beim Wehr des Kraftwerks Albbruck-Dogern wird bei niederer Wasserführung praktisch der gesamte Abfluß des Rheins über einen Seitenkanal abgeleitet und erst etwa 4 km stromabwärts in das ursprüngliche Strombett zurückgegeben. Anschließend gelangt der Strom in den Bereich der Staustufe Laufenburg. Die Proben wurden bei Laufenburg von der Brücke aus in einer Entfernung von etwa 40 m vom linken Ufer gefaßt. Nach der langen Strecke ohne nennenswerte Zuflüsse und Belastungen kann eine gute Durchmischung im Stromquerprofil angenommen und damit die Stelle als repräsentativ angesehen werden.

(17) Ryburg. Unterhalb des Kraftwerks Laufenburg fließt der Rhein in noch ungestautem Zustand und deshalb mit rascherem Lauf bis Säckingen, wo die Staustufe Ryburg-Schwörstadt beginnt. Proben wurden am oberen Ende des Trennpfeilers von Wehr und Maschinenhaus des Kraftwerks Ryburg-Schwörstadt erhoben. Die Stelle kann als repräsentativ für den Gesamtabfluß des Rheins am Ende der Staustufe Ryburg-Schwörstadt gelten.

(18/19) Wyhlen und Augst. An die Staustufe Ryburg-Schwörstadt schließen sich ohne längere Unterbrüche die Staustufen Rheinfelden, Augst-Wyhlen und Birsfelden an. Am Ende der Staustufe Augst-Wyhlen wurden Proben bei den Einläufen der Erregerturbinen 2 (Mitte Turbinenhaus) des Kraftwerks Wyhlen und des Kraftwerks Augst gefaßt. Bei früheren Untersuchungen, wie dann auch am 29./30. Januar 1957, war festgestellt worden, daß die rechte Stromhälfte bei Augst-Wyhlen etwas stärker verunreinigt war als die linke Stromhälfte. Dies ließ darauf schließen, daß sich die Einflüsse der industriellen Abwasser von Badisch-Rheinfelden rechtsseitig noch in verstärktem Maße geltend machen. Durch die Untersuchungen vom 13./14. März 1956 wurde jedoch vielmehr die linke Seite als etwas stärker belastet festgestellt, was auf ein wechselndes Ausmaß der rechtsseitigen Einflüsse hinweist. Durch Färbungsversuche wurde nachgewiesen, daß die Ergolz an der über der Mitte des Turbinenhauses gelegenen Probefassungsstelle Augst

dem Rheinwasser noch nicht beigemischt ist, da das Ergolzwasser vollständig durch die obersten Turbinen geht. Der Einfluß der Ergolz ist somit durch die Probefassungsstelle Augst noch nicht erfaßt. Dieser Einfluß ist jedoch auf Grund früherer Untersuchungen nach dem langen Aufenthalt des Wassers in der rückgestauten Ergolz nicht wesentlich. Das Mittel der Probefassungsstellen Wyhlen und Augst kann demnach als repräsentativ für den Gesamtabfluß angesehen werden.

(20/21/22/23) Schweizerhalle und Auhafen. Die Proben wurden bei diesen im Gebiet der Staustufe Birsfelden gelegenen Stellen von einem Boot aus 60 m (Stellen 20 und 22) bzw. 20 m (Stellen 21 und 23) vom linken Ufer entfernt gefaßt. Die Stellen Schweizerhalle sind stark durch linksufrige Abwassereinleitungen (Pratteln) beeinflußt. Dagegen machen sich die im betreffenden Querprofil ebenfalls schon enthaltenen Abwasser der Sodafabrik Wyhlen an diesen in der linken Stromhälfte gelegenen Stellen nicht geltend. Bei den Stellen Auhafen ist das Wasser zusätzlich durch die Abwasser von Schweizerhalle belastet. Nach Mitteilung der Bearbeiter sind Schwimmstoffe offenbar an allen Stellen in überdurchschnittlichem Maße erfaßt worden. Keine der vier Stellen kann als repräsentativ für den Gesamtabfluß gelten. Die Untersuchungen weisen lediglich auf die in einem Teil des Abflußquerschnittes vorhandene starke Belastung hin.

(24/25) Birsfelden. Bei Stelle 24 wurden die Proben von einem Boot aus in der Nähe des rechten Ufers, etwa 300 m unterhalb des Wehres des Kraftwerks Birsfelden, über welches am 13./14. März 1956 kein Wasser floß, erhoben. Das Wasser war an dieser Stelle ziemlich ruhig und wurde jedenfalls nur langsam von der Hauptströmung erneuert. Bei der Stelle 25 wurden die Proben am Ende des Trennpfeilers (zwischen Rhein und unterem Schleusenvorhafen) im Unterwasser des Maschinenhauses erhoben, wo eine starke Strömung bestand. Aus Färbungsversuchen und aus in anderem Zusammenhang ausgeführten chemischen Untersuchungen geht hervor, daß sich die links- und die rechtsufrigen Abwasserfahnen bei geschlossenen Wehr-Schützen im untersten Teil der Staustufe Birsfelden je nach der Entfernung der Einleitungsstelle auf die ganze Strombreite oder auf mindestens etwa die Hälfte derselben verteilen. Dabei kommt es jedoch — wie die vorliegenden Untersuchungsergebnisse zeigen — anscheinend nicht zu einer völligen Durchmischung der einzelnen Abwasserfahnen mit dem Gesamtabfluß des Rheins. Das Mittel der Probefassungsstellen 24 und 25 kann deshalb nur mit Vorbehalt als repräsentativ für den Gesamtabfluß angesehen werden.

(26) Neudorf. Unterhalb des Kraftwerks Birsfelden wird der Rhein beim Durchfließen der Stadt Basel in zunehmendem Maße von der durch das Wehr bei Märkt (Kembser Wehr) erzeugten Stauung beeinflußt. Bis zu diesem Wehr nimmt er als Zubringer linksseitig die Birs und den Birsig, rechtsseitig die Wiese auf. Aus dem Kembser Stau wird der größte Teil des Abflusses durch den linksseitigen Rheinseitenkanal (Grand Canal d'Alsace) abgeleitet. Die Probefassungsstelle Neudorf liegt im Grand Canal d'Alsace auf der Höhe des Kembser Wehres. Wegen der Schiffahrt konnten die Proben nicht in der Mitte des Kanals erhoben werden. Die Fassung erfolgte von einem Boot aus, das 30 m vom rechten Ufer entfernt verankert war. Wie man am Tage der Untersuchungen aus dem Verlauf der gefärbten Abwasserfahnen erkennen konnte, hatte bei der Stelle 26 noch keine gute Durchmischung des Basler Abwassers mit dem Gesamtabfluß des Rheins stattgefunden. Diese Beobachtung wird dadurch bestätigt, daß zwischen den Probefassungsstellen Neudorf und Neuenburg eine erhebliche Zunahme der Chloride, des Ammonium-Stickstoffs und des BSB_5 zu verzeichnen war, obwohl zwischen diesen Stellen keine ins Gewicht fallende zusätzliche Belastung des Rheins stattfindet. Die Stelle 26 kann demnach nicht als repräsentativ für den Gesamtabfluß des Rheins bzw. des Grand Canal angesehen werden.

(27) Neuenburg. Der durch den Grand Canal erfolgende Abfluß wurde im März 1956 (vor Inbetriebnahme des Kraftwerks Fessenheim) durch die Kraftwerke Kembs und Ottmarsheim genutzt und rund 20,5 km stromabwärts in das regulierte, aber von hier an durch keine Stauwehre mehr unterbrochene Rheinbett zurückgegeben. In Neuenburg wurden die Proben von einem am Fähresteg, etwa 45 m vom rechten Ufer entfernt, befestigten Boot aus erhoben. Auf der langen Fließstrecke im Grand Canal und im Rhein ist eine gute Durchmischung der in der Region Basel zufließenden Abwasser mit dem Rhein anzunehmen. Die Probefassungsstelle 27 kann deshalb als repräsentativ für den Gesamtabfluß gelten.

(28) Marlen. Unterhalb Neuenburg werden zunächst die Abwasser der elsässischen Kaliwerke und dann diejenigen des badischen Kaliwerks in den Rhein geleitet. Bei Marlen wurden die Proben in der Mitte des Fahrwassers, etwa 80 m vom rechten Ufer entfernt, von einem Boot aus erhoben. Nach der langen Strecke ohne erhebliche Abwassereinleitungen darf angenommen werden, daß sich bei Marlen keine einseitigen Abwassereinflüsse geltend machen und die Stelle für den Gesamtabfluß repräsentativ ist.

(29) Illingen. Zwischen Neuenburg und Illingen wird der Abfluß des Stroms durch rechts- und linksseitige Zubringer vermehrt. In Illingen wurden die Proben wie in Marlen in der Mitte des Fahrwassers, etwa 80 m vom rechten Ufer entfernt, von einem Boot aus erhoben. Nach Mitteilung der Bearbeiter ist hier das Wasser der rechtsseitig einmündenden Murg noch nicht vollständig mit dem Gesamtabfluß des Rheins vermischt. Die Stelle ist deshalb für den Gesamtabfluß nur soweit repräsentativ, als Einflüsse der Murg keine erhebliche Rolle spielen können.

2. Thermik

a) Luft-Temperatur (Abb. 1 und 3)*

Konstanz und Gottlieben waren am 13./14. März 1956 vom ausgeglichenen Bodensee-Klima beeinflußt, so, daß die tägliche Amplitude der Lufttemperatur nur um 3° Grad lag, während bei Stein a. Rh. ähnlich wie weiter unten am Hochrhein größere Amplituden auftraten.

Auf der ganzen am 13./14. März 1956 untersuchten Rheinstrecke Konstanz–Illingen war die Teilstrecke von Rheinau bis Eglisau durch eine besonders kalte Witterung gekennzeichnet. So traten in der Gegend von Ellikon–Rüdlingen auch die absolut niedrigsten Minima der Lufttemperatur auf.

* Die in diesem Berichtsteil erwähnten Abbildungen 1 bis 11 sind abgedruckt im ersten Teil dieses Berichtes (Maiheft WEW S. 115/126).

Am Oberrhein war die Witterung des 13./14. März 1956 von der Basler Gegend an allgemein etwas milder als am Hochrhein. Die unterste Probefassungsstelle, Illingen, war durch die absolut höchsten Werte der Lufttemperatur ausgezeichnet.

b) Längsprofil der Wassertemperatur (Abb. 1)

Während im *Seerhein* zwischen Konstanz und Gottlieben nur eine geringe Abkühlung des durchschnittlich 2,8° warmen Bodenseewassers (Konstanz) stattfand, war die Temperatur des *Untersee-Abflusses* auf 1,6° (Stein a. Rh.) erniedrigt. Mit dieser durch die Messungen festgestellten Temperaturabnahme steht möglicherweise in Zusammenhang, daß etwa um 10.30 Uhr auf dem Untersee bei Eschenz eine lose, dünne Eisschicht beobachtet werden konnte.

Zur Interpretation der *zwischen dem Untersee und Aaremündung* aufgezeichneten Wassertemperaturen muß festgestellt werden, daß die im Längsprofil vorhandenen Schwankungen mindestens teilweise auf Meßfehler zurückzuführen sind. Die verwendeten Thermometer waren zwar mit einem geeichten Normal-Thermometer verglichen und die gemessenen Temperaturen entsprechend korrigiert worden. An einigen Stellen des Hochrheins oberhalb der Aaremündung wurde jedoch die Wassertemperatur nicht sofort im Rhein, sondern erst nachträglich im Schöpfkessel gemessen. Wenn man die möglichen Meßfehler in Betracht zieht, können im Längsprofil zwischen dem Untersee und der Aaremündung keine gesicherten Veränderungen der Tagesmittel der Wassertemperatur erkannt werden.

Das Wasser der *Aare* war durchschnittlich etwas wärmer als dasjenige des Rheins oberhalb der Aaremündung.

Unterhalb der Aaremündung, wo alle Messungen direkt im Rhein durchgeführt wurden, ergibt sich im Längsprofil ein viel gleichmäßigerer Verlauf des Tagesmittels der gemessenen Wassertemperaturen als oberhalb der Aaremündung. Bemerkenswerterweise nahm die mittlere Wassertemperatur zwischen der Aaremündung und Neudorf fast kontinuierlich um 1,4° zu, obwohl die Lufttemperatur tiefer als die Wassertemperatur war. Für die beobachtete Zunahme der mittleren täglichen Wassertemperaturen ist vor allem die zeitliche Verschiebung der Wassermassen in Erwägung zu ziehen. Entsprechend den durchgeführten Schätzungen der Fließzeiten wurde bei Neudorf die Temperatur von Wassermassen gemessen, die den Untersee bereits etwa zweieinhalb Tage und den Bielersee bereits etwa drei Tage vorher verlassen hatten. Nun war die Lufttemperatur im Laufe der drei der Untersuchung vorangegangenen Tage gesunken. So betrug die mittlere Lufttemperatur in Basel-St. Margrethen am 10. März 0,0°, am 11. März — 0,5°, am 12. März — 2,0° und am 13. März — 2,8°. Die Wassermassen, deren Temperaturen am 13./14. März 1956 gemessen wurden, hatten sich deshalb beim Durchfließen der oberliegenden Stromstrecken weniger stark abkühlen können, als dies am 13./14. März auf den gleichen oberliegenden Stromstrecken der Fall war. Dies erklärt auch, daß namentlich zwischen Laufenburg und Schweizerhalle am Morgen des 14. März 1956 um 0,6° bis 0,9° tiefere Wassertemperaturen gemessen wurden als zur gleichen Zeit des Vortages und daß auf dieser Strecke z. T. im Laufe der 24 Stunden ein mehr oder weniger kontinuierliches Fallen der Wassertemperatur auftrat.

c) Tagesgang der Wassertemperatur (Abb. 2)

Bei der Wassertemperatur zeigten sowohl der Abfluß des Bodensee-Obersees als auch der Abfluß des Bodensee-Untersees während der ganzen 24stündigen Periode ausgeglichene Verhältnisse, indem die Differenz zwischen minimaler und maximaler Temperatur bei *Konstanz* nur 0,3° und bei *Stein a. Rh.* sogar nur 0,1° betrug.

Soweit sichere Meßresultate vorliegen, können wir am *Hochrhein* allgemein auf den geringe Fließgeschwindigkeiten aufweisenden Stromstrecken einen ausgeglichenen Tagesgang der Wassertemperatur erkennen, während auf den turbulenten Strecken am 13./14. März 1956 eine deutliche tägliche Periodizität der Wassertemperatur vorhanden war. Da die Lufttemperaturen fast dauernd unter den Wassertemperaturen lagen, muß als Ursache dieser Periodizität vor allem die Abkühlung des Wassers in Betracht gezogen werden, welche tagsüber wegen der geringeren Differenzen zwischen Luft- und Wassertemperatur kleiner war als während der Nacht, und welche sich vor allem auf den turbulenten Stromstrecken verhältnismäßig stark auswirken konnte.

So weist die in der Staustufe Reckingen bei *Kaiserstuhl* relativ kleine tägliche Temperatur-Amplitude auf den mit der geringen Strömung verminderten Wärmeaustausch hin. Nach der ungestauten, turbulenten Stromstrecke unterhalb des Kraftwerks Reckingen trat dann bei *Koblenz* eine ausgeprägte tägliche Periodizität in Erscheinung. Infolge der tagsüber kleineren Abkühlung entstand auch am Ende der Staustufe *Laufenburg* ein kleines Maximum der Wassertemperatur, während ein solches am Ende der Staustufen *Ryburg* und *Augst-Wyhlen* sowie im Stau von Birsfelden *(Schweizerhalle)* nicht zu beobachten war. Im Laufenburger Stau besitzt der Rhein eine größere Fließgeschwindigkeit und damit eine größere Turbulenz als auf den drei letztgenannten Staustufen. Im stark turbulenten Lauf unterhalb des Kraftwerks Birsfelden *(Birsfelden-links)* war dann wieder eine deutlich ausgeprägte tägliche Periodizität vorhanden, die auf eine während der Nacht verstärkte Abkühlung hinweist. Im Gegensatz dazu zeigte die Stelle *Birsfelden-rechts*, wo das Wasser nur langsam von der linken Stromseite her erneuert wurde, einen ausgeglichenen, nur nach Mitternacht durch die allgemein fallende Tendenz gekennzeichneten Gang der Wassertemperatur. Die tagsüber und bis Mitternacht gegenüber Schweizerhalle und gegenüber dem Maximum von Birsfelden-links um 0,2 bis 0,4° höheren Temperaturen sind evtl. auf Strahlungseinflüsse im Bereich des verhältnismäßig flachen rechten Ufers zurückzuführen.

Nach der wenig turbulenten Strecke des Kembser Staus wurden bei *Neudorf* im Tagesgang ausgeglichene Wassertemperaturen gefunden, während nach dem größere Fließgeschwindigkeiten aufweisenden Grand Canal und der ungestauten Rheinstrecke unterhalb des Seitenkanals bei *Neuenburg* eine ausgeprägte tägliche Periodizität in Erscheinung trat. Ein solcher Temperatur-Rhythmus war auch noch bei *Marlen* vorhanden, wobei Einflüsse von stromaufwärts während des Tages weniger abgekühlten Wassermassen bis in die Nacht anhielten.

3. Chloride (Abb. 4 und 12)

Im *Seerhein* zwischen Konstanz und Gottlieben erfuhr die Chlorid-Konzentration eine gewisse Erhöhung, welche zur Hauptsache auf die Abwasser der Region Konstanz zurückzuführen sein dürfte.

Das im *Abfluß des Untersees* (Stein a. Rh.) festgestellte Tagesmittel der Chlorid-Konzentration lag mit 2,63 mg/l nur wenig unter dem von der Internationalen Kommission bei Eschenz festgestellten Jahresmittel von 2,9 mg/l. Der Chlorid-Anfall betrug nach den vorliegenden Untersuchungen bei Stein a. Rh. 53 t/Tag. In der Schweiz entsprach der mittlere tägliche Salzverbrauch 1950 pro Kopf der Bevölkerung etwa 37 g Chloride[35]. Nehmen wir an, daß in dem rund 1,2 Millionen Einwohner[36] umfassenden Einzugsgebiet des Bodensees ein ähnlicher mittlerer Verbrauch besteht, so ergibt sich ein mittlerer Verbrauch von etwa 45 t/Tag. Die größenordnungsmäßige Übereinstimmung der beiden Werte weist darauf hin, daß der Chlorid-Anfall im Abfluß des Untersees vorwiegend durch die Tätigkeit des Menschen (Ernährung, Gewerbe, Industrie, Landwirtschaft) verursacht ist, wie dies auch für das Einzugsgebiet der Aare nachgewiesen werden konnte.

Von Stein a. Rh. bis *Schaffhausen* ergaben sich am 13./14. März 1956 nur geringe, innerhalb der methodischen Fehlergrenzen liegende Schwankungen der Chlorid-Konzentration. Zwischen Schaffhausen und *Dachsen* erfolgte eine sehr geringe Zunahme der Chlorid-Konzentration, die auf die Abwassereinleitungen zurückzuführen sein dürfte. Eine Erhöhung der Chlorid-Konzentration um 0,5 mg/l fand sodann zwischen *Rheinau* und *Ellikon* statt. Dies legt die Vermutung nahe, daß ein Zufluß chloridreicher Grund- oder Quellwässer erfolgt, welche vielleicht bei der Stelle Ellikon noch überdurchschnittlich beigemischt waren.

Die von *Ellikon* bis *Eglisau-Oberwasser* festgestellte Zunahme der Chlorid-Konzentration und die entsprechende Erhöhung des Chlorid-Anfalls um 14 t/Tag können größenordnungsmäßig auf die Zuflüsse von Thur und Töß zurückgeführt werden. Nach den Untersuchungen von Waser und Lardy von 1935/36 hatte z. B. die Töß vor ihrer Mündung in den Rhein im Jahresmittel eine Chlorid-Konzentration von 8,6 mg/l, woraus sich unter Benützung des mittleren Abflusses für diesen Fluß allein ein Anfall von etwa 7 t/Tag schätzen läßt.

Die zwischen *Eglisau-Oberwasser und Kaiserstuhl* festgestellte geringe Zunahme der Chlorid-Konzentration und der entsprechende zusätzliche Chloridanfall von etwa 7 t/Tag decken sich größenordnungsmäßig mit dem aus der Glatt zu erwartenden Einfluß. Nach den Untersuchungen von Waser, Husmann und Blöchliger von 1933/34 hatte die Glatt vor ihrer Mündung in den Rhein im Jahresmittel eine Chlorid-Konzentration von 6,1 mg/l, woraus sich unter Benützung des mittleren Abflusses ein Anfall von etwa 5 t/Tag schätzen läßt. Seither wird dieser eher zugenommen haben.

Insgesamt betrug die Zunahme der Chlorid-Konzentration des Rheins von Konstanz bis Kaiserstuhl 1,72 mg/l. Eine erheblich stärkere Zunahme war mit 6,36 mg/l zwischen Kaiserstuhl und Koblenz zu verzeichnen. Sie war zweifellos zur Hauptsache auf die Abwasser der Sodafabrik Zurzach zurückzuführen. Der zusätzliche Anfall betrug 168 t/Tag.

Die *Aare* hatte mit 3,9 mg/l eine rund 2½mal kleinere Chlorid-Konzentration als der Rhein. Durch den Zufluß der Aare wurde deshalb die Chlorid-Konzentration des Rheins erniedrigt. Der in der Aare am 13./14. März 1956 enthaltene Chlorid-Anfall berechnet sich zu 128 t/Tag und liegt damit in der Größenordnung des anläßlich der Aareuntersuchung am 30. September/1. Oktober 1952 gefundenen Wertes von 101 t/Tag.

Zwischen dem berechneten *Aare-Rhein-Mittel* nach dem Zusammenfluß der beiden Gewässer und *Ryburg* erfuhr die durchschnittliche Chlorid-Konzentration keine wesentliche Änderung. Die Vergrößerung des Anfalls ist vor allem auf die größere Wassermenge zurückzuführen. Zwei bei Koblenz-Rhein auftretende schwache Chlorid-Maxima lassen sich verzögert und — vor allem wegen der Verdünnung mit Aarewasser — abgeschwächt auch bei Laufenburg und eines noch bei Ryburg erkennen:

Stelle	mg Cl'/l	Zeit	Zeit	Differenz (Mittel) in Std.	Hydraulische Schätzung d. Fließzeit in Std.
Koblenz-Rhein	11,3	10—12	15—16	5½	6
Laufenburg	7,3	16—17	20—22	9½	9
Ryburg	7,3	—	6— 7		
				15	15

Die hydraulisch geschätzten Fließzeiten werden somit durch diese Kontrolle in ihrer Größenordnung bestätigt.

Zwischen *Ryburg* und *Augst-Wyhlen* fand dann eine deutliche Erhöhung der Chlorid-Konzentration statt, welche zur Hauptsache auf die Zuleitung der Abwasser aus den Industrie- und Salinengebieten von Badisch- und Schweizer Rheinfelden zurückgeführt werden muß. Immerhin beträgt die zusätzliche Belastung nur etwa ¼ der bei Zurzach in den Rhein gelangenden Chlorid-Menge. Der bei Augst-Wyhlen aus den Resultaten vom 13./14. März 1956 zu berechnende Chlorid-Anfall von 459 t/Tag stimmt praktisch mit dem hier für den 22./23. September 1953[37] berechneten Wert von 454 t/Tag überein.

Aus dem täglichen Gang der bei *Schweizerhalle* und beim *Auhafen* gefundenen Chlorid-Konzentrationen geht der Einfluß von Abwässern, welche stoßweise Chloride zuführen, deutlich hervor. Doch sind dem Rheinwasser an diesen Stellen die Abwasser der Sodafabrik Wyhlen noch nicht beigemischt.

Ein Vergleich der Resultate von Augst-Wyhlen mit denjenigen von *Birsfelden* weist auf die bedeutende Zunahme der Chloride als Folge der Abwassereinleitungen aus den beidseitigen Industriegebieten hin. Bei vor dem Aufstau des Rheins an drei Stellen im Querprofil ausgeführten Untersuchungen (22./23. September 1953) war die Zunahme der Chlorid-Konzentration bei Birsfelden hauptsächlich in der rechten Stromhälfte ausgeprägt gewesen, was eindeutig auf den Einfluß der Abwässer

[35] Gemäß Statistisches Jahrbuch der Schweiz 1951: 105 864 t Salz auf 4,71 Mio Einwohner (Speisesalz, Viehsalz, Gewerbesalz). Nach F. Zehender, Richtlinien zur Beurteilung von im Rheinwasser festgestellten Chlorid-Werten (Manuskript im Protokoll der Fachkommission für regionale Abwasserfragen vom 24. August 1956), läßt sich für das vorwiegend häusliche Abwasser der Stadt Zürich die Chloridmenge pro Einwohner und Tag mit rund 20—30 g angeben.

[36] Der Bodensee, Denkschrift, herausgegeben vom Südwestdeutschen Wasserwirtschaftsverband (1953).

[37] 24stündige Untersuchungen Dr. H. Schmaßmann in Verbindung mit dem kant. Wasserwirtschaftsamt und im Auftrage der Baudirektion Baselland, bei $Q_{Rheinfelden} = 665$ m³/s.

rechtsufriger Industriegebiete hingewiesen hatte. Anläßlich der Untersuchung des etwa 1,8 km oberhalb des Birsfelder Wehres gelegenen Querprofils wurden am 30. Januar 1957 die durchschnittlich höchsten Chlorid-Konzentrationen in der Strommitte festgestellt. Bei der Probefassungsstelle Birsfelden-links (Unterwasser) fanden sich an diesem Tage ähnliche Chloridwerte wie im genannten Querprofil 20 m vom linken Ufer entfernt. Da bei den neuen hydraulischen Verhältnissen im untersten Teil der Staustufe Birsfelden bei geschlossenen Wehrschützen keine typischen Abwasserfahnen mehr vorhanden sind, können auch die links- und rechtsufrigen Abwassereinflüsse nicht mehr so klar wie früher auseinandergehalten werden. Zu der mehr oder weniger gleichmäßigen Chlorid-Belastung durch die Sodafabrik Wyhlen kommen jedenfalls stoßweise Einleitungen chloridreicher Abwässer durch andere links- oder rechtsufrige Industriebetriebe.

Wie bereits erwähnt, kann das Mittel der beiden Stellen von Birsfelden wegen der zu dicht oberhalb liegenden Abwassereinleitungen nicht ohne Vorbehalt für den Gesamtabfluß als repräsentativ gelten. Doch stimmt der aus diesem Mittel zu berechnende Gesamtanfall von 680 t/Tag größenordnungsmäßig gut mit dem am 22./23. September 1953 zu 632 t/Tag berechneten Anfall überein. Aus den Untersuchungsergebnissen der baselstädtischen Koordinationskommission für die Rheinsanierung (141 Einzelproben während zwei Jahren an drei Stellen im Querprofil oberhalb Basel) wurde der mittlere Chlorid-Anfall des Jahres 1948 (mittlerer Abfluß der Probefassungstage = 1300 m^3/s) zu 842 t/Tag und derjenige des Jahres 1949 (mittlerer Abfluß = 670 m^3/s) zu 527 t/Tag berechnet. Der Mittelwert von 685 t/Tag entspricht praktisch dem für den 13./14. März 1956 berechneten Anfall. Aus dem Mittel der zehn am 29./30. Januar 1957 bei Birsfelden-links erhobenen Proben ergibt sich ein Chlorid-Anfall von rund 640 t/Tag.

Trotz der größenordnungsmäßigen Übereinstimmung mit anderen Resultaten ist der bei Berücksichtigung des Mittelwertes der beiden Stellen von Birsfelden für den 13./14. März 1956 berechnete Anfall sehr wahrscheinlich zu hoch, worauf die Resultate der unterliegenden Probefassungsstellen hinweisen. Dementsprechend dürfte auch die zwischen Augst und Birsfelden zu 221 t/Tag errechnete Zunahme des Chlorid-Anfalls effektiv erheblich niedriger sein. Der über 24 Stunden verteilte Anteil der Sodafabrik Wyhlen kann entsprechend dem Jahresdurchschnitt des Anfalls zu etwa 50 t/Tag geschätzt werden (Mitteilung der Wasser- und Schiffahrtsdirektion Freiburg).

Zwischen dem Mittel der beiden Probefassungsstellen von Birsfelden einerseits und *Neudorf* andererseits ergab sich am 13./14. März 1956 eine erhebliche Abnahme der Chlorid-Konzentration, was den effektiven mittleren Verhältnissen der beiden Stromquerprofile unmöglich entsprechen kann, da die Chloride nicht abgebaut werden. Der Unterschied ist jedenfalls zur Hauptsache darauf zurückzuführen, daß die links bei Birsfelden gefundenen höheren Chloridmengen dort und evtl. auch in Neudorf noch nicht völlig mit dem Abfluß des Rheins vermischt sind und in Neudorf noch keine Verteilung der Basler Abwässer auf den gesamten Strom stattgefunden hat. Die bei Neudorf noch unregelmäßige Verteilung der Chloride und insbesondere die am rechten Ufer im Vergleich zum Gesamtabfluß verhältnismäßig niederen Konzentrationen werden durch die am 1. Februar 1957 im Querprofil etwa 0,2 km oberhalb der Abzweigung des Grand Canal ausgeführten Untersuchungen bestätigt. Während z. B. die Chlorid-Konzentration an der Oberfläche 80 m vom linken Ufer zu 15,9 mg/l gefunden wurde, betrug sie 80 m vom rechten Ufer entfernt nur 12,7 mg/l.

Da zwischen Neudorf und *Neuenburg* keine ins Gewicht fallenden zusätzlichen Abwasserbelastungen erfolgen, kann der bis unterhalb Basel vorhandene Chlorid-Anfall mit ausreichender Zuverlässigkeit aus den Untersuchungsergebnissen bei Neuenburg berechnet werden. Der gesamte Chlorid-Anfall betrug in Neuenburg 739 t/Tag oder 8,5 kg/s. Dieser Wert liegt in der Größenordnung des bei den Untersuchungen der Internationalen Kommission 1953/54 unterhalb des Kraftwerks Kembs gefundenen Jahresmittels von 7,9 kg/s. Aus den Untersuchungsergebnissen der baselstädtischen Rheinsanierungskommission wurde an der schweizerisch-deutschen Landesgrenze unterhalb Basel (186 Einzelproben) der mittlere Chlorid-Anfall des Jahres 1948 zu 943 t/Tag und derjenige des Jahres 1949 zu 643 t/Tag berechnet. Der Mittelwert von 793 t/Tag liegt ebenfalls in der Größenordnung des für den 13./14. März 1956 berechneten Anfalls. Im Mittel von zehn am 29./30. Januar 1957 bei der Fähre Weil/Hüningen 70 m vom linken Ufer entfernt erhobenen Proben ergab sich eine Chlorid-Konzentration von 16,3 mg/l, was einen täglichen Anfall von rund 730 t/Tag, also zufälligerweise fast genau dem am 13./14. März 1956 bei Neuenburg festgestellten Wert entspricht.

Die mittlere Zunahme des Chlorid-Anfalls zwischen Birsfelden und unterhalb Basel betrug nach den Ergebnissen der baselstädtischen Rheinsanierungskommission 1948 101 t/Tag und 1949 116 t/Tag, im Mittel 108 t/Tag, und am 29./30. Januar 1957 rund 90 t/Tag, während bei der vorliegenden Untersuchung eine Zunahme von nur 46 t/Tag gefunden wurde. Der Unterschied ist sehr wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß der sich aus den Untersuchungen vom März 1956 ergebende Mittelwert von Birsfelden gegenüber dem effektiven Mittel des Gesamtabflusses zu hoch ist. Der aus den einzelnen Industrie- und Siedlungsgebieten der Region Basel erfolgende Chlorid-Anfall läßt sich deshalb nicht mit ausreichender Zuverlässigkeit ermitteln. Wir können lediglich feststellen, wie groß der *Chlorid-Anfall in der gesamten Region Basel*, also vor allem aus den Industriegebieten von Wyhlen, Pratteln, Schweizerhalle und Grenzach, aus dem Wiesental, aus der Stadt Basel und aus den benachbarten elsässischen Orten war. Dieser zusätzliche Anfall ergibt sich aus den Resultaten von Augst-Wyhlen und von Neuenburg zu 280 t/Tag.

Die vom Hochrhein abgeführten Chlorid-Mengen nehmen sich indessen bescheiden aus, wenn man damit die Verhältnisse am Oberrhein vergleicht. Nach der größeren Einleitung der Abwasser aus den elsässischen Kaliminen und der kleineren der badischen Kalimine nahmen die Chlorid-Konzentration und der Chlorid-Anfall um mehr als das Zehnfache zu. Die Anfallwerte von *Marlen* und *Illingen* lagen in der Größenordnung von 8600 t/Tag oder rund 100 kg/s. Ähnliche Werte, nämlich 100,4 bzw. 98,6 kg/s, wurden bei ähnlichen Abflußverhältnissen am 3. März 1954 (930 m^3/s) und am

17. März 1954 (765 m^3/s) auch durch die Internationale Kommission bei Lauterbourg festgestellt, während das Jahresmittel des Anfalls mit 72,1 kg/s etwas niedriger war. Ein wesentlich höherer Anfall errechnet sich aus den am 31. Januar 1957 bei Breisach ausgeführten Untersuchungen. Die Chlorid-Konzentration betrug an diesem Tage im Mittel der je drei in verschiedenen Tiefen erhobenen Proben in der rechten Stromhälfte 233 mg/l, in der Strommitte 283 mg/l und in der linken Stromhälfte 310 mg/l. Trotz der rund 20 km oberhalb Breisach seit Erstellung der Staustufe Fessenheim in den Grand Canal erfolgenden Einleitung war somit bei Breisach noch keine völlige Durchmischung der elsässischen Kali-Industrie-Abwässer mit dem Rhein vorhanden. Von den Werten der Strommitte ausgehend, läßt sich der Anfall des 31. Januar 1957 zu etwa 144 kg/s schätzen, wobei es sich um einen im Tagesablauf auftretenden Maximalwert handeln kann.

Am 13./14. März 1956 wurden die höchsten Chlorid-Konzentrationen bei Marlen festgestellt. Da stromabwärts durch chloridärmere Zuflüsse eine Verdünnung stattfindet, nahm die Chlorid-Konzentration zwischen Marlen und *Illingen* im Mittel von 130,8 auf 99,5 mg/l ab.

4. Alkalität (Abb. 5 und 12)

Die Abflüsse des *Bodensee-Obersees* und des *Bodensee-Untersees* wiesen am 13./14. März 1956 mit rund 2,45 mval/l (= 12,25 französische Härtegrade) Werte der Alkalität auf, die innerhalb der methodischen Fehlergrenzen übereinstimmen. Aus früheren Untersuchungen geht hervor, daß die Alkalität einer jahreszeitlichen Periodizität unterworfen ist, worauf auch Waser, Blöchliger und Thomas gestützt auf ihre Rheinuntersuchungen hingewiesen haben: «In den Oberflächenschichten des Untersees findet bei den sommerlich warmen Temperaturen und der günstigen Belichtung eine reichlichere Planktonentwicklung und ein Kohlensäureschwund statt, so daß ein Teil des gelösten Kalkes ausfällt, das Wasser also weicher wird. Im Herbst dagegen bringt die Teil-, später die Vollzirkulation das kalkreiche Tiefenwasser an die Oberfläche, auf diese Weise die ganze Wassermasse des Sees gleichmäßig mischend; daher der hohe Kalkgehalt in den Wintermonaten bis zum Juni.» Die am 13./14. März 1956 gefundenen Alkalitäts-Werte sind somit nur gerade für die damaligen Schichtungsverhältnisse des Sees bezeichnend.

Im Hochrhein blieb die Alkalität vom *Abfluß des Untersees bis Ellikon* innerhalb der methodischen Fehlergrenzen konstant. Eine auf Assimilationsprozesse zurückzuführende tägliche Periodizität der Alkalität war, wie auch stromabwärts, nicht vorhanden.

Von *Ellikon bis Koblenz* nahm die Alkalität von 2,52 auf 2,90 mval/l zu. Diese Zunahme ist durch die härteren Zuflüsse zu erklären.

Die *Aare* führte ein nur wenig härteres Wasser als der Rhein zu. Ebensowenig wie im Rhein war in der Aare eine auf assimilatorische Prozesse zurückzuführende Periodizität der Alkalität zu erkennen.

Bei *Laufenburg* traten erhebliche Schwankungen der Alkalität auf. Die Maximalwerte lagen höher und die Minimalwerte tiefer als in Aare und Rhein bei Koblenz. Besonders auffallend ist, daß die Alkalität zwischen 2 und 3 Uhr ein ausgeprägtes Minimum und dann zwischen 3 und 4 Uhr ein Maximum erreichte. Größere Wasserstandsschwankungen waren zu dieser Zeit bei dem im Unterwasser des Kraftwerks Albbruck–Dogern gelegenen Pegel nicht vorhanden, so daß z. B. ein ins Gewicht fallender Einfluß aus dem Schluchseewerk außer Betracht fällt. Eine sichere Erklärung für die Ausschläge der Alkalität ist vorläufig nicht möglich. Doch muß vermutet werden, daß die Alkalität irgendwo zwischen Koblenz und Laufenburg durch Einleitung anorganischer Abwasser beeinflußt wird.

Da die Fließzeit zwischen Laufenburg und Ryburg zu etwa 9 Stunden zu schätzen ist, kann ferner vermutet werden, daß das am Schluß der 24stündigen Untersuchungsperiode bei *Ryburg* beobachtete Sinken der Alkalität dem einsetzenden Alkalitäts-Minimum von Laufenburg entspricht. Ein ähnliches Minimum war in Ryburg schon zu Beginn der Untersuchungen vorhanden und konnte entsprechend der auf Grund der hydraulischen Unterlagen zu schätzenden Fließzeit rund 4 Stunden später auch in *Wyhlen* und in *Augst* festgestellt werden.

Noch größere Schwankungen der Alkalität ergaben sich dann bei den durch lokale Abwassereinleitungen stark beeinflußten Probefassungsstellen von *Schweizerhalle* und *Auhafen*. Immerhin ist zu beachten, daß an diesen Stellen Einzelproben, an den übrigen Stellen dagegen Stundenmittel-Proben untersucht wurden, so daß sich Extremwerte stärker geltend machen konnten. Zweifellos ist die minimale Alkalität von 2,13 mval/l auf die Einleitung von stark saurem Abwasser zurückzuführen.

Die zwischen Augst-Wyhlen und *Birsfelden* erfolgte Erhöhung der mittleren Alkalität von 3,14 auf 3,30 mval/l weist jedoch darauf hin, daß in den Industriegebieten von Wyhlen, Pratteln, Schweizerhalle und Grenzach gesamthaft alkalische Abwasser-Einflüsse überwiegen. Diese machten sich bei Birsfelden in einzelnen bis 3,5 mval/l ansteigender Stundenmittel-Spitzen geltend.

Im Vergleich zu den Jahresmittelwerten der baselstädtischen Rheinsanierungskommission, welche oberhalb Basel etwa 2,6 mval/l betrugen, war die Alkalität im März 1956 verhältnismäßig hoch. Es zeigt sich jedoch aus allen vorliegenden früheren Untersuchungen, daß die Alkalität einer jahreszeitlichen Periodizität unterworfen ist. Die Abflüsse aller Seen üben auf die Alkalität des Rheinwassers einen entsprechenden Einfluß aus, wie er vom Abfluß des Untersees bereits erwähnt wurde. Dieser Einfluß wird auch im Rhein selbst durch die während der warmen Jahreszeit intensivierte Assimilationstätigkeit der Pflanzen noch verstärkt. Die hohen Alkalitätswerte, wie sie im März 1956 gefunden wurden, sind deshalb für die Winter- und Frühjahrsmonate bezeichnend, während namentlich im Juli und August wesentlich erniedrigte Werte vorkommen.

Unterhalb Birsfelden nahm die Alkalität am 13./14 März 1956 bis *Neudorf* und *Neuenburg* ab. Eine ähnliche Tendenz geht auch aus den Untersuchungsergebnissen der baselstädtischen Rheinsanierungskommission hervor. Da die natürlichen Zuflüsse vorwiegend harte Wässer bringen, weist die Abnahme darauf hin, daß im Gegensatz zu dem oberhalb Basel gelegenen Industriegebiet in der engeren Region von Basel eher saure Abwässer überwiegen.

Die von Neuenburg bis *Marlen* und von dort bis *Illingen* erfolgte deutliche Abnahme der Alkalität ist

dagegen auf die weicheren Zuflüsse aus Vogesen und Schwarzwald zurückzuführen.

5. Anorganische Stickstoffverbindungen (Abb. 6, 7, 8 und 12)

Im Seerhein wurde zwischen den Probefassungsstellen *Konstanz* und *Gottlieben* eine Zunahme der Konzentration aller organischen Stickstoff-Verbindungen festgestellt, die zur Hauptsache auf den Einfluß der Abwässer der Region Konstanz zurückgeführt werden muß. Dieser Einfluß geht vor allem auch aus dem täglichen Gang der Ammonium-Stickstoff-Konzentration bei Gottlieben hervor, indem die höchsten, über 0,1 mg/l liegenden Werte tagsüber zwischen 10 und 19 Uhr beobachtet wurden.

Auch im *Abfluß des Untersees* zeigten sich gegenüber dem Abfluß des Obersees noch merklich erhöhte Konzentrationen an anorganischen Stickstoff-Verbindungen, was mit dem unterschiedlichen Trophie-Zustand der beiden Seen in Einklang steht. Nach Untersuchungen von H. Fast[38] lag die Ammonium-Konzentration des Obersees — von Hochwassereinflüssen auf die östlichen Stationen und obere Wasserschichten abgesehen — im Laufe des Jahres 1954 meist unter 0,02 mg/l, während im Untersee Konzentrationen zwischen 0,02 und 0,1 mg/l nachgewiesen wurden. In diesem Rahmen (0,05—0,1 mg/l) liegen auch die bei Stein a. Rh. am 13./14. März 1956 gefundenen Werte.

Die Nitrit-Konzentration ist im Obersee wie die Ammonium-Konzentration allgemein gering. Dagegen wurden im Untersee in den stärker durchflossenen Seeteilen zwischen Steckborn und Hemishofen, die für den vorliegenden Vergleich in Frage kommen, im Mittel des Jahres 1954 0,045 mg/l Nitrit-Stickstoff gefunden. Anläßlich der Untersuchung vom März 1956 wurden bei Stein a. Rh. durchschnittlich 0,001 mg/l nachgewiesen, was mit den Ergebnissen der Untersee-Untersuchungen von H. Fast insofern in Einklang steht, als die verhältnismäßig höheren Nitrit-Gehalte auf die warme Jahreszeit beschränkt sind, während die Konzentrationen im Winter zum Teil unter der Nachweisbarkeitsgrenze liegen. Die Nitrat-Stickstoff-Konzentration betrug an den in Betracht zu ziehenden Entnahmestellen des Untersees im Durchschnitt von 1954 und im Mittel des ganzen Tiefenprofils 1,3 mg/l. Demgegenüber war die mittlere Nitrat-Stickstoff-Konzentration am 13./14. März 1956 bei Stein a. Rh. mit 0,62 mg/l verhältnismäßig gering.

Im *Hochrhein* war am 13./14. März 1956 unterhalb *Schaffhausen* bis *Rheinau* eine signifikante Zunahme der Nitrate vorhanden. Zwischen Rheinau und *Ellikon* läßt sich dann eine Veränderung im Gehalt der anorganischen Stickstoffverbindungen unter Berücksichtigung der Bestimmungsgenauigkeit der einzelnen Komponenten höchstens für den Ammonium-Stickstoff im Sinne einer Abnahme feststellen. Während auch zwischen Ellikon und Rüdlingen keine wesentliche Veränderung der Stickstoff-Verhältnisse festzustellen war, erfuhren alle drei Arten der anorganischen Stickstoff-Verbindungen in der Staustufe *Eglisau* eine meßbare Erhöhung. Sie ist wohl vor allem dem Zufluß der stark belasteten Töß und auch den Zersetzungsvorgängen in den mit organischem Material durchsetzten Sedimenten des Stauraums zuzuschreiben. Eine weitere Erhöhung der Konzentration an anorganischen Stickstoff-Verbindungen wurde zwischen Eglisau-Oberwasser und *Eglisau-Unterwasser* festgestellt. Aus den bereits oben dargelegten Gründen hängt sie wahrscheinlich damit zusammen, daß das Glatt-Wasser an der Probefassungsstelle in überdurchschnittlichem Maße beigemischt ist. Bei *Kaiserstuhl* waren die Konzentrationen an Ammonium- und Nitrat-Stickstoff wieder geringer als bei Eglisau-Unterwasser, aber gegenüber Eglisau-Unterwasser immer noch erhöht. Soweit die an der Nachweisbarkeitsgrenze liegenden Unterschiede als reell betrachtet werden können, sind sie wahrscheinlich dem Einfluß der Glatt zuzuschreiben. Zwischen Kaiserstuhl und *Koblenz* war schließlich eine sehr geringe Zunahme der Nitrate zu verzeichnen.

Die *Aare* brachte ein Wasser, das gegenüber dem Rhein die doppelte Konzentration an Ammonium-Stickstoff, aber auch erhöhte Nitrit- und Nitrat-Werte aufwies. Die stärkere Belastung der Aare mit Abwässern geht daraus deutlich hervor. Die Konzentration an Ammonium-Stickstoff war deutlichen Schwankungen unterworfen. Das Tagesmittel lag mit 0,20 mg/l höher als das anläßlich der Aare-Untersuchung von 1952 zu 0,14 mg/l bestimmte. Damals hatte die Aare jedoch eine höhere Wasserführung, so daß die Anfallwerte von 5,3 t/Tag (1952) bzw. 6,5 t/Tag (1956) nicht wesentlich voneinander abweichen. Bei der Nitrat-Konzentration war 1952 mit 0,54 mg/l ein erheblich geringerer Wert als 1956 (1,13 mg/l) gefunden worden. Doch lassen sich die beiden Werte wegen der verschiedenen Bestimmungsmethoden nicht streng miteinander vergleichen.

Im *vereinigten Wasser von Aare und Rhein* zeigten die Ammonium- und die Nitrit-Konzentrationen bis Birsfelden eine schwach abnehmende Tendenz; die Nitrat-Konzentration erfuhr dagegen gesamthaft keine erhebliche Änderung. Während die täglichen Schwankungen der Nitrat-Konzentration oberhalb der Aaremündung relativ gering waren, trat von Laufenburg bis Birsfelden und weiter bis Neuenburg ein unregelmäßiger Gang der Nitrat-Konzentration auf.

Die mittlere *Ammonium*-Stickstoff-Konzentration betrug am 13./14. März 1956 bei *Birsfelden* 0,12 mg/l. Aus diesem Rheinabschnitt liegen Resultate von durch verschiedene Laboratorien ausgeführten früheren Untersuchungen vor, die sich jedoch z. T. wegen der abweichenden Bestimmungsverfahren (Neßlerierung nach Destillation) nicht streng mit den Ergebnissen des März 1956 vergleichen lassen. Als vergleichbar können die Ergebnisse von am 22./23. September 1953 (drei Stellen im Querprofil) und am 4./5. August 1954 (eine Stelle) durchgeführten 24-stündigen Untersuchungen angesehen werden. Die Untersuchung vom September 1953 ($Q = 665$ m³/s) ergab eine mittlere Ammonium-Konzentration von 0,13 mg/l und diejenige vom August 1954 ($Q = 1120$ m³/s) eine solche von etwa 0,05 mg/l. Nach den Untersuchungen der baselstädtischen Koordinationskommission schwankte die Ammonium-Stickstoff-Konzentration oberhalb Basel zwischen 0 und 0,19 mg/l und betrug im Mittel der Sommerhalbjahre (April/September) etwa 0,05 mg/l und im Mittel der Winterhalbjahre etwa 0,08 mg/l. Die Auswertung der Einzelresultate hatte ergeben, daß der jahreszeitliche Unterschied zur Hauptsache auf die während des Sommers höhere Wasserführung und die damit stär-

[38] H. Fast, Einheitliche Beurteilungsrichtlinien für Stickstoff- und Phosphor-Verbindungen (Manuskript im Protokoll der Fachkommission für regionale Abwasserfragen vom 24. August 1956).

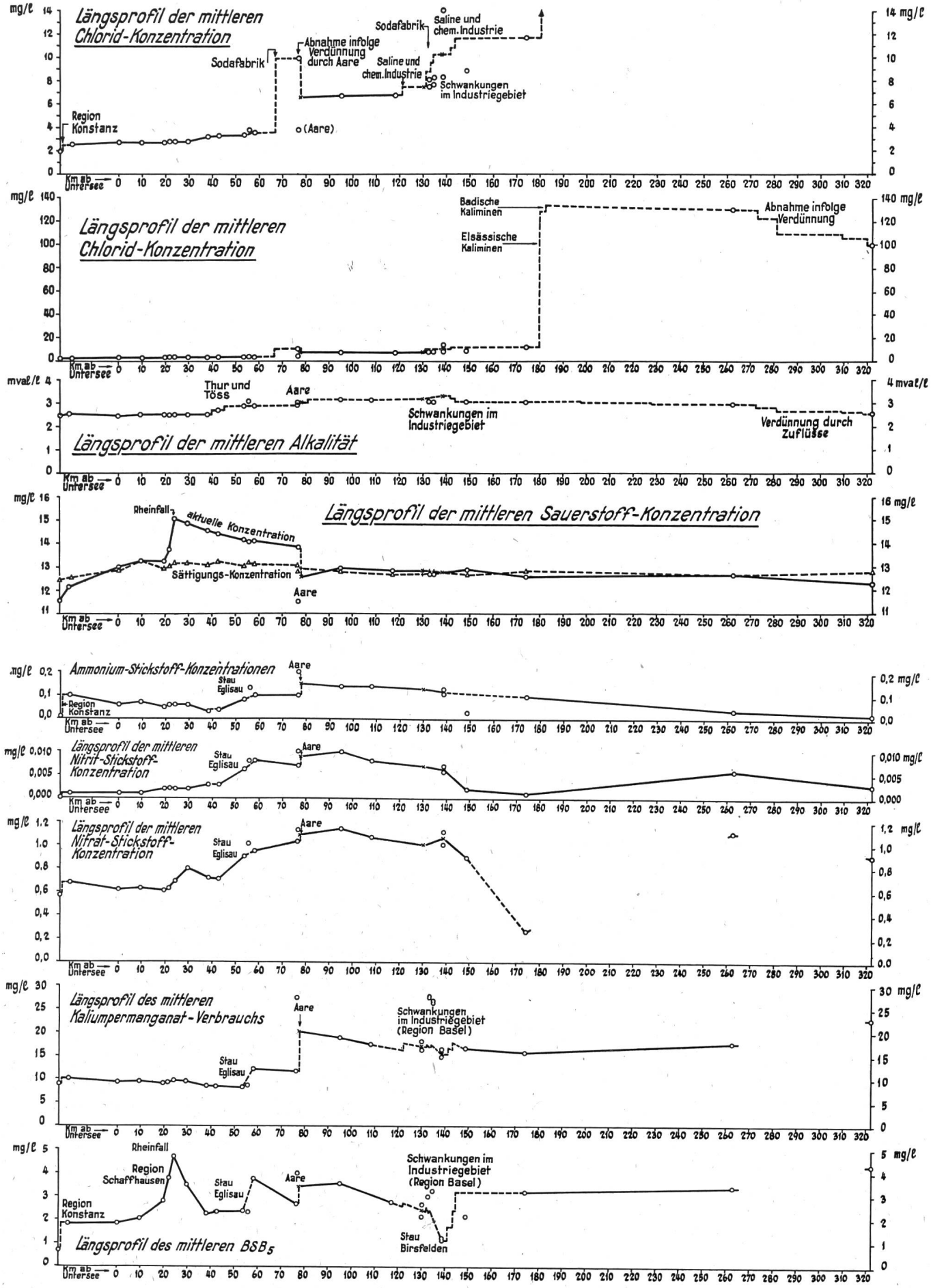

Abb. 12 Längsprofile der chemischen Eigenschaften

(Abb. 1 bis 11 siehe I. Teil dieses Berichtes, abgedruckt Maiheft WEW S. 115/126)

kere Verdünnung der stickstoffhaltigen Abwässer, teilweise aber auch auf die bei höheren Temperaturen beschleunigten Nitrifikationsvorgänge zurückzuführen sein dürfte. Die im Winter bei niederer Wasserführung erhöhten Werte der Ammonium-Konzentration werden durch die Untersuchungsergebnisse vom 29./30. Januar 1957 (Abfluß-Tagesmittel 551 bzw. 507 m^3/s) bestätigt, als in den Querprofilen bei Schweizerhalle und oberhalb des Birsfelder Wehres im Mittel je etwa 0,2 mg/l Ammonium-Stickstoff gefunden wurden.

Am 13./14. März 1956 wurde bei Birsfelden eine mittlere *Nitrit*-Stickstoff-Konzentration von 0,007 mg/l gefunden, die damit genau mit dem am 2./5. August 1954 gefundenen Mittelwert übereinstimmt, während am 22./23. September 1953 ein Wert von 0,017 mg/l gefunden worden war. Die mittlere *Nitrat*-Stickstoff-Konzentration betrug am 13./14. März 1956 bei Birsfelden 1,07 mg/l. Dr. H. Fast hatte bei zahlreichen während aller Jahreszeiten bei Grenzach erhobenen Proben Werte zwischen 0,8 und 1,35 mg/l und das Wasserwerk Basel (O. Widemann) solche zwischen 0,3 und 3,2, im Mittel von 1,1 mg/l gefunden. Im Untersuchungsmaterial der baselstädtischen Rheinsanierungskommission schwankten die Werte oberhalb Basel zwischen 0,35 und 2,2 mg/l. Das Mittel der Sommerhalbjahre beträgt 0,91 mg/l, dasjenige der Winterhalbjahre 1,11 mg/l. Im wesentlichen ist dieser Unterschied durch die während des Sommers höhere Wasserführung bedingt.

Die Vergleiche zeigen, daß die Stickstoff-Werte des März 1956 durchaus im Rahmen der, soweit methodisch vergleichbaren, übrigen, zumeist vor dem Aufstau des Rheins durch das Kraftwerk Birsfelden gewonnenen Resultate liegen, daß aber im einzelnen bei ihrer Beurteilung die jahreszeitliche Stellung der Untersuchungsserie zu beachten ist.

Bei der Betrachtung der unterhalb Basel gemessenen anorganischen Stickstoff-Verbindungen ist zunächst erstaunlich, daß am 13./14. März 1956 die mittlere Ammonium-Stickstoff-Konzentration bei *Neudorf* mit 0,03 mg/l trotz der in der Region Basel stattfindenden Abwasserbelastung erheblich unter den betreffenden Werten von Birsfelden lag. Auf Grund des Vergleiches mit den Beobachtungen bei Neuenburg und mit früheren Untersuchungen der baselstädtischen Rheinsanierungskommission muß geschlossen werden, daß die Ergebnisse bei Neudorf am 13./14. März 1956 durch unbekannte Faktoren beeinträchtigt wurden. Die ergänzende Untersuchung am 30. Januar/1. Februar 1957 hatte denn auch ganz andere Verhältnisse aufgezeigt. Während die Ammonium-Stickstoff-Konzentration bei Birsfelden etwa 0,2 mg/l betrug, erreichte sie im Mittel der neun im Stromquerprofil 0,2 km oberhalb der Abzweigung des Grand Canal erhobenen Proben etwa 0,3 mg/l. Am 31. Januar 1957 waren bei der Fähre Weil/Hüningen 30 m vom rechten Ufer entfernt in allen Tiefen sogar Werte von rund 0,8 mg/l festgestellt worden. Die wahrscheinlich vor allem mit der Einleitung industrieller Abwasser zusammenhängenden erheblichen Schwankungen der Ammonium-Konzentration gehen aus den verschiedenen Untersuchungen klar hervor.

Die Tatsache, daß die Ammonium-Konzentration trotz der Abwasserbelastung der Region Basel am 13./14. März 1956 abnahm, bleibt auch dann bestehen, wenn wir die Stelle Neudorf unberücksichtigt lassen und nur die Stromquerprofile von Birsfelden und *Neuenburg* miteinander vergleichen. Ebenso erfuhr die Nitrit-Konzentration auf dieser Strecke eine deutliche Abnahme. Besonders stark war jedoch die Erniedrigung der Nitrat-Stickstoff-Konzentration, welche bei Birsfelden 1,07 mg/l, bei Neuenburg aber nur noch 0,27 mg/l betrug. Eine analoge Tendenz war schon anläßlich der Untersuchungen der baselstädtischen Rheinsanierungskommission zwischen Grenzach-Birsfelden und unterhalb des Kraftwerks Kembs festgestellt worden. Im Unterwasser des Kraftwerks Kembs läßt sich die Nitrat-Stickstoff-Konzentration des 13./14. März 1956 unter Annahme einer linearen Verminderung zwischen Birsfelden und Neuenburg zu etwa 0,7 mg/l schätzen. Im Mittel der hier 1949 von der baselstädtischen Rheinsanierungskommission untersuchten Einzelproben ergab sich eine Konzentration von etwa 0,8 mg/l. Die Internationale Kommission hatte hier im Jahresmittel 1953/54 0,51 mg/l gefunden, allerdings bei erheblichen jahreszeitlichen Schwankungen zwischen etwa 0,1 und 1,2 mg/l. Die Vergleiche zeigen immerhin, daß die im März 1956 gemachten Feststellungen im Rahmen der früheren Beobachtungen liegen. Auch die auf Grund der Neuenburger Werte für den 13./14. März 1956 bei Kembs zu etwa 0,11 mg/l zu schätzende Ammonium-Stickstoff-Konzentration liegt im Rahmen des bei einem Jahresmittel von 0,16 mg/l von der Internationalen Kommission mit 0,04 bis 0,42 mg/l festgestellten Schwankungsbereiches.

Von Neuenburg bis *Illingen* fand am 13./14. März 1956 eine weitere erhebliche Erniedrigung der Ammonium-Konzentration statt. Ein übereinstimmender Befund ergibt sich aus den Untersuchungen der Internationalen Kommission. Bei Lauterbourg, etwa 3 km unterhalb Illingen, wurden nämlich während der ganzen Jahresserie keine über 0,1 mg NH_4^+/l, d. h. der von der Kommission angenommenen sicheren Nachweisbarkeitsgrenze, liegenden Werte gefunden. Die Nitrat-Stickstoff-Konzentration lag am 13./14. März 1956 bei Marlen und Illingen mit durchschnittlich 1,1 bzw. 0,9 mg/l wieder in der Größenordnung der bereits oberhalb Neuenburg festgestellten Werte, wobei jedoch hier erhebliche Schwankungen zu verzeichnen waren.

Abschließend geht aus der von der Aare-Mündung bis Illingen erfolgten Abnahme der Ammonium-Stickstoff-Konzentration hervor, daß die mit der Selbstreinigung verbundenen Nitrifikationsprozesse auf dieser Strecke am 13./14. März 1956 von erheblicherer Bedeutung waren als der von den Abwassereinleitungen und vom Abbau organischer Verbindungen stammende zusätzliche Ammonium-Stickstoff-Anfall. Diese Abnahme der Ammonium-Stickstoff-Konzentration kann auch in anderen Jahreszeiten als Regel angesehen werden. Neben den Nitrifikationsvorgängen fand am 13./14. März 1956 zwischen Birsfelden und Neuenburg anscheinend auch ein Aufbrauch von Nitraten statt, dessen Ursachen auf Grund der vorliegenden Untersuchungen noch nicht klar überblickt werden können.

6. Kaliumpermanganat-Verbrauch (Abb. 9 und 12)

Im *Obersee* und im *Untersee* dürfte der Kaliumpermanganat-Verbrauch (Oxydierbarkeit) vorwiegend durch die lebenden pflanzlichen und tierischen Organismen sowie deren Zersetzungsstoffe bedingt sein. Der Kaliumpermanganat-Verbrauch des normalerweise in Tiefenproben erhaltenen Planktons, das durch Filtration entfernt wird, beträgt im Oberseewasser etwa 1

bis 2 mg/l (Mitteilung H. Fast). Im *Seerhein* wurde am 13./14. März 1956 eine Zunahme des Permanganatverbrauchs festgestellt, welche als Folge der mit den Abwässern der Region Konstanz zugeführten organischen Stoffe zu erklären ist.

Zwischen Stein a. Rh. und *Schaffhausen* zeigte der Kaliumpermanganat-Verbrauch im Tagesmittel nur geringe Schwankungen. Der Einfluß der Abwassereinleitungen der Region Schaffhausen auf die Oxydierbarkeit des Rheinwassers war gering, wenn man die in Schaffhausen und *Dachsen* erhobenen Proben miteinander vergleicht. Zwischen Dachsen und *Rheinau* blieb der Kaliumpermanganat-Verbrauch annähernd konstant. Die geringe, aber statistisch gesicherte Abnahme der Oxydierbarkeit zwischen Rheinau und *Ellikon* fällt mit einem Wechsel der Untersuchungslaboratorien zusammen und kann deshalb methodisch bedingt sein. Eine echte Abnahme durch Selbstreinigung ist immerhin nicht auszuschließen. Unterhalb Ellikon blieb der Permanganatverbrauch in mg/l bis *Eglisau-Oberwasser* unverändert, während die Anfall-Äquivalente infolge der Zuflüsse (Thur und Töß) wuchsen. Bezüglich der aus den Analysen-Werten hervorgehenden Zunahme des Permanganatverbrauchs zwischen *Eglisau-Unterwasser* und *Kaiserstuhl* sei auf die Bemerkungen bei der hydrographischen Charakterisierung der Probefassungsstellen hingewiesen. Unterhalb Kaiserstuhl nahm der mittlere Kaliumpermanganat-Verbrauch in mg/l bis Koblenz etwas ab; aber der am Permanganatverbrauch gemessene Anfall an biochemisch oxydierbaren Stoffen blieb annähernd konstant. Selbstreinigungsvorgänge und zusätzliche Belastung hielten sich demnach auf dieser Strecke, was die chemisch oxydierbaren Stoffe betrifft, ungefähr die Waage.

Die *Aare* besaß im März 1956 einen mehr als 2½-mal so großen Permanganatverbrauch als der Rhein. Über die Herkunft der den Kaliumpermanganat-Verbrauch hervorrufenden Stoffe wurde in der Veröffentlichung über die Aare-Untersuchung berichtet. Der bei jener Untersuchung vor der Mündung in den Rhein gefundene Anfallwert lag mit 804 t/Tag in der gleichen Größenordnung wie der sich mit 898 t/Tag aus den Untersuchungen vom März 1956 ergebende Wert.

Der hohe Permanganatverbrauch des Aare-Wassers hat zur Folge, daß die unterhalb der Aare-Mündung im Rhein bestimmten Werte alle oberhalb der Aare-Mündung gefundenen Werte erheblich übertreffen. Dies geht auch aus den Ergebnissen von Untersuchungen der Staatlichen Lebensmitteluntersuchungsanstalt Karlsruhe hervor, welche im Mittel von je 7 bei niederer Wasserführung ($Q_{\text{Rheinfelden}} = 648$ m³/s) erhobenen Proben bei Konstanz und Ettikon (oberhalb Koblenz) je 10,0 mg/l, bei Rheinfelden aber 16,6 mg/l Permanganatverbrauch des abgesetzten Wassers (!) ergaben. Diese Werte liegen in der Größenordnung der am 13./14. März 1956 bestimmten Tagesmittel.

Bei den Untersuchungen vom März 1956 war der Permanganatverbrauch vergleichsweise sowohl im Originalwasser als auch im abgesetzten Wasser durchgeführt worden. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß der auf die absetzbaren Stoffe zurückzuführende Anteil des Permanganatverbrauchs bis zur Aare-Mündung verhältnismäßig gering war. Dagegen enthielt die Aare solche Stoffe in größerer Menge, welche sich unterhalb der Aare-Mündung auch im Rhein geltend machte. Die Ablagerung dieser Stoffe im Stauraum von Albbruck-Dogern führt zu einer nahezu vollständigen Verschlammung des linken Rheinufers auf einer Strecke von etwa 3 km. Die Mächtigkeit der Schlammberge beträgt stellenweise 2,5 m (Mitteilung H. E. Klotter).

Zwischen der *Aare-Mündung und Augst-Wyhlen* war sowohl beim Kaliumpermanganatverbrauch in mg/l als auch bei den entsprechenden Anfallwerten eine Abnahme zu verzeichnen. Der Abbau der durch den Permanganatverbrauch erfaßbaren organischen Stoffe übertraf demnach auf dieser Strecke, insbesondere aber zwischen Laufenburg und Ryburg, die zusätzliche Belastung.

Eine bei Koblenz-Aare um 1 bis 2 Uhr beobachtete Spitze des Permanganatverbrauchs war bei Laufenburg um 6 bis 7 Uhr zu erkennen. Sie trat also mit einer fünfstündigen Verzögerung auf, während die hydraulische Schätzung der Fließzeit etwa sechs Stunden ergibt. Der Beginn einer zweiten, bei Koblenz-Aare um 4 bis 6 Uhr aufgetretenen Spitze konnte bei Laufenburg gerade noch am Schluß der Untersuchung um 9 bis 10 Uhr, also ebenfalls mit etwa fünfstündiger Verzögerung, beobachtet werden.

Sehr hohe Permanganatverbrauchswerte traten bei den Probefassungsstellen *Schweizerhalle* und *Auhafen* auf. Sie waren indessen gegenüber dem Mittel der gesamten Wassermasse des Rheins zweifellos zu hoch, da die Probefassung in dem von Industrieabwasserfahnen beeinflußten Bereich erfolgte und zudem der Schwimmstoffanteil bei der Probenahme zu stark miterfaßt wurde.

Betrachten wir die gesamte *Staustufe Birsfelden*, so stellen wir zwischen Augst-Wyhlen und Birsfelden eine Verminderung des Permanganatverbrauchs fest. Diese trotz der beträchtlichen zusätzlichen Abwasserbelastungen gemessene Abnahme weist darauf hin, daß in dem seit Ende 1954 bestehenden Stauraum neben den oxydativen Abbauprozessen auch erhebliche Sedimentationsvorgänge stattfinden. Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen war vor dem Stau am 22./23. September 1953 zwischen Augst-Wyhlen und Birsfelden eine deutliche Zunahme zu verzeichnen gewesen. Eine Zunahme war dann auch wieder bei den Untersuchungen vom 29./30. Januar 1957 beobachtet worden.

Die früheren Untersuchungen auf der Rheinstrecke Augst-Birsfelden haben gezeigt, daß die am Permanganatverbrauch gemessene Konzentration an chemisch oxydierbaren Stoffen — abgesehen von eigentlichen Hochwässern — mit zunehmender Wasserführung abnimmt. Diese Abnahme ist jedoch geringer, als auf Grund der mit steigendem Abfluß zunehmenden Verdünnung anzunehmen wäre. Neben der Verdünnung bringt die höhere Wasserführung somit auch zusätzliche Mengen chemisch oxydierbarer Stoffe, die sehr wahrscheinlich natürlichen Ursprungs sind. Die Anfallwerte des 13./14. März 1956 können deshalb nur mit solchen verglichen werden, die bei ähnlicher Wasserführung erhalten worden waren. Aus den Untersuchungen vom 22./23. September 1953 ließen sich bei einem Abfluß von 665 m³/s (13./14. März 1956 = 711 m³/s) Anfallwerte von 879 t/Tag (März 1956 = 1060 t/Tag) bei Augst und von 1153 t/Tag (März 1956 = 963 t/Tag) bei Birsfelden berechnen. Aus dem Mittel der am 29./30. Januar 1957 bei Wyhlen erhobenen sechs Proben und der bei

Birsfelden-links erhobenen zehn Proben ergeben sich Anfallwerte von rund 850 t/Tag bei Augst-Wyhlen und von rund 940 t/Tag bei Birsfelden. Die Werte von 1953, 1956 und 1957 liegen somit in einer ähnlichen Größenordnung, wenn auch die Strecke im März 1956 eine umgekehrte Tendenz der Veränderung zeigte.

Bei der Probefassungsstelle *Neudorf* war der Permanganatverbrauch gegenüber Birsfelden etwas erhöht, während die Mittelwerte von Birsfelden und *Neuenburg* annähernd gleich hoch waren. Da einerseits die Stelle Neudorf nicht als für den Gesamtabfluß repräsentativ angesehen werden kann, anderseits aber zwischen Birsfelden und Neuenburg Selbstreinigungsvorgänge erwartet werden müssen, ist es schwierig, aus diesen Werten weitergehende Schlüsse auf den Einfluß der Basler Abwasser zu ziehen. Immerhin kann festgestellt werden, daß der in der ganzen Region Basel erfolgende Anfall an schwer abbaubaren organischen Stoffen im Vergleich zu den Verhältnissen an der Aare nur gering sein kann. Dies geht auch aus den Untersuchungsergebnissen vom 29./30. Januar 1957 hervor. Im Mittel von je 10 Proben wurde bei Birsfelden-links ein Permanganatverbrauch von 21,0 mg/l und bei Weil, 70 m vom linken Ufer entfernt, ein solcher von 22,2 mg/l gefunden. Sowohl diese als auch die in den Querprofilen bei der Fähre Weil und oberhalb der Abzweigung des Grand Canal erhaltenen Ergebnisse lassen größere Schwankungen des Permanganatverbrauchs erkennen. Ferner war die am Permanganatverbrauch gemessene Gesamtbelastung bei beiden Querprofilen am 31. Januar und 1. Februar 1957 in der linken Stromhälfte um etwa 2 mg/l höher als in der rechten Stromhälfte, was auch die am 13./14. März 1956 in der Nähe des rechten Kanalufers bei Neudorf relativ niederen Werte zu erklären vermag.

Auffallend ist, daß von Neuenburg bis *Marlen* im März 1956 wieder eine Zunahme des Permanganatverbrauchs stattfand, obwohl auf dieser Strecke kaum wesentliche Abwassereinflüsse erfolgen. Bei der Verfolgung des Stoffhaushalts auf größeren Strecken muß jedoch die Möglichkeit eines Einflusses der zeitlichen Verschiebung der Wassermassen in Betracht gezogen werden. Nach den Ergebnissen der Aare-Untersuchung erreichen die bedeutendsten Mengen an Kaliumpermanganat verbrauchenden Stoffen die Aaremündung erst etwa einen Tag nach der Einleitung der betreffenden Abwässer. Danach stammte das im Rhein am Dienstag/Mittwoch, den 13./14. März 1956, aus den Regionen stärkster Belastung mit chemisch oxydierbaren Stoffen enthaltene Abwasser im Mittel an der Aaremündung ungefähr von Montag/Dienstag, bei Birsfelden ungefähr von Sonntag/Montag, bei Neuenburg ungefähr vom Sonntag und bei Marlen ungefähr vom Samstag/Sonntag. Es ist deshalb nicht auszuschließen, daß der bei Neuenburg festgestellte relativ niedrige Permanganatverbrauch einfach darauf zurückzuführen ist, daß die betreffenden Anteile der hier untersuchten Wassermasse die Regionen, welche üblicherweise die höchsten Abfälle liefern, durchschnittlich ausgerechnet zu einer Zeit verminderten Anfalls passiert hatten. Mit Ausnahme der relativ starken Abnahme, die auf der Staustufe Birsfelden in zeitlich nur wenige Stunden auseinanderliegenden Wassermassen festgestellt wurde, kann aus diesem Grunde auch die zwischen der Aare-Mündung und Neuenburg vorhandene generelle Tendenz zur Abnahme des Permanganatverbrauchs kaum als gänzlich gesichert angesehen werden.

Der gegenüber Marlen bei *Illingen* relativ stark erhöhte mittlere Permanganatwert kann auf verschiedene Ursachen zurückzuführen sein, unter denen die zeitliche Verschiebung der Wassermassen, die zusätzliche Belastung durch die Region Straßburg und die überdurchschnittliche Beimischung des Murgwassers an der Probefassungsstelle eine Rolle spielen mögen.

7. Biochemischer Sauerstoffbedarf (Abb. 10 und 12)

Der *Abfluß des Obersees* hatte am 13./14. März 1956 einen mittleren BSB_5 von 0,65 mg/l. In diesem Mittelwert sind die merkwürdigen BSB_5-Werte inbegriffen, welche in den Proben von 19, 23 und 24 Uhr erhalten worden waren. Solche negative BSB-Werte sind vom Chemischen Untersuchungsamt der Stadt Konstanz auch schon früher bei Bodenseeuntersuchungen gefunden worden und treten gelegentlich auch in anderen Gewässern auf. Die vom Chemischen Untersuchungsamt der Stadt Konstanz unter Berücksichtigung aller in Erwägung zu ziehenden Fehlermöglichkeiten durchgeführten speziellen Untersuchungen haben die Ursache dieser negativen BSB-Werte bisher noch nicht aufzuklären vermocht[39]. Ohne Berücksichtigung der negativen BSB-Werte ergibt sich ein Tagesmittel von 0,85 mg/l. Dieser geringe Wert weist darauf hin, daß der Abfluß des Obersees im Zeitpunkt der Untersuchung sehr wenig biochemisch oxydierbare organische Stoffe enthielt.

Bis *Gottlieben* nahm der BSB_5 auf 1,8 mg/l zu. Wie weit diese Zunahme auf die Einleitung der Abwasser der Region Konstanz und wie weit sie auf die im Seerhein allenfalls anhaltende Produktion lebender organischer Substanz zurückzuführen ist, läßt sich nicht mit Sicherheit beurteilen. Daß eine spürbare Abwasserbelastung stattfindet, geht aus den übrigen chemischen Untersuchungsergebnissen, aber auch aus den am 13./14. März 1956 erhaltenen bakteriologischen Befunden hervor. So enthielt das Wasser bei Konstanz im Tagesmittel 0,17 Colikeime per cm^3 (Schwankung 0,01—1,00), bei Gottlieben dagegen 7 Colikeime per cm^3 (Schwankung 2—16). Der Einfluß der Abwasser aus der Region Konstanz wird ferner durch die am 13./14. März 1956 festgestellten Schwankungen der Keimzahl bestätigt, indem die meisten der über 3000 Keime per cm^3 liegenden Werte auf die Zeit zwischen 13 und 23 Uhr fielen. Bei den Schwankungen der Coliwerte waren diese Verhältnisse nicht so ausgeprägt, in dem die Maxima erst von 22 bis 1 Uhr auftraten.

Im *Abfluß des Untersees* war der BSB_5 mit 1,86 mg/l höher als im Abfluß des Obersees. Dieser Wert liegt in der Größenordnung des bei Eschenz von der Internationalen Kommission erhaltenen Jahresmittels von 2,12 mg/l. Der BSB-Unterschied zwischen den Abflüssen des Obersees und des Untersees ist sehr wahrscheinlich im wesentlichen auf den höheren Plankton-Gehalt des Untersees zurückzuführen, welcher durch eutrophierende Abwasserstoffe bedingt wird.

Von *Stein a. Rh. bis Schaffhausen* nahm der BSB_5 im Tagesmittel von 1,86 mg/l auf 2,80 mg/l zu. Die Zunahme ist bei Berücksichtigung der Streuung statistisch

[39] H. Fast, Zunahme des Sauerstoffgehaltes bei BSB-Versuchen (Manuskript im Protokoll des Arbeitsausschusses für die Koordination der Untersuchungsmethodik am Hochrhein vom 25. August 1956).

gesichert. Ein statistisch gesicherter Anstieg des BSB_5 von durchschnittlich 2,8 um 1,9 auf 4,7 mg/l fand ferner zwischen *Schaffhausen und Dachsen* statt. Er kann zum Teil auf die in der Region Schaffhausen erfolgende Abwasserbelastung zurückgeführt werden, welche übrigens in den Rheinquerprofilen Flurlingersteg und Dachsen-Nohl schon grobsinnlich deutlich wahrzunehmen ist. Die BSB-Zunahme auf beiden Strecken ist jedoch viel größer, als rechnerisch aus der Abwasserbelastung hervorgeht. Eine Erklärungsmöglichkeit besteht darin, daß auf diesen Stromstrecken durch die Organismenproduktion eine Erhöhung des Sauerstoffverbrauchs in den Wasserproben verursacht wurde.

Zwischen *Dachsen und Ellikon* nahm der BSB_5 im Tagesmittel von 4,70 auf 2,27 mg/l ab. Diese Differenz ist statistisch gut gesichert. Der bei Ellikon beobachtete BSB blieb bis zum Kraftwerk *Eglisau* annähernd konstant. Der auch hier anzunehmende biochemische Abbau sowie die im Stau zu erwartenden Sedimentationsprozesse wurden demnach durch die vor allem aus den linksseitigen Nebenflüssen Thur und Töß stammenden Belastungen, durch Einflüsse der Faulschlamm-Ablagerungen sowie wahrscheinlich durch die im oberen Teil der Strecke stattfindende autotrophe Produktion lebender organischer Substanz gerade etwa kompensiert. Wie der Kaliumpermanganat-Verbrauch war dann der BSB_5 bei *Kaiserstuhl* wesentlich höher als bei Eglisau-Oberwasser und bei Eglisau-Unterwasser (vgl. hydrographische Charakterisierung der Probefassungsstellen).

Zwischen Kaiserstuhl und *Koblenz* nahm der BSB_5 im Gegensatz zum Permanganatverbrauch deutlich ab. Die auf dieser Strecke erfolgte Selbstreinigung kommt eventuell auch darin zum Ausdruck, daß am 13./14. März 1956 bei Kaiserstuhl im Tagesmittel 17,7 Colikeime per cm^3 (Schwankung = 4—36), bei Koblenz dagegen nur 6,6 Colikeime per cm^3 (Schwankung = 1—18) gefunden wurden.

Die *Aare* hatte am 13./14. März 1956 mit einem Tagesmittel von 4,00 mg/l und mit zwei ausgeprägten Spitzen einen erheblichen Gehalt an biochemisch oxydierbaren Stoffen. Der Anfall betrug am 13./14. März 1956 131 t/Tag, während am 30. Sept./1. Okt. 1952 96 t/Tag bestimmt worden waren. Die im März 1956 stärkere Belastung dürfte teils auf eine inzwischen noch mehr angewachsene Abwasserbelastung, zur Hauptsache aber wohl auf die bei der niederen Temperatur verlangsamten Selbstreinigungsvorgänge zurückzuführen sein. Von dem 201 t/Tag entsprechenden BSB-Anfall des mit der Aare vereinigten Rheins stammten 65% aus der Aare und 35% aus dem Rhein oberhalb der Aaremündung. Die stärkere Verschmutzung der Aare geht auch daraus hervor, daß ihr Wasser am 13./14. März 1956 im Tagesmittel 52,4 Colikeime per cm^3 (Schwankung = 20—90), das Rheinwasser bei Koblenz dagegen nur 6,6 Colikeime per cm^3 enthielt.

Zwischen dem Rhein-Aare-Mittel und *Laufenburg* fand eine geringe Zunahme des BSB statt, welche aber innerhalb der Fehlergrenzen der Bestimmung liegt. Aus den Untersuchungsergebnissen geht hervor, daß auf der Strecke zwischen der Aaremündung und Laufenburg keine Verminderung biochemisch oxydierbarer Stoffe resultierte. Von Laufenburg und *Ryburg* nahm der mittlere BSB_5 von 3,55 auf 2,76 mg/l deutlich ab. Auch zwischen Ryburg und *Augst-Wyhlen* erfolgte trotz der zusätzlichen Belastung durch die Abwasser der Region Rheinfelden eine weitere, allerdings geringfügige Abnahme auf durchschnittlich 2,42 mg/l.

Bei Augst-Wyhlen betrug der BSB-Anfall am 13./14. März 1956 noch 149 t/Tag. Aus früheren hier durchgeführten Untersuchungen geht hervor, daß der BSB-Anfall des Hochrheins erheblichen jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen ist. Am besten lassen sich die vorliegenden Ergebnisse mit einer am 19./20. Februar 1954 durchgeführten Untersuchung vergleichen. An diesem Tage war mit 2,65° C eine fast übereinstimmende mittlere Wassertemperatur vorhanden. Der mittlere tägliche BSB des gesamten Querprofils wurde damals zu 2,31 mg/l ermittelt, während wir am 13./14. März 1956 2,42 mg/l fanden. Da der Abfluß jedoch nur 457 m^3/s betrug, ergab sich ein geringerer BSB-Anfall von 95 t/Tag. Der bei ähnlichen thermischen Verhältnissen geringere Anfall hängt vielleicht damit zusammen, daß die oberhalb Augst-Wyhlen für die Selbstreinigungsvorgänge verfügbare Fließzeit wegen des geringeren Abflusses größer war. Dieser Zusammenhang wird wiederum durch die Untersuchungsergebnisse vom Januar 1957 bestätigt, als bei einer mittleren Wassertemperatur von 3,2° C und einem mittleren Abfluß von rund 520 m^3/s ein mittlerer BSB_5 von 2,14 mg/l entsprechend einem BSB-Anfall von etwa 96 t/Tag festgestellt wurde.

Gegenüber Augst-Wyhlen zeigten sich bei *Schweizerhalle* und *Auhafen* am 13./14. März 1956 etwas erhöhte BSB-Werte, was zweifellos mit den unmittelbaren Einflüssen von Abwassereinleitungen auf die durch die Probefassungsstellen erfaßten Wassermassen zusammenhängt.

Erstaunlich ist jedoch, daß dann bei *Birsfelden-rechts* nur noch ein BSB_5 von durchschnittlich 1,14 mg/l und bei *Birsfelden-links* ein solcher von 1,21 mg/l gefunden wurde. Der BSB-Anfall betrug nur noch 72 t/Tag, so daß zwischen Augst-Wyhlen und Birsfelden trotz der zusätzlichen Abwasserbelastungen eine Abnahme von 77 t/Tag zu verzeichnen war. Vor dem Aufstau des Rheins hatten wir am 22./23. September 1953 eine Zunahme von 139 t/Tag und bei der auf ein Wochenende fallenden Untersuchung vom 19./20. Februar 1954 eine Zunahme von 51 t/Tag gefunden. Ferner waren bei insgesamt vier 24stündigen Untersuchungen bei Birsfelden vor dem Stau mittlere BSB-Werte zwischen 2,01 und 3,56 mg/l und Anfall-Werte zwischen 146 und 205 t/Tag gefunden worden. Auch in zahlreichen Einzelproben waren so niedere BSB-Werte wie im März 1956 vor dem Stau nur zu Zeiten hoher Wasserführung während des Sommers beobachtet worden.

Außer der gegenüber früheren Untersuchungsergebnissen bestehenden Differenz ist vor allem die Tatsache erstaunlich, daß die absolut kleinsten mittleren BSB-Werte der gesamten Stromstrecke Stein a. Rh.–Illingen am 13./14. März 1956 bei Birsfelden gefunden worden sind. Abgesehen von der Strecke unterhalb des Rheinfalls wurde ferner auf keinem Abschnitt des Stromes eine so starke Abnahme des BSB beobachtet wie zwischen Augst und Birsfelden. Dies weist darauf hin, daß auf dieser seit Ende 1954 gestauten Strecke im März 1956 durch oxydativen Abbau und Sedimentation eine besonders intensive Abnahme der organischen Schmutzstoffe stattfand.

Die relativ günstige Beschaffenheit des Rheinwassers geht ferner daraus hervor, daß am 13./14. März 1956 im Tagesmittel beider Probefassungsstellen von

Birsfelden 7 Colikeime per cm^3 (Schwankung = 1—14), also gleich viel wie bei Gottlieben und wie im Rhein bei Koblenz, gefunden wurden, während die Aare bei Koblenz über siebenmal mehr Colikeime enthielt.

Da die Interpretationsmöglichkeiten der am 13./14. März 1956 in Birsfelden erhaltenen BSB-Resultate noch auseinandergehen und die im Stauraum Birsfelden ablaufenden Vorgänge nicht klar überblickt werden können, werden für eine abschließende Beurteilung ergänzende Untersuchungen notwendig sein. Die erste derartige Ergänzungsuntersuchung wurde am 29./30. Januar 1957 von der Staatlichen Lebensmitteluntersuchungsanstalt Karlsruhe und der Wasser- und Schiffahrtsdirektion Freiburg durchgeführt. Aus den Ergebnissen dieser Untersuchung geht hervor, daß der BSB_5 zwischen Wyhlen und Birsfelden infolge der Abwassereinleitungen im Mittel von etwa 2,14 auf etwa 2,66 mg/l anstieg. Die Zunahme des BSB-Anfalls errechnet sich zu rund 23 t/Tag. Dabei kann auf Grund einer am 30. Januar 1957 etwa 1,8 km oberhalb des Wehres Birsfelden durchgeführten Querprofiluntersuchung gesagt werden, daß in der gesamten Strombreite ähnliche Werte wie bei der zum obigen Vergleich herangezogenen Probefassungsstelle Birsfelden-links vorkamen. Die Ergebnisse der Querprofiluntersuchungen zwingen auch zum Schluß, daß in der Staustufe Birsfelden beim BSB und den anderen untersuchten Faktoren keine gesicherte Schichtung nach der Tiefe besteht. In diesem Zusammenhang ist ferner zu erwähnen, daß die Bestimmung des Colibakteriums im Januar 1957 im Mittel der bei Schweizerhalle und oberhalb des Kraftwerks Birsfelden gelegenen Querprofile mit etwa 30 bis 40 Kolonien per cm^3 beträchtlich höhere Werte als im März 1956 ergab. Aus der Untersuchung vom Januar 1957 geht zusammenfassend hervor, daß die außergewöhnlich günstigen Verhältnisse des März 1956 entweder jahreszeitlich bedingt waren oder heute überhaupt nicht mehr bestehen.

Zwischen Birsfelden und *Neudorf* nahm der mittlere BSB_5 am 13./14. März 1956 von 1,18 auf 2,17 mg/l zu. Bei *Neuenburg* wurde sogar ein Wert von 3,19 mg/l erreicht.

Untersuchungen im Kembser Stau bei Weil sowie im Oberrhein zwischen Neuenburg und Breisach haben ergeben, daß der Schwebestoffgehalt in der Tiefe um über 150% gegenüber den Oberflächenproben zunehmen kann (Mitteilung G. Ebeling). Entsprechende Ergebnisse wurden bei den Untersuchungen der baselstädtischen Rheinsanierungskommission erhalten. Nach den letzteren Untersuchungen nimmt auch die Keimzahl mit der Tiefe zu, während hinsichtlich des Permanganatverbrauchs und des BSB_2, statistisch gesehen, keine gesicherte Zunahme zu verzeichnen war. Da mit den Schwebestoffen organische Stoffe in tiefere Schichten der Gesamtwassermasse absinken können, ist es trotzdem möglich, daß in Neudorf und anderen Orten (z. B. Eglisau) an der Oberfläche erhobene Wasserproben nicht bezüglich aller Faktoren unbedingt repräsentativ für den jeweiligen durchschnittlichen Zustand des Stromes im gesamten Tiefenprofil sind. In jedem Falle können die BSB-Werte von Neudorf aus weiter oben dargelegten Gründen nicht als repräsentativ für den Gesamtabfluß des Rheins angesehen werden.

Die Werte von Neuenburg dagegen sind möglicherweise bereits durch Selbstreinigungsvorgänge beeinflußt, so daß sich aus diesen nur ein wahrscheinlich zu kleiner Wert für die in der engeren Region Basel erfolgende zusätzliche Schmutzstoffbelastung ableiten läßt. Der gesamte BSB_5-Anfall betrug bei Neuenburg 203 t/Tag oder etwa 2,35 kg/s. Von der Internationalen Kommission wurden in Kembs bei ähnlichen Abfluß- und Temperaturverhältnissen am 2. März 1954 und am 18. März 1954 3,96 bzw. 2,49 kg/s und im Jahresmittel 3,04 kg/s gefunden.

Die zwischen Birsfelden und Neuenburg am 13./14. März 1956 erfolgte Zunahme des BSB_5 um 2,01 mg/l entsprach einem Zuwachs des Anfalls von 131 t/Tag. Ein in der gleichen Größenordnung liegender Zuwachs ergibt sich auch, wenn wir die anläßlich 24stündiger Untersuchungen im Februar und April 1954 bei Birsfelden ermittelten Anfallwerte mit den von der Internationalen Kommission im Mittel der Monate Februar/April 1954 bei Kembs gefundenen Werte vergleichen. Der betreffende mittlere Anfall von Birsfelden betrug 158 t/Tag und derjenige von Kembs 253 t/Tag, die Differenz also 95 t/Tag. Ein Vergleich dieser Werte mit den Einwohnerzahlen des in Frage kommenden Gebietes zeigt, daß die häuslichen Abwasser nur einen Bruchteil des gesamten Zuwachses des BSB_5-Anfalles ausmachen können. Auch die Nebenflüsse können nicht sehr erheblich ins Gewicht fallen, betrug doch z. B. der BSB-Anfall in der Birs nach den Untersuchungen von 1946 nur etwa 1 t/Tag.

Bei der Untersuchung vom 29./30. Januar 1957 wurde im Mittel der je 10 Proben zwischen Birsfelden-links und Weil (70 m vom linken Ufer entfernt) eine Zunahme des BSB_5 von rund 2,7 um etwa 1,8 auf rund 4,5 mg/l festgestellt. Die Zunahme lag somit in der gleichen Größenordnung wie am 13./14. März 1956 zwischen Birsfelden und Neuenburg. Darauf, daß die Belastung in der am 13./14. März 1956 bei Neudorf untersuchten rechten Stromhälfte geringer ist als im Mittel des Gesamtabflusses, weisen die Querprofiluntersuchungen vom 31. Januar 1957/1. Februar 1957 hin. Im Querprofil oberhalb der Abzweigung des Grand Canal betrug z. B. der mittlere BSB 80 m vom rechten Ufer 4,0 mg/l, 80 m vom linken Ufer dagegen 4,7 mg/l. Gegenüber diesen im Kembser Stau meist über 4 mg/l liegenden BSB-Werten wurden am 31. Januar 1957 in Breisach vorwiegend Werte um 3 mg/l gefunden, was für eine in dem heute durch die Staustufe Fessenheim verlängerten Grand Canal vor sich gehende Verminderung der Schmutzstoffbelastung spricht.

Wenn auch die in der engeren Region Basel nach allen vorliegenden Untersuchungen erfolgende Zunahme des BSB nur zu einem kleinen Teil auf häusliche Abwasser zurückgeführt werden kann, macht sich die Einleitung von Fäkalien nach den Ergebnissen vom 29. Januar 1957/1. Februar 1957 immerhin sehr deutlich im bakteriologischen Befund bemerkbar. Die im Stau Birsfelden durchschnittlich vorhandenen 30 bis 40 Colikolonien per cm^3 waren unterhalb Basel in der Staustufe Kembs auf den rund zehnfachen Wert angewachsen.

Auf der keine erheblichen zusätzlichen Abwasserbelastungen aufweisenden Strecke von Neuenburg bis *Marlen* war am 13./14. März 1956 im Mittel der 24stündigen Periode auffallenderweise keine Verminderung des BSB_5 festzustellen. Zwischen Marlen und *Illingen* nahm dann der BSB_5 deutlich zu, nämlich im Mittel von 3,38 auf 4,31 mg/l. Diese Zunahme muß zur Hauptsache

auf die in der Region Straßburg erfolgenden zusätzlichen Belastungen und den an der Probefassungsstelle Illingen gegenüber dem Gesamtabfluß verstärkten Einfluß der Murg zurückgeführt werden.

8. Sauerstoff (Abb. 11 und 12[40])

Bei Konstanz zeigten sich im *Abfluß des Obersees* sehr erhebliche Schwankungen der Sauerstoff-Konzentration. Der Sättigungs-Index betrug im Maximum 100%, im Minimum dagegen nur 72%. Dies deutet darauf hin, daß das Wasser des Seerheins im Laufe der 24stündigen Periode zeitweise aus den der Probefassungsstelle naheliegenden verunreinigten Uferpartien stammte. Bei *Gottlieben* waren dann viel ausgeglichenere Sauerstoffverhältnisse vorhanden, indem der Sättigungs-Index nur noch zwischen 95 und 98% schwankte. Die in Konstanz vorhanden gewesenen Sauerstoff-Defizite wurden dabei im Seerhein sehr wahrscheinlich zur Hauptsache durch Sauerstoffaufnahme aus der Atmosphäre weitgehend gedeckt.

Der *Abfluß des Untersees* bei Stein a. Rh. zeigte tagsüber eine leichte Übersättigung mit Sauerstoff, nachts dagegen zeitweise ein kleines Defizit. Die hier angedeuteten photosynthetischen Prozesse verursachen im Sommer oft noch wesentlich höhere Übersättigungen, die Ausdruck der Eutrophierung des Untersees sind. Indessen treten im Jahresablauf auch geringere Sauerstoff-Konzentrationen als am 13./14. März 1956 auf, da im Herbst infolge der Vollzirkulation des eutrophen Sees sauerstoffarmes Wasser aus tieferen Schichten an die Oberfläche und mit den sauerstoffreichen Oberflächenschichten vermischt zum Abfluß gelangt.

Von *Stein a. Rh. bis Schaffhausen* war der Sauerstoffhaushalt des Rheins am 13./14. März 1956 durch die Assimilationstätigkeit der chlorophyllhaltigen Pflanzen beeinflußt. Diese kompensierte tagsüber den Sauerstoffverbrauch der gleichzeitig ablaufenden Atmungsvorgänge und vermochte darüber hinaus mit bis zu 109% ansteigenden Sättigungsindices eine Übersättigung zu erzeugen. Während der Nacht trat dagegen ausschließlich die respiratorische Tätigkeit der Organismen in Erscheinung, so daß es zu einem Sauerstoffdefizit kam. Infolge der gesteigerten Assimilations- und Atmungsprozesse nahm die tägliche Amplitude der Sauerstoff-Konzentration zwischen Stein und Schaffhausen von 0,5 auf 1,4 mg/l zu. Gesamthaft überwog jedoch der Einfluß assimilatorischer Vorgänge, was einen geringen Anstieg der mittleren Sauerstoff-Konzentration von 12,98 auf 13,27 mg/l zur Folge hatte.

Bei der Beurteilung der von *Schaffhausen bis Dachsen* erfolgten Zunahme der Sauerstoff-Konzentration von durchschnittlich 13,27 auf 15,03 mg/l könnte man zunächst geneigt sein, an eine Erhöhung infolge der auf den Stromschnellen und am Rheinfall erfolgenden Belüftung zu denken. Die Versprühung eines Teils der schäumend und tosend über den Fall stürzenden Wassermassen macht ja diese Belüftung sehr augenfällig. Durch den bei der reinen Belüftung stattfindenden Gasaustausch zwischen Wasser und Atmosphäre kann jedoch Sauerstoff nur so lange aufgenommen werden, als die Sättigungs-Konzentration noch nicht erreicht ist, während bei Übersättigung im Gegenteil eine Abgabe von Sauerstoff an die Atmosphäre erfolgen muß. Effektiv lag die Sauerstoff-Konzentration schon bei Flurlingen, dann aber besonders bei Dachsen während des ganzen Tages erheblich über der Sättigungs-Konzentration.

Die tagsüber zwischen Schaffhausen und *Flurlingen* festgestellte Zunahme der Sauerstoff-Konzentration läßt sich als eine Folge von photosynthetischen Prozessen erklären. Während der Nacht war die Sauerstoff-Konzentration bei Flurlingen — abgesehen von einer abnormalen Spitze um 2 Uhr — ähnlich wie bei Schaffhausen niedriger als während des Tages. Doch war zwischen den beiden Stellen auch noch während der Nachtstunden eine den Sättigungswert etwas überschreitende Erhöhung der Sauerstoff-Konzentration zu verzeichnen. Die aus den nächtlichen Proben errechneten Übersättigungen können erst nach Durchführung ergänzender Untersuchungen sicher gedeutet werden.

Bei *Dachsen* ist der Einfluß photosynthetischer Prozesse noch daran zu erkennen, daß der Sauerstoff-Sättigungsindex tagsüber zumeist höher liegt als nachts, während die absolute Sauerstoff-Konzentration hier keine sehr ausgeprägte tageszeitliche Periodizität aufweist. Obwohl der felsige Grund oberhalb des Falls und am Fall selbst von einer reichen Moos- und Algenvegetation bedeckt ist und durch die unterhalb des Schaffhauser Falls im Rheinfalbecken vorhandene Kreisströmung zusätzliche Abflußverzögerungen entstehen können, sind die auch nachts erheblich über dem Sättigungswert liegenden Sauerstoff-Konzentrationen schwerlich als Folge einer photosynthetischen Produktion zu erklären.

Am *Rheinfall* muß somit noch ein anderes Phänomen wirksam sein. Wie die Lotungen von Dr. P. Haberbosch gezeigt haben, ist der Fels unmittelbar am Fuße des Wasserfalls bis in eine 13 m unter den Wasserspiegel des Beckens reichende Tiefe fast senkrecht abgebrochen. Aus der Gestalt des Beckens geht hervor, daß die über den Fall stürzenden Wassermassen zunächst bis in diese Tiefe hinuntergedrückt werden, um dann, sich radial ausbreitend, gegen die vom Fall abgewendeten Ränder des Beckens aufzusteigen. Das vom Fall in die Beckentiefe schießende Wasser reißt auch Luft mit. In der Beckentiefe stehen diese Luftblasen unter einem Überdruck von mehr als einer Atmosphäre. Hier ist also der seltene, in Seen und normalerweise auch in Fließgewässern nicht auftretende Fall verwirklicht, bei dem die Aufnahme atmosphärischer Gase nicht allein an der Wasseroberfläche und unter den dort herrschenden Druckbedingungen, sondern auch in der Tiefe unter erhöhtem Druck erfolgen kann. Der Sauerstoff-Partialdruck der gasförmigen Phase ist dabei gegenüber dem Sauerstoff-Partialdruck der normalen Atmosphäre erhöht, und somit ist die Voraussetzung für eine über den Sättigungswert hinausgehende echte Lösung von Sauerstoff gegeben. Bei dem in der Hydrologie verwendeten Sättigungswert handet es sich bekanntlich nicht um die «wahre», unüberschreitbare Sättigungs-Konzentration, sondern definitionsgemäß «um diejenige Sauerstoff-Konzentration, die sich bei der dem Wasser eigenen Temperatur unter den an der Oberfläche des Gewässers herrschenden natürlichen Druckbedingungen im Gleichgewicht mit der Atmosphäre befindet»[41]. Diese

[40] Auf den Abbildungen 11 und 12 betreffen die ausgezogenen Linien die aktuelle Sauerstoff-Konzentration und die gestrichelten Linien die Sättigungs-Konzentration.

[41] H. Schmaßmann, Schweiz. Z. f. Hydrl. 11 (1949).

zunächst rein theoretischen Überlegungen werden durch die Ergebnisse von im *Rheinfallbecken* ausgeführten speziellen Untersuchungen (Labor Dr. Schmaßmann) gestützt. Oberhalb des Rheinfalls hatte das Wasser nämlich am betreffenden Untersuchungstag einen Sättigungsindex von 113—114%. Dieser fiel direkt am Fuß des Zürcher Falls, also in der Zone stärkster Versprühung, auf 109%, wie dies bei intensiver Belüftung infolge der Abgabe von Sauerstoff aus dem übersättigten Wasser an die Atmosphäre theoretisch zu erwarten ist. Im Gegensatz dazu stieg der Sättigungsindex in den beim Schloß Wörth und beim Steg Dachsen-Nohl erhobenen Proben, welche das aus der Beckentiefe aufsteigende Wasser enthalten, auf 120—125 % an.

Von *Dachsen bis Koblenz* nahm die Sauerstoff-Konzentration am 13./14. März 1956 fast kontinuierlich im Mittel von 15,03 auf 13,80 mg/l ab. Die Abnahme muß teilweise auf den Sauerstoffverbrauch bei den oxydativen Prozessen, teilweise auf die Abgabe von Sauerstoff aus dem übersättigten Wasser an die Atmosphäre zurückgeführt werden. Diese Vorgänge verursachten auch auf den durch Assimilationsvorgänge beeinflußten Teilstrecken eine Abnahme der mittleren Sauerstoffkonzentration. Dank der bei Dachsen vorhandenen starken Sauerstoff-Übersättigung kam es jedoch am 13./14. März 1956 auf der ganzen Strecke bis zur Aaremündung während allen Tageszeiten trotz dissimilatorischer Prozesse zu keinem Sauerstoffdefizit. Soweit aus den Resultaten der tagsüber ausgeführten Untersuchungen von Waser, Blöchliger und Thomas von 1938/41 und der Staatlichen Lebensmitteluntersuchungsanstalt Karlsruhe von 1948/54[42] geschlossen werden kann, ist auf dieser Strecke auch zu anderen Jahreszeiten kein Sauerstoffdefizit vorhanden.

Eine auf photosynthetische Prozesse zurückzuführende Periodizität der Sauerstoff-Konzentration war bei *Ellikon* und bei Rüdlingen zu erkennen. Diese assimilatorische Sauerstoffproduktion steht mit der bei Rheinau zu machenden Beobachtung in Einklang, daß das Strombett stellenweise einen sehr starken Algen- und Moosbewuchs aufweist[43]. Die Stelle *Eglisau-Oberwasser* zeigte dann ein nächtliches Sauerstoff-Maximum, während tagsüber die niedersten Werte auftraten. Das Sauerstoff-Maximum wurde hier durch die auf weiter stromaufwärts gelegenen Strecken erfolgte stärkere Sauerstoffproduktion verursacht. Abgesehen von einer bei Eglisau-Unterwasser aus der Reihe fallenden Spitze zeigten auch die Stellen *Eglisau-Unterwasser* und *Kaiserstuhl* einen ähnlichen Gang der Sauerstoff-Konzentration wie Eglisau-Oberwasser. Das Maximum trat bei Kaiserstuhl um 2 Uhr früh oder 10 Stunden später als bei Rüdlingen auf, was genau der geschätzten Fließzeit zwischen den beiden Stellen entspricht. Die zwischen Rheinau und Rüdlingen während des Tages beobachtete Erhöhung des Sauerstoffgehaltes wurde demnach mit der Wassermasse bis Kaiserstuhl verschoben. Bei *Koblenz* trat dann wieder ein Tagesmaximum der Sauerstoff-Konzentration in Erscheinung, das auf eine unterhalb der Staustufe Reckingen stattfindende assimilatorische Produktion hinweist. Daneben machte sich jedoch ab 5 Uhr auch das von der Strecke Rheinau–Rüdlingen verschobene Sauerstoff-Maximum noch leicht geltend.

Während der Rhein bei Koblenz noch einen Sauerstoff-Sättigungsindex von rund 106% aufwies, brachte die *Aare* ein Wasser, das nur einen mittleren Index von rund 90% besaß. Bei diesem sauerstoffuntersättigten Gewässer kann jedoch die photosynthetische Sauerstoff-Produktion noch in einem Tagesgang der Sauerstoff-Konzentration erkannt werden.

Die mittlere Sauerstoff-Konzentration der Rhein-Aarewasser-Mischung läßt sich zu 12,5 mg/l und der mittlere Sättigungsindex zu 96,9% berechnen. Bis *Laufenburg* nahmen die Konzentration im Mittel auf 12,93 mg/l und der Sättigungsindex auf 100,7% zu. Durch photosynthetische Produktion und auch durch Sauerstoffaufnahme aus der Luft fand somit eine leichte Zunahme der Sauerstoff-Konzentration statt. Die zwar in ihrer Amplitude schwache, aber doch noch gut erkennbare tägliche Periodizität der Sauerstoff-Konzentration könnte bei Laufenburg bereits durch eine Verschiebung der Wassermassen aus stromaufwärts gelegenen Stromstrecken bedingt sein. Eine solche zeitliche Verschiebung sauerstoffübersättigter Wassermassen ließ sich noch bis *Ryburg* beobachten, wo die maximalen Werte im Laufe der Nacht auftraten. Im übrigen zeigte die Konzentration hier einen sehr ausgeglichenen Gang, was namentlich auch in *Augst-Wyhlen* der Fall war. Zwischen Laufenburg und Augst-Wyhlen vermochte die Stauerstoffaufnahme aus der Atmosphäre zusammen mit der assimilatorischen Sauerstoff-Produktion den bei Abbauprozessen in dieser Stromstrecke verbrauchten Sauerstoff zu kompensieren, so daß der Sättigungsindex bei Ryburg und Augst-Wyhlen dauernd zwischen 99 und 103%, im Mittel bei etwa 101% lag.

Bei *Schweizerhalle* und beim *Auhafen* zeigten sich generell schwache Übersättigungen während des Tages und schwache Defizite während der Nacht. Eine gewisse photosynthetische Produktion war somit in diesem oberen Teil der Staustufe Birsfelden zumindest angedeutet. Daneben traten besonders bei Auhafen II während der Nacht Erniedrigungen der Sauerstoff-Konzentration auf, die zweifellos auf die lokalen Abwassereinflüsse zurückzuführen sind.

Ausgeprägte Sauerstoff-Maxima mit Indices bis zu 117% waren tagsüber bei *Birsfelden* vorhanden. Sie hielten sich streng an die Zeit der größten Strahlungsintensität zwischen 11 und 17 Uhr. Dies zeigt, daß in der Staustufe Birsfelden eine intensive photosynthetische Produktion stattfand. Die aus der Abnahme des BSB_5 festgestellten Atmungsprozesse führten dann in der Nacht zu einem wesentlich stärkeren Sauerstoffschwund, als dies bei Augst-Wyhlen der Fall war, so daß der Sättigungsindex bis auf 89% fiel. Sowohl Sauerstoff-Maximum als auch Sauerstoff-Minimum weisen somit auf eine erhebliche biologische Aktivität im unteren Teil der Staustufe Birsfelden hin.

Eine deutliche Veränderung der täglichen Sauerstoff-Periodizität zwischen Augst und Birsfelden, wie sie aus den Untersuchungen vom 13./14. März 1956 hervorgeht, war bei früheren 24stündigen Untersuchungen nicht festgestellt worden. So lagen die täglichen Amplituden der Sauerstoff-Konzentration an den drei Stellen von Augst-Wyhlen am 22./23. September 1953 zwischen 0,3 und 0,7 mg/l und am 19./20. Februar 1954

[42] G. Ebeling, Jahrbuch vom Wasser 21 (1954).

[43] Nach Auffassung von H. E. Klotter sind die eutrophierend wirkenden Abwasser aus dem Raume Schaffhausen wohl in erster Linie als Ursache für die hier auftretenden Massenentfaltungen von Kieselalgen anzusehen.

zwischen 0,3 und 0,5 mg/l, also in der gleichen Größenordnung wie am 13./14. März 1956. Mit Ausnahme einer Stelle, die dem vor dem Stau flachen linken Ufer nahe war und bei der deshalb biologische Prozesse etwas verstärkt waren (Amplitude = 1,0 mg/l), lagen die Schwankungen an den genannten Tagen bei Birsfelden im selben Größenbereich wie bei Augst, während die Amplitude am 13./14. März 1956 zwischen Augst und Birsfelden von 0,3 auf 2,4 mg/l erhöht wurde. Im Sommer waren dann allerdings bei Augst und bei Birsfelden infolge der intensivierten Assimilationsprozesse auch früher größere Sauerstoff-Amplituden vorhanden gewesen, z. B. am 4./5. August 1954 eine solche von 2,0 mg/l.

Daß die am 13./14. März 1956 beobachtete Sauerstoff-Periodizität jahreszeitlich bedingt war, geht aus den bei ähnlicher Wassertemperatur, aber noch tief im Winter, d. h. bei geringerer Strahlungsintensität ausgeführten Untersuchungen vom 29./30. Januar 1957 hervor. Bei Wyhlen ergab sich wie im März 1956 eine Schwankung der Sauerstoff-Konzentration von 0,3 mg/l, ohne daß eine deutliche Tagesperiode zu erkennen gewesen wäre. Wegen der schon oberhalb Wyhlen stark verminderten assimilatorischen Produktion war jedoch im Gegensatz zum März 1956 dauernd ein Defizit vorhanden, das im Mittel 8% der Sättigungskonzentration entsprach. Da der Sauerstoffverbrauch auch in der Staustufe Birsfelden die assimilatorische Sauerstoff-Produktion übertraf, sank die Sauerstoff-Konzentration bei Birsfelden durchschnittlich um etwa 0,2 mg/l. Die im Vergleich zum März 1956 verminderte assimilatorische Sauerstoff-Produktion geht ferner daraus hervor, daß im Januar 1957 bei Birsfelden eine Tagesperiodizität der Sauerstoff-Konzentration fehlte.

Was die absolute Größe der Sauerstoff-Konzentration betrifft, haben schon die 1923 von Riggenbach bei Augst und dann die 1953/54, also vor dem Stau, bei Birsfelden ausgeführten Untersuchungen gezeigt, daß diese zur Hauptsache durch die Veränderungen der Sauerstoff-Sättigungskonzentration und damit durch die jährliche Temperatur-Periodizität bestimmt wird. Die höchsten absoluten Werte kommen deshalb im Winter und die niedersten absoluten Werte im Sommer vor. Die im Winter meist vorhandenen geringen Defizite und die vom Frühjahr bis zum Herbst mindestens tagsüber auftretenden Übersättigungen vermögen an der Tendenz dieser physikalisch bedingten Periodizität der Sauerstoff-Konzentration nur wenig zu ändern. So hat auch die Auswertung aller von oberhalb Basel bis unterhalb Basel von der baselstädtischen Rheinsanierungskommission ausgeführten Untersuchungen bei Temperaturen zwischen 21° und 24° eine mittlere Sauerstoff-Konzentration von 8,7 mg/l und bei Temperaturen zwischen 0° und 3° eine solche von 12,8 mg/l ergeben. Bei der Beurteilung der im März 1956 festgestellten sehr hohen absoluten Sauerstoff-Konzentrationen muß man sich deshalb darüber Rechenschaft ablegen, daß diese jahreszeitlich bedingt waren und daß im Sommer selbst bei gesteigerter assimilatorischer Tätigkeit wesentlich niederere Werte auftreten.

Während am 13./14. März 1956 bei Birsfelden tagsüber verhältnismäßig große Sauerstoff-Übersättigungen gefunden wurden, traten bei *Neudorf* gerade zu dieser Tageszeit deutliche Sauerstoff-Defizite auf. Sie weisen auf Einflüsse stoßweiser Abwassereinleitungen hin. Die dann zu Beginn der Nacht nachgewiesene Sauerstoff-Übersättigung ließe sich bis etwa 20 Uhr noch durch die Verschiebung des Sauerstoff-Maximums des Birsfelder Staus erklären. Dagegen muß die nach 20 Uhr bis 5 Uhr anhaltende Übersättigung auf andere, vorläufig noch unbekannte Ursachen zurückgeführt werden.

In *Neuenburg* war dann bei geringen Schwankungen im allgemeinen ein kleines Sauerstoff-Defizit vorhanden. Einflüsse photosynthetischer Prozesse machten sich hier kaum geltend. Bei *Marlen* trat von 14 Uhr an eine geringe Sauerstoff-Übersättigung auf, die mit gewissen Unterbrüchen und jedenfalls als Folge der Verschiebung von Wassermassen aus oberliegenden Strecken bis 2 Uhr früh anhielt. Infolge der photosynthetischen Sauerstoff-Produktion, z. T. aber jedenfalls auch infolge der Belüftung des bei Neuenburg noch vorwiegend untersättigten Wassers nahm die Sauerstoff-Konzentration zwischen Neuenburg und Marlen sogar etwas zu. Bei *Illingen* war dann fast dauernd ein Defizit vorhanden. Auf der Strecke Marlen–Illingen wurden demnach die photosynthetische Sauerstoff-Produktion und die Sauerstoff-Aufnahme aus der Atmosphäre dauernd vom Sauerstoff-Verbrauch übertroffen. Doch ähnlich wie bei der Aare vermochte die photosynthetische Sauerstoff-Produktion in Illingen tagsüber noch deutlich in Erscheinung zu treten.

Aus den verschiedenen den Sauerstoffhaushalt beeinflussenden Vorgängen resultierte auf der Strecke Neuenburg–Illingen eine Abnahme der Sauerstoff-Konzentration um 0,31 mg/l. Normalerweise ist auf dieser Strecke eine größere Abnahme zu verzeichnen. So fand Ebeling im Mittel von 10 Einzelproben aus den Jahren 1948/52 zwischen Neuenburg und Iffezheim (12 km oberhalb Illingen) eine Abnahme um 0,89 mg/l und im Durchschnitt einer Tagesuntersuchung im Juni 1954 zwischen dem Kembser Stau (oberhalb Abzweigung des Grand Canal) und Illingen eine solche um 0,75 mg/l. Aus den Untersuchungen der Internationalen Kommission ergibt sich zwischen Kembs und Lauterbourg im Jahresmittel sogar eine Abnahme um 1,49 mg/l. Die Verhältnisse waren demnach am 13./14. März 1956 in bezug auf den auf der Strecke Neuenburg–Illingen stattfindenden Sauerstoffschwund noch verhältnismäßig günstig.

D. Abschließende Beurteilung des Stoffhaushaltes

1. Die gelösten mineralischen Bestandteile

a) Chloride

Wie schon im Bericht über die Aare-Untersuchung betont wurde, stellen die Chloride bei der Beurteilung des Stoffhaushaltes den einfachsten Fall dar. Da die Chlorid-Gehalte weder durch die sich innerhalb des Wassers vollziehenden Stoffwechselvorgänge noch durch Austauschprozesse merklich beeinflußt werden, wird die Bilanz der Chloride praktisch ausschließlich durch die mit Nebenflüssen, Abwassereinleitungen und Grundwassern erfolgende Zufuhr bestimmt. Theoretisch ist deshalb stromabwärts immer eine Zunahme des Chlorid-Anfalls zu erwarten.

Natürlicherweise enthielte das Wasser des Hochrheins nur sehr geringe Konzentrationen an Chloriden. Den häuslichen Abwassern kommt bei der im Rhein stattfindenden Erhöhung des Chlorid-Anfalls ebenfalls

nur eine untergeordnete Bedeutung zu. Bis unterhalb Basel bilden die industriellen Abwasser die wichtigste Ursache der Erhöhung der Chlorid-Gehalte. Die dadurch im Rhein hervorgerufenen Chlorid-Konzentrationen können indessen für das Leben im Strom und die verschiedenen Wassernutzungen als bedeutungslos angesehen werden. Auch ist ihr Beitrag an die im Mittel- und Unterlauf des Stromes auftretenden Chlorid-Konzentrationen gering. Dagegen wurde die Chlorid-Konzentration im Rhein durch die unterhalb Neuenburg erfolgenden Abwassereinleitungen aus der Kali-Industrie am Untersuchungstag auf das rund Zehnfache erhöht.

b) Alkalität

Im Hochrhein ist der Gehalt des Wassers an gelösten mineralischen Bestandteilen vorwiegend auf die im Einzugsgebiet natürlicherweise stattfindende Lösung von Kalk zurückzuführen. Die Alkalität ist das Maß der auf diese Weise in Lösung gegangenen Hydrokarbonate. Sie nimmt von Ellikon bis Basel infolge der härteren, d. h. kalkreicheren Zubringer des Molasselandes und des Juragebirges zu, unterhalb Basel dagegen infolge der weicheren, d. h. kalkärmeren Zubringer aus Schwarzwald und Vogesen ab.

Eine Abnahme der Alkalität kann auch als Folge der bei der Kohlensäure-Assimilation grüner Pflanzen erfolgenden biogenen Entkalkung stattfinden. Dieser Einfluß tritt vor allem in den Seeabflüssen als Jahresrhythmus in Erscheinung, indem während des Sommers zumeist niederere, im Winter dagegen zumeist höhere Werte der Alkalität auftreten. Im Längsprofil vom März 1956 war dagegen eine merkbare Veränderung infolge der Kohlensäure-Assimilation nicht zu erkennen.

Die Einleitung von sauren bzw. alkalischen Abwässern kann ebenfalls zu Erniedrigungen bzw. Erhöhungen der Alkalität führen. Merkliche Einflüsse solcher Abwässer, deren Reaktion von derjenigen des Rheinwassers abweicht, waren im März 1956 zwischen Koblenz und Laufenburg sowie in der weiteren Region von Basel zu erkennen. Der Einfluß dieser Einleitungen auf das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht des Rheinwassers wird durch spezielle Untersuchungen noch genauer abzuklären sein, gestützt auf welche dann die notwendigen Sanierungsmaßnahmen getroffen werden müssen.

c) Anorganische Stickstoffverbindungen

Die im März 1956 zwischen Konstanz und Illingen festgestellten Konzentrationen an anorganischen Stickstoffverbindungen können als solche vom Gesichtspunkt der Trinkwasserversorgung wie auch von demjenigen der Fischerei als harmlos angesehen werden. Wie weit ihnen als Nährstoffe für die im Rhein lebenden Pflanzen Beachtung zu schenken ist, wird bei der Besprechung der Sauerstoffverhältnisse zu diskutieren sein. Da der Gehalt des Flußwassers an anorganischen Stickstoffverbindungen eng mit den zur Produktion oder zum Abbau organischer Stoffe führenden biologischen Vorgängen zusammenhängt, vermag die Kenntnis der Konzentration und deren Veränderungen vor allem bei der Beurteilung des Stoffhaushaltes wertvolle Hinweise zu geben.

Ammonium-Verbindungen gelangen u. a. mit Abwässern in den Rhein, können aber beim Abbau organischer Schmutzstoffe auch im Strom selbst entstehen. Durch Nitrifikationsprozesse werden sie über Nitrite in Nitrate übergeführt. Eine merkliche Zunahme der Ammonium- und der Nitrit-Konzentration war unterhalb Konstanz als ein Hinweis auf die Abwasser der Region Konstanz und ferner im Bereich der Staustufe Eglisau festgestellt worden. Letztere weist auf Einflüsse der vorbelasteten Thur und Töß und auf Zersetzungsvorgänge in den mit organischen Stoffen durchsetzten Sedimenten des Stauraums hin. Aus den gegenüber dem Hochrhein in der Aare erhöhten Ammonium- und Nitrit-Konzentrationen geht schließlich die stärkere Belastung dieses Flusses mit Abwasserstoffen hervor. Vom Untersee bis zum Beginn der Staustufe Eglisau und dann wieder auf der ganzen Stromstrecke von der Aare-Mündung bis Illingen zeigte die Ammonium-Konzentration eine abnehmende Tendenz. Der Einfluß von Abwassereinleitungen wurde somit auf diesen Strecken durch den Einfluß von Nitrifikationsprozessen übertroffen, deren Zwischenprodukt Nitrit in wechselndem Ausmaße in Erscheinung trat.

Die schon in den Seeabflüssen enthaltenen *Nitrate* können zum Teil natürlichen Ursprungs sein. Auf die Umwandlung von organisch bzw. als Ammonium gebundenem Stickstoff, d. h. auf Nitrifikationsprozesse, und z. T. wahrscheinlich auch auf eine Beeinflussung durch die Nebenflüsse ist die vom Beginn der Staustufe Eglisau bis Laufenburg erfolgte geringe Zunahme der Nitrat-Konzentration zurückzuführen. Eine Tendenz zur Erniedrigung der Nitrat-Konzentration zeigte sich von Rheinau bis zum Beginn der Staustufe Eglisau und dann wieder von Laufenburg an. Im Hochrhein dürfte der Stickstoff-Konsum von Pflanzen an der Verminderung der Nitrate zumindest beteiligt sein.

2. Die organischen Stoffe

a) Herkunft der organischen Stoffe

Für die direkte Bestimmung der im Wasser enthaltenen organischen Stoffe stehen uns heute noch keine geeigneten Verfahren zur Verfügung. Wir müssen uns deshalb mit indirekten Methoden begnügen, die uns lediglich ein relatives Maß für die Belastung eines Wassers mit organischen Stoffen geben. Unter diesen indirekten Methoden sind bei der Flußwasser-Überwachung vor allem der Kaliumpermanganat-Verbrauch (Oxydierbarkeit) und der biochemische Sauerstoffbedarf (BSB_5) von Bedeutung.

Ein Teil des im Wasser von Bodensee und Rhein vorhandenen Gehaltes an organischen Stoffen ist auf natürliche Ursachen, wie z. B. die Abschwemmung von Humus, zurückzuführen. Dazu kommt die im Bodensee und im Rhein stattfindende Produktion lebender organischer Substanz. Da im oligotrophen, d. h. nährstoffarmen Bodensee-Obersee eine solche Produktion nur in verhältnismäßig geringem Maße stattfindet, gelangen aus ihm im allgemeinen nur kleine Mengen organischer Stoffe zum Abfluß. Im eutrophen, d. h. nährstoffreichen Untersee erfolgt dagegen ein vermehrtes Wachstum von Plankton, worauf die am Beginn des Hochrheins gegenüber dem Abfluß des Obersees erhöhten Werte des Permanganatverbrauchs und des BSB_5 im wesentlichen zurückgeführt werden müssen. Die im Gewässer stattfindende Entwicklung von Organismen hatte im März 1956 auf der Hochrheinstrecke vom Untersee bis Schaffhausen ebenfalls eine meßbare Zunahme des BSB_5 zur Folge. Auch auf den stromabwärts folgenden Rheinstrecken ist ein Andauern der autochthonen Produktion von organischer Substanz anzunehmen. Doch trat diese im März 1956 wegen

des Vorherrschens anderer, gleichsinnig oder entgegengesetzt verlaufender Stoffwechselprozesse nicht mehr deutlich in Erscheinung. Der in Form lebender Organismen vorhandenen Substanz kommt nicht *die* Bedeutung zu, wie dies aus den durch sie verursachten BSB-Werten hervorzugehen scheint. Im Gegensatz zu den Abwasserschmutzstoffen wird diese Substanz vorwiegend nur unter den Bedingungen des BSB-Versuchs abgebaut, während sie im Rhein weitgehend in lebendem Zustand erhalten bleibt und sogar zur Verbesserung der Sauerstoff-Bilanz beitragen kann.

Eine Vermehrung der organischen Stoffe erfährt der Rhein vor allem durch die Einleitung von Abwässern und durch die Einmündung verunreinigter Nebenflüsse. Eine solche, auf die Abwasser der Region Konstanz zurückzuführende zusätzliche Belastung war z. B. im Seerhein als Erhöhung des Permanganatverbrauchs und des BSB_5 zu verzeichnen gewesen. Einflüsse der Abwässer der Region Schaffhausen sind im allgemeinen schon von Auge wahrnehmbar. Die Auswirkung der von Töß und Glatt zugeführten organischen Schmutzstoffe ist in den Untersuchungsergebnissen vom März 1956 nur schwach zu erkennen. Dagegen geht aus allen Untersuchungsergebnissen deutlich hervor, daß die Aare wesentlich stärker mit organischen Schmutzstoffen belastet ist als der Rhein oberhalb der Aare-Mündung. Da die Aare zudem den größeren Abfluß besitzt, wird der Stoffhaushalt des Rheins unterhalb der Aare-Mündung überwiegend durch die Beschaffenheit des Aare-Wassers ungünstig beeinflußt. Unterhalb der Aare-Mündung ist dagegen die zusätzliche Verunreinigung im Vergleich zur Schmutzstoffbelastung, welche in dem mit der Aare vereinigten Rhein schon vorhanden ist, bis zum Kraftwerk Augst-Wyhlen verhältnismäßig gering, so daß ihr Einfluß im chemischen Befund vom März 1956 nicht zu erkennen ist. Das Vorhandensein beträchtlicher Selbstreinigungsvorgänge erlaubt schließlich auch nicht, aus den Untersuchungsergebnissen vom März 1956 Schlüsse auf die zusätzliche Belastung mit organischen Schmutzstoffen zu ziehen, welche durch die beidseitigen Abwassereinleitungen in der Staustufe Birsfelden erfolgt. Dagegen lassen die Untersuchungsergebnisse in Übereinstimmung mit früheren Befunden darauf schließen, daß dem Rhein mit den Abwässern der engeren Region Basel erhebliche Mengen an organischen Schmutzstoffen zugeführt werden. Eine weitere ins Gewicht fallende Zufuhr findet zwischen Marlen und Illingen statt und muß auf die zusätzliche Belastung durch die Abwasser der Region Straßburg und durch die beidseitigen Nebenflüsse zurückgeführt werden.

Außer den Abwassereinleitungen und der autochthonen Produktion können auch die Abschwemmung und die Auflösung von Schlammablagerungen einen Einfluß auf den Gehalt des Rheinwassers an organischen Stoffen ausüben.

b) Abbau der organischen Stoffe

Die im Rhein enthaltenen organischen Stoffe werden durch biochemische Prozesse abgebaut. Es muß angenommen werden, daß solche Vorgänge auch im März 1956 auf der ganzen untersuchten Rheinstrecke stattfanden. Doch werden sie durch die Zufuhr von Schmutzstoffen und die im Gewässer selbst erfolgende, d. h. autochthone Produktion organischer Substanz überlagert, so daß sie dann, wenn die letzteren Einflüsse überwiegen, nicht mehr eindeutig erkannt werden können.

So übertraf die autochthone Produktion und die Schmutzstoffzufuhr vom Untersee bis zum Rheinfall den Abbau der organischen Stoffe. Auf der ungestauten Rheinstrecke vom Rheinfall bis Ellikon kam es dagegen zu einer Abnahme des BSB_5 und der mit Kaliumpermanganat oxydierbaren Stoffe, so daß ab Ellikon sogar die in den Abflüssen des Obersees und des Untersees festgestellten Mittelwerte des Permanganatverbrauchs unterschritten wurden. Dies weist darauf hin, daß die Selbstreinigungsvorgänge auf dieser Strecke ganz allgemein den zusätzlichen Stoffanfall und die autochthone Produktion überwogen.

Im Gebiet der Staustufe Eglisau ist zu erwarten, daß sich neben biochemischen Abbauprozessen erstmals am Hochrhein auch Sedimentationsvorgänge im Sinne einer Verminderung der organischen Substanz auswirken. Trotzdem kam es auf dieser Strecke selbst in den oberflächlichen Wasserschichten bis zum Kraftwerk Eglisau zu keiner Abnahme des BSB_5 und der Oxydierbarkeit. Dies läßt darauf schließen, daß sich auch in den höheren Wasserschichten des Stauraumes die Belastungen durch die linksseitigen Zuflüsse und die am Grund stattfindenden Zersetzungsprozesse geltend machen.

Nach der im Gebiet der Staustufe Eglisau stattgefundenen Belastung des Rheins mit organischen Stoffen erfolgte zwischen Kaiserstuhl und Koblenz eine deutliche Abnahme des BSB. Eine solche typische Selbstreinigungsstrecke fand sich auch zwischen Laufenburg und Augst-Wyhlen.

Im Gebiet der Staustufe Birsfelden stellte sich sodann trotz der erheblichen zusätzlichen Abwasserbelastungen eine ungewöhnlich starke Verminderung des BSB_5 dar, an der neben Abbauprozessen sicher in erheblichem Maße auch Sedimentationsprozesse beteiligt waren. Die Untersuchungsergebnisse von Ende Januar 1957 weisen darauf hin, daß die im März 1956 am Ende der Staustufe Birsfelden festgestellten sehr günstigen Belastungswerte entweder nicht zu allen Jahreszeiten oder heute überhaupt nicht mehr vorhanden sind. Möglicherweise ist der im März 1956 beobachtete Unterschied gegenüber den übrigen Staustufen darauf zurückzuführen, daß in jenen die Sedimentation durch die Abschwemmung und Auflösung von Schlammablagerungen ungefähr kompensiert wurde, während im jungen Stauraum von Birsfelden die Absetzvorgänge noch überwogen.

In welchem Ausmaße die in der Region Basel erfolgende zusätzliche Belastung mit organischen Schmutzstoffen im Kembser Stau und im Grand Canal sowie auf der anschließenden Rheinstrecke bis Neuenburg abgebaut wurde, läßt sich den verfügbaren Unterlagen nicht entnehmen. Auch zur Abklärung des Stoffhaushaltes in der gesamten Oberrheinstrecke bedarf es weiterer eingehender Untersuchungen.

3. Der Sauerstoffhaushalt

a) Photosynthetische Sauerstoff-Produktion

Bei der Kohlensäure-Assimilation der autotrophen Pflanzen wird Sauerstoff produziert. Dieser durch die photosynthetischen Prozesse erzeugte Sauerstoff vermag in Gewässern, die stark mit autotrophen Mikro- oder Makrophyten besiedelt sind, tagsüber den bei der gleichzeitig ablaufenden Atmung erfolgenden Sauer-

stoff-Konsum mindestens zeitweise zu kompensieren und sogar zu Sauerstoff-Übersättigungen zu führen.

Der im Hochrhein zwischen dem Untersee und dem Rheinfall durch das aus dem Untersee abgeschwemmte Phytoplankton und die sessile Flora der Rheinsohle tagsüber produzierte Sauerstoff vermochte im März 1956 deutliche Sauerstoff-Übersättigungen zu erzeugen, während bei der nachts allein wirksamen Atmung teilweise Sauerstoff-Defizite auftraten. Insgesamt resultierte jedoch aus den beiden entgegengesetzt verlaufenden Prozessen eine Zunahme der Sauerstoff-Konzentration.

Zwischen dem Rheinfall und der Aare-Mündung war die photosynthetische Sauerstoff-Produktion besonders auf den ungestauten Stromstrecken Rheinau–Rüdlingen und oberhalb Koblenz deutlich wirksam. Eine Ausnahme bildet die Strecke zwischen Dachsen und Rheinau, wo wegen der starken Übersättigungen, welche durch den Rheinfall erfolgten, die zusätzlich durch Photosynthese entstandenen Sauerstoffmengen nicht erkannt werden konnten.

Eine auf der betreffenden Strecke selbst stattfindende photosynthetische Sauerstoff-Produktion war dann auf den beiden Staustufen Eglisau und Reckingen nicht mehr nachweisbar. Sie war auch auf der vorwiegend von Staustufen eingenommenen Strecke von der Aare-Mündung bis zum Kraftwerk Augst-Wyhlen nur in geringem Umfange zu beobachten. Der Unterschied zwischen den ungestauten und den gestauten Stromstrecken hängt bei tiefen Stauhaltungen jedenfalls zu einem wesentlichen Teil damit zusammen, daß die bis zur Gewässersohle gelangende Strahlungsenergie auf den flacheren ungestauten Stromstrecken größer ist, wodurch die hier lebenden Pflanzen eine wesentlich größere Aktivität entwickeln können und überhaupt eine erheblich stärkere Entwicklung der Bodenvegetation stattfinden kann.

Hinweise auf einen solchen Unterschied zwischen gestauten und ungestauten Stromstrecken geben auch die Ergebnisse der Aare-Untersuchung von 1952, indem sich die Assimilationsvorgänge im natürlichen Lauf oberhalb Solothurn und nach den verhältnismäßig kurzen Staustufen von Hohfuhren und Ruppoldingen noch deutlich in tagsüber vorhandenen Sauerstoffspitzen geltend machten, während sie nach den langen, aneinandergereihten Staustufen von Gösgen, Aarau, Rüchlig und Rupperswil nicht mehr in Erscheinung traten. Dagegen war ihr Vorhandensein am Ende der damals noch nicht oder erst teilweise gestauten Strecke vom Kraftwerk Rupperswil-Auenstein bis Lauffohr (Stelle Lauffohr-links) wieder zu erkennen. Doch auch nach der flachen Staustufe Klingnau wies der tägliche Sauerstoffgang auf eine Mitwirkung assimilatorischer Vorgänge hin, welche hier im März 1956 ebenfalls wirksam waren.

Auch bei der dargelegten und auf allen bisher betrachteten Stromstrecken gültigen Beziehung gilt jedoch das Wort «keine Regel ohne Ausnahme». Im Gegensatz zu allen stromaufwärts gelegenen Staustufen trat nämlich im untern, tiefen und im Verhältnis zur Gesamtwassermenge wenig durchlichteten Teil der Staustufe Birsfelden eine erhebliche photosynthetische Sauerstoff-Produktion in Erscheinung. Wegen der ebenfalls verstärkten und sich nachts in deutlichen Sauerstoff-Defiziten äußernden Atmungstätigkeit vermochte indessen diese Sauerstoff-Produktion hier im Mittel keine Erhöhung der Sauerstoff-Konzentration hervorzurufen, wie dies auf den ungestauten oder vorwiegend ungestauten Selbstreinigungsstrecken beobachtet worden war, nämlich zwischen Untersee und Rheinfall, zwischen Kaiserstuhl und Koblenz, zwischen Neuenburg und Marlen sowie 1952 zwischen Biberstein und Lauffohr. Die Untersuchungsergebnisse vom Januar 1957 zwingen ferner zum Schluß, daß die im März 1956 auf der Staustufe Birsfelden festgestellte Assimilationstätigkeit jahreszeitlich bedingt war.

Ähnlich wie auf den oberhalb der Staustufe Birsfelden gelegenen gestauten Stromstrecken machten sich dann bei der unterhalb des Kembser Staus und des Grand Canal gelegenen Stelle Neuenburg Einflüsse assimilatorischer Prozesse kaum geltend. Im Gegensatz zu jenen Stromstrecken hatte das Wasser jedoch vorwiegend Sauerstoff-Defizite. Das heißt, daß der Einfluß der Zufuhr von zersetzbarem Material in Abwässern einen erheblicheren Einfluß auf den Stoffhaushalt ausübte, als dies im Hochrhein oberhalb Basel der Fall war.

Nach dem längeren Lauf im ungestauten Strombett trat sodann im Oberrhein bei Marlen mit dem tagsüber meist leicht übersättigten und nach Mitternacht meist ein geringes Sauerstoff-Defizit aufweisenden Wasser nochmals eine von Assimilationsprozessen beeinflußte tägliche Sauerstoff-Periodizität auf. Bei Illingen wurde ebenfalls eine deutliche Sauerstoff-Periodizität festgestellt; eine assimilationsbedingte Übersättigung wurde aber hier nur ganz kurzfristig erreicht. Dies ist auf den wegen der größeren Schmutzstoffbelastung verstärkten Sauerstoffverbrauch durch die Organismenatmung zurückzuführen.

b) Sauerstoff-Verbrauch

Die von den Gewässerorganismen aufgenommenen oder produzierten organischen Stoffe werden zum Teil veratmet, was zu einem entsprechenden Sauerstoff-Verbrauch führt. Ohne die photosynthetische Sauerstoff-Produktion und ohne Stauerstoff-Aufnahme aus der Atmosphäre müßte deshalb im Rhein ein dem Ausmaß der Atmungsprozesse entsprechendes Sauerstoff-Defizit entstehen.

Im stark mit autotrophen Lebewesen besiedelten Fließgewässer tritt die Atmung der Organismen dann, wenn der Sauerstoff-Verbrauch nicht durch die Sauerstoff-Aufnahme aus der Atmosphäre kompensiert wird, in Form eines nächtlichen Sauerstoff-Defizits in Erscheinung. Dieses ist z. B. im täglichen Gang der Sauerstoff-Konzentration bei Dießenhofen, bei Schaffhausen, bei Laufenburg, bei Birsfelden und auch noch bei Marlen deutlich zu erkennen.

Wenn der Sauerstoff-Konsum so groß ist, daß er auch tagsüber nicht mehr durch die Summe der Sauerstoff-Produktion bei der Photosynthese und der Sauerstoff-Aufnahme aus der Atmosphäre ersetzt werden kann, tritt dauernd ein Sauerstoff-Defizit auf. Dieser Zustand konnte im März 1956 eindeutig nur in der Aare bei Koblenz festgestellt werden. Eine Annäherung an diese Verhältnisse war ferner im Rhein bei den Stellen Neuenburg und Illingen zu beobachten. An allen anderen unterhalb des Untersees gelegenen Stellen vermochte die photosynthetische Sauerstoff-Produktion, teils in Verbindung mit der Sauerstoff-Aufnahme aus der Atmosphäre, während des ganzen Tages oder während eines größeren Teils desselben den Sauerstoff-Konsum bei der Atmung zu kompensieren.

c) Sauerstoff-Austausch mit der Atmosphäre

Wenn weder die Kohlensäure-Assimilation noch die Atmung der Organismen auf den Sauerstoff-Haushalt eine Wirkung ausüben, neigt die Sauerstoff-Konzentration eines Gewässers dazu, sich auf den dem Gleichgewicht zwischen Wasser und Atmosphäre entsprechenden Sättigungswert einzustellen. Wie rasch diese Einstellung erfolgt, hängt vorwiegend von der Turbulenz des Gewässers ab. Durch einen Austausch mit der Atmosphäre können demnach sowohl Sauerstoff-Defizite als auch Sauerstoff-Überschüsse verschwinden.

Einen Sonderfall des Sauerstoff-Austausches stellt der Hochrhein beim Rheinfall dar. Hier findet infolge einzigartiger hydraulischer Verhältnisse eine außergewöhnliche, weit über den Sättigungswert hinausgehende Aufnahme von Sauerstoff aus der Atmosphäre statt. Die auf physikalische Ursachen zurückzuführende Sauerstoff-Zunahme am Rheinfall übertraf am 13./14. März 1956 an Bedeutung bei weitem die biogene Sauerstoff-Produktion. Ihr verdankt der Hochrhein seine bis zur Aare-Mündung anhaltende erhebliche Sauerstoff-Übersättigung, aber zur Hauptsache auch seine trotz der zusätzlichen Belastung nach der Aare-Mündung noch günstigen Sauerstoff-Verhältnisse.

Abgesehen von diesem Sonderfall spielt der Sauerstoffaustausch mit der Atmosphäre auf der untersuchten Rheinstrecke gegenüber den biochemischen Prozessen nur eine untergeordnete Rolle. So vermag er z. B. bei Dießenhofen und bei Laufenburg die infolge der Organismenatmung nachts entstehenden Sauerstoff-Defizite nicht zu kompensieren. Sogar in dem verhältnismäßig rasch strömenden Oberrhein reicht die Sauerstoff-Aufnahme bei Illingen nicht mehr aus, um den von Flora und Fauna verbrauchten Sauerstoff zu ersetzen.

Auch bei Sauerstoff-Überschüssen wirkt sich der Sauerstoff-Austausch mit der Atmosphäre nur langsam aus. So nahm die starke Sauerstoff-Übersättigung zwischen dem Rheinfall und Koblenz nur allmählich ab, wobei natürlich einerseits photosynthetische Prozesse teilweise zur Aufrechterhaltung der Sauerstoff-Übersättigung beitrugen, aber anderseits auch ein erheblicher Sauerstoff-Konsum stattgefunden haben mußte. Bei einem verhältnismäßig rasch sich vollziehenden Austausch mit der Atmosphäre wäre sodann undenkbar, daß sich assimilationsbedingte Sauerstoff-Übersättigungen über größere Fließstrecken stromabwärts verschieben können, wie dies z. B. zwischen Rüdlingen und Koblenz oder zwischen Laufenburg und Ryburg beobachtet werden konnte.

E. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

1. Die Ergebnisse der Rheinuntersuchung vom 13./14. März 1956, welche bei einem im langjährigen Mittel an rund 27 % aller Tage noch unterschrittenen Abfluß durchgeführt wurde, vermögen einen Überblick über den damaligen qualitativen Zustand des Stromes und dessen flußabwärts stattfindenden Veränderungen zu geben, soweit dies die angewendeten Untersuchungsmethoden zulassen. Für eine Beurteilung der zu treffenden Sanierungsmaßnahmen werden auf den einzelnen Teilstrecken noch detaillierte chemische und biologische Untersuchungen notwendig sein, wie sie am Rhein zum Teil bereits erfolgt sind und vergleichsweise herangezogen werden konnten.

2. Durch Nebenflüsse und direkte Abwassereinleitungen werden dem Rhein organische Schmutzstoffe zugeführt. Solche Belastungen ließen sich insbesondere nachweisen: in den Regionen Konstanz und Schaffhausen, im Gebiet zwischen Ellikon und Kaiserstuhl, durch die Aare, in der Region Basel und im Gebiet zwischen Marlen und Illingen. Ferner erfolgt durch die Kohlensäure-Assimilation der autotrophen Pflanzen im Rhein selbst eine Produktion organischer Stoffe, über deren Bedeutung auf Grund dieser Untersuchung allerdings kein abschließendes Urteil möglich ist. Schließlich muß an die Möglichkeit gedacht werden, daß die in Stauräumen abgelagerten Sedimente bei bestimmten hydraulischen Verhältnissen zu einer sekundären Verunreinigung des abfließenden Wassers führen.

3. Außer der organischen Verunreinigung erfährt der Rhein auch Belastungen durch anorganische Stoffe. Unter diesen verdienen die am Hochrhein mit Abwässern von Sodafabriken und vor allem die am Oberrhein mit den Abwässern der Kali-Industrie eingeleiteten Chloride Beachtung. Ferner wird bei der Sanierung des Rheins auf die eingeleiteten anorganischen Abwässer weiterer Industrien ein Augenmerk zu richten sein.

4. Auf denjenigen Strecken des Hochrheins, welche keine erheblichen Belastungen mit zugeführten oder im Gewässer selbst produzierten organischen Stoffen enthalten, ließen sich Selbstreinigungsvorgänge erkennen. Auf anderen Strecken werden sie durch die zusätzlichen Belastungen überlagert.

5. Dank der am Rheinfall durch abiogene Vorgänge und dank der durch die Kohlensäure-Assimilation der autotrophen Pflanzen erfolgenden Sauerstoff-Anreicherung waren die Sauerstoff-Konzentrationen am Untersuchungstag auf der ganzen untersuchten Stromstrecke gut.

6. In Anbetracht der schon heute streckenweise festzustellenden ungünstigen Beeinflussungen des Rheinwassers durch häusliche und industrielle Abwässer und vor allem zur Verhinderung einer Verschlechterung der gegenwärtigen Verhältnisse wird am Rhein in den meisten Fällen eine mechanisch-biologische Reinigung der Abwasser anzustreben sein. Die Festlegung des in jedem einzelnen Fall anzustrebenden Reinigungsgrades und die Dringlichkeit der Sanierung hat auf Grund von detaillierten Untersuchungen im betreffenden Flußabschnitt zu erfolgen.

Der vorliegende Bericht wurde von Dr. *H. Schmaßmann* entworfen und von folgendem Ausschuß abschließend redigiert: Baurat *W. Bensing* (Freiburg i. Br.), Dr. *G. Ebeling* (Karlsruhe), Dr. *R. Müller* (Basel), Dr. *H. Schmaßmann* (Liestal) und Dr. *K. Wuhrmann* (Zürich) als Vertreter der EAWAG.