Die Verunreinigung der Aare zwischen Bielersee und Rhein

Autor(en): **[s.n.]**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **46 (1954)**

Heft 4

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-921401

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Die Verunreinigung der Aare zwischen Bielersee und Rhein

D K 628.3

Bericht über die chemischen Untersuchungen vom 30. September und 1. Oktober 1952

erstattet von der Fachkommission für regionale Abwasserfragen der Regionalplanungsgruppe Nordwestschweiz

Bearbeiter:

Ing. *F. Baldinger*, Ingenieur für Gewässerschutz des Kantons Aargau, Aarau: Obmann der Subkommission Aare, Organisation der Untersuchungen von Aarau bis Koblenz, Berechnung der Fließzeiten.

Dr. *R. Burkard*, Kantons-Chemiker des Kantons Solothurn, Solothurn: Organisation und Durchführung der chemischen Untersuchungen von Brügg bis Ruppoldingen.

Ing. *O. Lemp*, Wasserrechtsingenieur des Kantons Solothurn, Solothurn: Organisation der Untersuchungen von Brügg bis Ruppoldingen.

Dr. *E. Märki*, Chemisches Laboratorium der Stadt Zürich, Zürich: Durchführung der chemischen Untersuchungen von Aarau bis Koblenz.

Dr. *H. Schmassmann, Liestal:* Präsident der Fachkommission für regionale Abwasserfragen, Bearbeitung des Schlußberichtes.

A. Zweck und Durchführung der Untersuchungen

1. Allgemeines

Der Beurteilung interkantonaler Gewässer stellen sich dadurch Schwierigkeiten entgegen, daß die bisherigen Untersuchungen in den verschiedenen Kantonen weder bei vergleichbaren Verhältnissen noch nach einheitlichen methodischen Gesichtspunkten durchgeführt wurden. Um die Anforderungen zu kennen, die in einem bestimmten Flußgebiet an die Abwasserreinigungsanlagen zu stellen sind, ist eine solche einheitliche Beurteilungsmöglichkeit unbedingte Voraussetzung. Unsere Kommission hat deshalb ein Programm für die methodische und zeitliche Koordination bei der Untersuchung interkantonaler Gewässer ausgearbeitet. Die zuständigen Departemente der Kantone Aargau, Basel-Landschaft, Basel-Stadt und Solothurn haben diesem Programm zugestimmt und die für die gemeinsamen Arbeiten erforderlichen finanziellen Mittel zur Verfügung gestellt.

Um einen ersten Überblick über den qualitativen Zustand eines Gewässers und über die flußabwärts stattfindenden Veränderungen zu gewinnen, wurden als erste Arbeit chemische Untersuchungen an ausgewählten Probefassungsstellen des gesamten Flußlaufes und bei einer repräsentativen Niederwasserführung vorgesehen. Dabei waren wir uns bewußt, daß für eine abschließende Beurteilung der im einzelnen zu treffenden Sanierungsmaßnahmen auf den einzelnen Teilstrecken noch detailliertere chemische und biologische Untersuchungen notwendig sein werden.

Die Untersuchungen werden nach dem aufgestellten Programm wie bis anhin durch die Kantone selbst, aber an jedem Fluß in allen Kantonen an ein und demselben Tag und nach einheitlichen Methoden durchgeführt. Da die in fließenden Gewässern erhobenen Einzelproben erfahrungsgemäß wegen ihres zufälligen Charakters keine für die praktischen Zwecke des Gewässerschutzes ausreichende Beurteilung ermöglichen, werden die Beobachtungen an jeder Probefassungsstelle über 24 Stunden ausgeführt. Daß diese Methode allein zu auswertbaren Ergebnissen führt, wird gerade durch die im vorliegenden Bericht dargestellten beträchtlichen täglichen Schwankungen der verschiedenen chemischen Bestandteile des Aarewassers bestätigt.

Als erstes Gewässer wurde die Aare zwischen Bielersee und Rhein am 30. September und 1. Oktober 1952 nach den Grundsätzen der Kommission untersucht. Vom Kanton Solothurn wurde dabei die Untersuchung der zwischen dem Bielersee und dem Kraftwerk Ruppoldingen gelegenen Strecke und vom Kanton Aargau die Untersuchung des Unterlaufs bis zum Rhein übernommen.

2. Methodik

a) Probefassung

Zur Erfassung der täglichen Schwankungen des Verunreinigungsgrades wurden die Untersuchungen an sämtlichen Probefassungsstellen während 24 Std. (Solothurn) bzw. während 25 Std. (Aargau) ausgeführt. Als Richtlinie für die Probefassung galt eine Entnahme aus den obersten, bis in etwa 20 bis 25 cm Tiefe reichenden Wasserschichten. Für die Bestimmung der Sauerstoff-Konzentration und des Biochemischen Sauerstoffbedarfs wurden stündliche Einzelproben gefaßt. Ferner wurde alle 10 Min. eine Teilprobe erhoben und sechs dieser Teilproben zu einstündigen Sammelproben vereinigt, welche für die übrigen chemischen Untersuchungen dienten. Schließlich wurde die Wasser- und Lufttemperatur stündlich gemessen.

b) Chemische Untersuchungen

Die chemischen Untersuchungen erfolgten nach folgenden Verfahren:

Sauerstoff-Konzentration	nach *Winkler*
Biochemischer Sauerstoffbedarf	nach 5 Tagen bei 20° C im Originalwasser (ohne Verdünnung)
Kaliumpermanganatverbrauch	nach Schweizerischem Lebensmittelbuch
Nitrate	mit Phenoldisulfosäure [1]
Nitrite	nach Schweizerischem Lebensmittelbuch
Ammoniak, bzw. Ammonium	nach *Neßler*, direkt
Chloride	mit Mercurinitrat und Diphenylcarbazon [2]

Ferner wurden entsprechend der im Schweizerischen Lebensmittelbuch für die Milch gegebenen Vorschrift mit Wattefiltern Schmutzproben ausgeführt. Diese Methode hat sich indessen nicht bewährt.

c) Verzeichnis der Probefassungsstellen

Um an den für die koordinierte Untersuchung ge-

[1] Nach *Kuisel*, Helv. Chim. *18*, 195 (1934) abgeändert.

[2] Nach *Hostettler, Schilt* und *Hänni*, Mitt. Lebensm. Unters. und Hygiene *39*, 93 (1948).

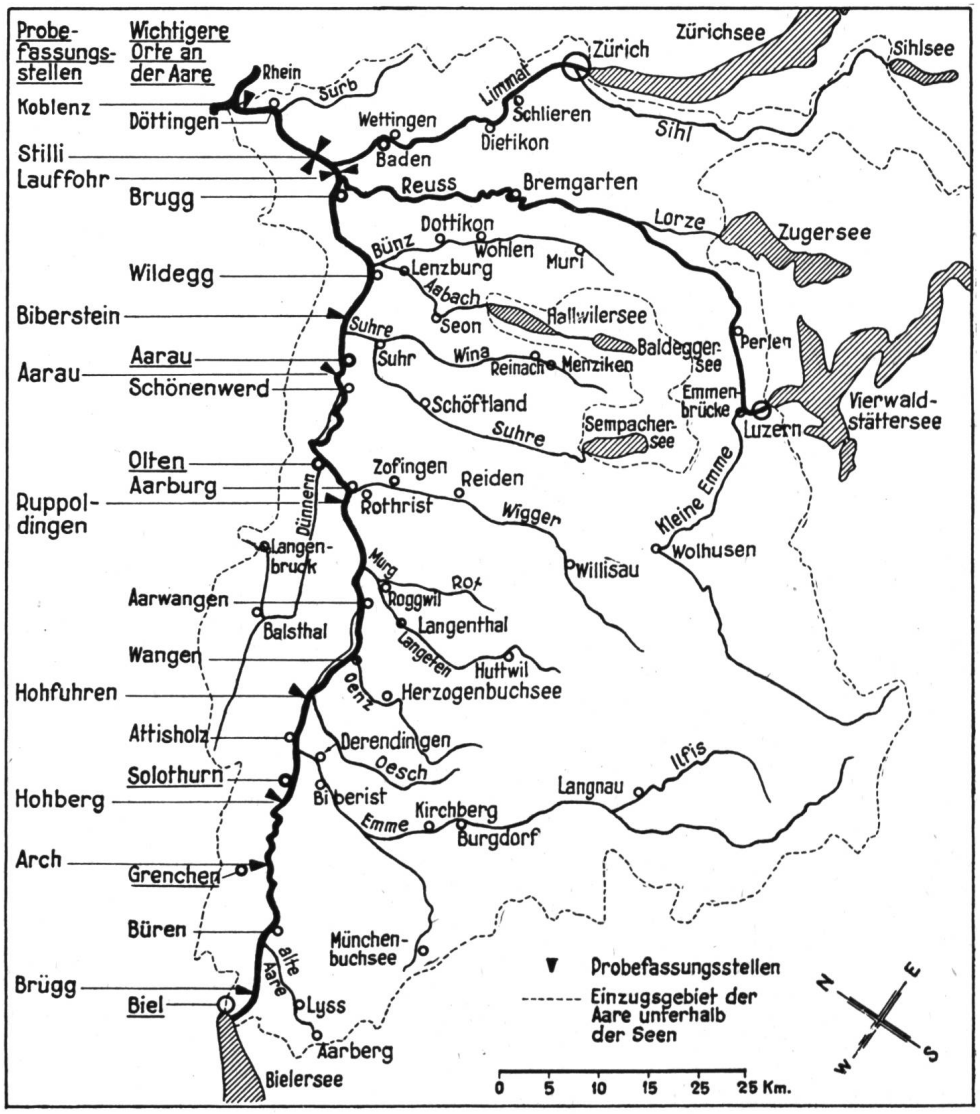


Abb. 1 Lageplan der Aare vom Bielersee bis zur Mündung in den Rhein.

wählten Orten die Lage einer oder mehrerer repräsentativer Entnahmestellen im Flußquerschnitt zu bestimmen, wurden von den beteiligten Kantonen Voruntersuchungen durchgeführt. Diese zeigten u. a., daß es nicht möglich ist, den qualitativen Zustand des die Aare speisenden Bielerseewassers zu erfassen. Die mit Abwassern belastete Schüß gelangt nämlich durch den untersten Seeteil praktisch ohne Vermischung mit dem eigentlichen Seewasser direkt nach dem Seeabfluß.

km ab Wehr Nidau	Bezeichnung der Probefassungsstelle	Nähere Lage der Probefassungsstelle
2,3	Brügg	von der Brücke aus, Mitte Aare
15,5	Arch	von der Brücke aus, Hauptwasserfaden, linkes Ufer
25,3	Hohberg	vom verankerten Ponton aus, Hauptwasserfaden, etwas links der Mitte
38,1	Hohfuhren	beim Kanaleinlauf vom Ufer aus
62,8	Ruppoldingen	Kanaleinlauf, vom Fußgängersteg aus
79,6	Aarau	von der Wehrbrücke des Elektrizitätswerks Aarau aus
86,0	Biberstein	von der Brücke Rohr-Biberstein aus
104,9	Lauffohr-links	von der Brücke Lauffohr-Vogelsang aus
104,9	Lauffohr-rechts	von der Brücke Lauffohr-Vogelsang aus
107,1	Stilli-links	von der Brücke Stilli-Siggenthal aus
107,1	Stilli-rechts	von der Brücke Stilli-Siggenthal aus
118,8	Koblenz	von der Eisenbahnbrücke Koblenz-Felsenau aus, rechts, unterhalb Turbinenauslauf des Kraftwerks Klingnau im Unterwasserstrom

B. Hydrographie

1. Charakter der Teilstrecken (vgl. Abb. 1)

km	Ort	Gewässercharakter	km	Wichtigste Zubringer und Abwassereinleitungen [3]
—2,1	Bielersee			
		Aarekanal bis zum Seeregulierungswehr		—
0,0	Wehr Nidau			
		Aarekanal mit geringem Gefälle		Abwasser der Stadt Biel
2,3	Brügg			
		Aarekanal mit geringem Gefälle	7,3	Mündung der alten Aare (mit Abwasser von Lyß und Aarberg)
9,2	Büren			
		Natürlicher Flußlauf mit geringem Gefälle		Abwasser von Büren a. A.
15,5	Arch			
		Natürlicher Flußlauf mit geringem Gefälle		Abwasser von Grenchen

[3] Bedeutende Abwassereinleitungen, soweit aus der Einwohnerzahl ersichtlich und soweit größere industrielle Abwassereinläufe bekannt.

km	Ort	Gewässercharakter	km	Wichtigste Zubringer und Abwassereinleitungen [3]
25,3	Hohberg			
		Natürlicher Flußlauf mit geringem Gefälle		Abwasser der Stadt Solothurn und ihrer Nachbargemeinden
			32,3	Mündung der Emme (mit Abwasser von Burgdorf, Gerlafingen, Biberist, Derendingen usw.).
32,3	Emmemündung			
		Natürlicher Flußlauf mit starkem Gefälle	33,2	Abwasser der Cellulosefabrik Attisholz
			33,7	Mündung des Aare-Emme-Kanals (mit einem Teil des Emme-Abflusses)
36,5	Flumenthal (Kantonsgrenze)	Gestauter Flußlauf		—
38,1	Wehr Hohfuhren	Oberwasserkanal des Kraftwerks (Wangener-Kanal) mit 120 m³/s Abfluß		—
46,4	Kraftwerk Bannwil	Gestauter Flußlauf	46,5	Vereinigung mit dem durch den natürlichen Flußlauf abgeflossenen 120 m³/s übersteigenden Abfluß der Aare. In diesen ferner: Mündung der Oesch, Abwasser von Wangen a. A. und Mündung der Oenz (mit Abwasser von Herzogenbuchsee) Abwasser von Aarwangen
51,3	Kraftwerk Wynau	Natürlicher Flußlauf mit starkem Gefälle	55,6	Mündung der Murg (mit Abwasser von Langenthal, Roggwil usw.)
58,1		Gestauter Flußlauf		—
62,8	Wehr Ruppoldingen	Oberwasserkanal des Kraftwerks		—
63,6	Kraftwerk Ruppoldingen	Natürlicher Flußlauf mit starkem Gefälle	63,8	Mündung der Wigger
			64,5	Mündung des Aarburger Mühletychs (Seitenkanal der Wigger mit Abwasser der Region Zofingen) Abwasser von Aarburg
64,5	Aarburg	Gestauter Flußlauf	68,0	Mündung der Dünnern Abwasser von Olten
71,0	Wehr Olten-Gösgen (Kanalabzweigung)	Oberwasserkanal des Kraftwerks		—
75,8	Kraftwerk Gösgen	Unterwasserkanal des Kraftwerks		—
77,0	Schönenwerd	Gestauter Flußlauf		Abwasser von Schönenwerd

[3] Bedeutende Abwassereinleitungen, soweit aus der Einwohnerzahl ersichtlich und soweit größere industrielle Abwassereinläufe bekannt.

km	Ort	Gewässercharakter	km	Wichtigste Zubringer und Abwassereinleitungen [3]
79,6	Wehr Aarau	Oberwasserkanäle des Kraftwerks		—
81,8	Kraftwerk Aarau	Gestauter Flußlauf		—
82,6	Kanalabzweigung K. W. Rüchlig	Oberwasserkanal des Kraftwerks mit 155 m³/s Abfluß		—
83,1	Kraftwerk Rüchlig	Unterwasserkanal des Kraftwerks		—
84,8	Auslauf des Kanals	Gestauter Flußlauf	84,8	Vereinigung mit dem Abfluß durch natürlichen Flußlauf. In diesen ferner: Abwasser der Stadt Aarau und Mündung der Suhre
86,0	Biberstein	Gestauter Flußlauf		—
88,5	Wehr und Kraftwerk Rupperswil-Auenstein	Unterwasserkanal des Kraftwerks		—
90,8	Auslauf des Kanals	Natürlicher Flußlauf		—
91,8	Wildegg, Brücke	Teilweise gestauter Flußlauf (mit Aufstau am 30. Juni 1952 begonnen)	91,9	Mündung von vereinigter Bünz und Aabach (mit Abwasser von Lenzburg, Wohlen, Dottikon usw.)
95,8	Wehr Wildegg-Brugg	Natürlicher Flußlauf mit starkem Gefälle, zuunterst durch Wehr Brugg etwas gestaut (vor Inbetriebnahme des Kraftwerks Wildegg-Brugg!)		—
100,5	Wehr Brugg	Natürlicher Flußlauf mit starkem Gefälle		Abwasser von Brugg
104,6	Reußmündung	Natürlicher Flußlauf	104,6	Mündung der Reuß
104,9	Lauffohr	Natürlicher Flußlauf		—
105,7	Limmatmündung	Gestauter Flußlauf	105,7	Mündung der Limmat
107,1	Stilli	Gestauter Flußlauf		—
111,4	Wehr Beznau	Oberwasserkanal des Kraftwerks		—
112,7	Kraftwerk Beznau	Gestauter Flußlauf	114,8	Mündung der Surb
118,4	Wehr und Kraftwerk Klingnau	Natürlicher Flußlauf		—
118,8	Koblenz	Natürlicher Flußlauf (Rückstau von Wehr Albbruck-Dogern)		—
119,9	Mündung der Aare in den Rhein			

2. Abflußmenge des Untersuchungstages

a) Mittlere Wasserführung der Pegelstationen in m^3/s

Pegelstation:	Brügg	Murgenthal	Brugg	Mellingen	Zürich	Stilli	Rheinfelden
Fluß:	Aare	Aare	Aare	Reuß	Limmat	Aare	Rhein
30. 9. 52	181	194	210	117	86	440	882
1. 10. 52	184	201	210	110	82	428	865

b) Interpolierte mittlere Wasserführung der Probefassungsstellen

	m^3/s		m^3/s
Brügg	182	Aarau	205
Arch	185	Biberstein	207
Hohberg	185	Lauffohr	324
Hohfuhren	193	Stilli	434
Ruppoldingen	200	Koblenz	435

3. Fließzeiten

a) Fließzeiten bei $Q = 200\ m^3/s$ (Murgenthal)

Strecke	Länge in km	Mittlere Geschwindigkeit in m/s	Fließzeit
Brügg—Arch	13,2	0,60	6 Std. 7 Min.
Arch—Hohberg	9,8	0,60	4 Std. 32 Min.
Hohberg—Hohfuhren	12,8	0,74	4 Std. 47 Min.
Hohfuhren—Ruppoldingen	24,7	1,15	5 Std. 58 Min.
Ruppoldingen—Aarau	16,8	0,90	5 Std. 11 Min.
Aarau—Biberstein	6,4	0,68	2 Std. 36 Min.
Biberstein—Lauffohr	18,9	0,82 [4]	6 Std. 20 Min. [4]
Lauffohr—Stilli	2,2	0,78	47 Min.
Stilli—Koblenz	11,7	0,53	6 Std. 08 Min.
Total	116,5	—	42 Std. 26 Min.

b) Kontrolle der Fließzeiten auf Grund der chemischen Untersuchungen

Die Beobachtung der flußabwärts erfolgenden Verschiebungen von Konzentrationsschwankungen einiger Bestandteile des Aarewassers bietet die Möglichkeit zur Kontrolle der Fließgeschwindigkeiten. So lassen sich die Extremwerte des Kaliumpermanganatverbrauchs von Hohfuhren zwar mit erheblicher Verflachung, aber doch noch bis Biberstein, z. T. sogar bis Lauffohr-links verfolgen (vgl. Abb. 4). Aus dem Vergleich der korrespondierenden Maxima und Minima ergaben sich folgende Fließzeiten:

Strecke	Kleinster Wert (Std.)	Größter Wert (Std.)	Mittel (Std.)	Hydraulisch berechnet (Std.)
Hohfuhren—Ruppoldingen	7	8	7,2	6,0
Ruppoldingen—Aarau	4	6	4,8	5,2
Aarau—Biberstein	2	3	2,4	2,6
Biberstein—Lauffohr	7	7	7,0	6,3

Gesamthaft stimmt die sich aus der Verschiebung der Permanganatspitzen zwischen Hohfuhren und Lauffohr ergebende Fließzeit von etwa 21 Std. gut mit der nach der hydraulischen Methode berechneten von etwa 20 Std. 11 Min. überein. Eine außerhalb der Fehlergrenze liegende Vergrößerung der Fließzeit ergibt sich lediglich für die Strecke Hohfuhren — Ruppoldingen. Für diese Teilstrecke bestätigen auch die Verschiebungen der Chlorid-Extreme, daß eine mittlere Fließzeit von etwa 7 Std. vorliegt (vgl. Abb. 3). Eine erst ab Ruppoldingen auftretende weitere Chlorid-Spitze läßt sich mit etwa sechsstündiger Verspätung wieder in Aarau beobachten. Für die Strecke Biberstein-Lauffohr (links) ergibt sich aus der Verschiebung des absoluten BSB_5-Maximums eine mit der Berechnung übereinstimmende Fließzeit von 6 Std.; in gleicher Weise wird auch die vorangehende Minimallage der BSB_5-Kurve verschoben (vgl. Abb. 5).

Zwischen Lauffohr und Stilli lassen sich zeitliche Verschiebungen von Extremwerten nicht deutlich verfolgen. Im Verhältnis zu den Probefassungs-Intervallen ist hier die Fließzeit jedenfalls zu kurz, um solche Verschiebungen erkennen zu können.

Dagegen sind die Extremwerte des Permanganatverbrauchs von Stilli bei Koblenz um je 5 Std. verschoben (Abb. 4). Die Fließzeit scheint demnach eher kürzer zu sein als die nach der hydraulischen Methode berechneten 6 Std.

4. Spezielle Abflußverhältnisse an den Probefassungsstellen

a) Allgemeines

Nach den hydraulischen Verhältnissen können die Probefassungsstellen Brügg, Arch, Hohberg, Ruppoldingen, Aarau und Koblenz als repräsentativ für den gesamten an den betreffenden Orten erfolgenden Abfluß gelten. Dagegen dürfen die in Hohfuhren, Lauffohr und Stilli erhobenen Proben nicht ohne weiteres auf den Gesamtabfluß der Aare bezogen werden.

b) Hohfuhren

Die Proben wurden aus dem linksufrig abzweigenden Wangener Kanal entnommen. Dessen Wasserführung beträgt nur 120 m^3/s. Von der am Untersuchungstage rund 193 m^3/s betragenden Wassermenge flossen somit etwa 73 m^3/s über das Wehr ab.

Ein Färbungsversuch, welcher am 9. März 1938 bei einem Abfluß (Murgenthal) von 212 m^3/s von Dr. *W. Schmassmann* zwischen der Brücke von Attisholz und dem Wehr Hohfuhren durchgeführt worden war, wie auch zahlreiche in den Jahren 1933 bis 1946 von Drs. *W.* und *H. Schmassmann* entnommene Einzelproben zeigen deutlich, daß das im Kanal abfließende Wasser nicht für den Gesamtabfluß der Aare repräsentativ ist. Wie aus dem Färbungsversuch hervorgeht, fließt die Abwasserfahne der Cellulosefabrik Attisholz bei dem in Frage kommenden Gesamtabfluß der Aare praktisch vollständig in den Wangener Kanal und läßt sich im Wehrüberlauf nur sehr schwach und verspätet feststellen. Dieser Umstand muß bei der Bilanzierung des Abwasseranfalles berücksichtigt werden.

c) Lauffohr

Beim Zusammenfluß von zwei großen Strömen ist erfahrungsgemäß damit zu rechnen, daß sich ihre Wassermassen auch im vereinigten Lauf noch auf eine gewisse Strecke weitgehend getrennt voneinander bewegen. Gestützt auf diese Erfahrung, wurden in Lauffohr rund 300 m unterhalb des Zusammenflusses von Aare und Reuß sowohl links als auch rechts der Flußmitte Proben erhoben. Im Chemismus der beiden Probefassungsstellen zeigen sich tatsächlich deutliche Differenzen. Insbesondere der bei der Chlorid-Konzentration bestehende Unterschied ist hiefür bezeichnend (Abb. 3). Für die Bilanzrechnungen können wir annäherungsweise annehmen, daß die Probefassungsstelle Lauffohr-links für den Abfluß der Aare von 210 m^3/s und die Probefassungsstelle Lauffohr-rechts für den Abfluß der Reuß von 114 m^3/s repräsentativ seien. Auf Grund der

[4] Vor Inbetriebnahme des Kraftwerkes Wildegg-Brugg.

von Beginn der Untersuchungsserie bis etwa 19 Uhr bei Lauffohr-links erniedrigten Chlorid-Konzentrationen ist allerdings mit der Möglichkeit zu rechnen, daß während dieser Zeit an der betreffenden Stelle doch etwas Reußwasser beigemischt war. Da bei der nächsten flußaufwärts gelegenen Probefassungsstelle Biberstein nur zwei diesem Zeitraum dort entsprechende Proben zur Verfügung stehen, läßt sich diese Frage jedoch nicht klar beurteilen.

d) Stilli

In entsprechender Weise wie bei Lauffohr wurden rund 1,4 km unterhalb des Zusammenflusses von Aare und Limmat bei Stilli sowohl links als auch rechts der Flußmitte Proben erhoben. Auf der kurzen Fließstrecke zwischen Lauffohr und Stilli sind keine erheblichen Änderungen des Stoffanfalls zu erwarten. Wenn Stilli-links für den Abfluß der vereinigten Aare und Reuß repräsentativ wäre, müßten deshalb die mittleren Konzentrationen der Wasserbestandteile konstant sein. Die Mittel der Chlorid-Konzentration, des Kaliumpermanganatverbrauchs, des BSB_5, des Ammoniaks und der Nitrite zeigen jedoch bei Stilli-links erheblich höhere Werte als die auf den gesamten Abfluß bezogenen Mittel der entsprechenden Werte bei Lauffohr. Die daraus hervorgehende stärkere Verunreinigung kann nur darauf zurückgeführt werden, daß bei Stilli-links bereits erhebliche Mengen von Limmatwasser beigemischt sind. Die in Stilli vorliegende Durchmischung von Aare-, Reuß- und Limmatwasser wird auch dadurch bestätigt, daß die Konzentrationskurven der meisten Bestandteile an der links- und an der rechtsseitigen Probefassungsstelle weitgehend parallel verlaufen. Das Wiedererscheinen der Permanganatverbrauchs-Spitzen des Reußwassers von Lauffohr-rechts an beiden Stellen von Stilli läßt auch die Beimischung dieses Abflußanteils erkennen. Daß jedoch weder rechts noch links reine Reußwasser-Fahnen vorhanden sind, geht aus den Chloridwerten wie auch aus einigen Karbonathärte-Stichproben deutlich hervor.

Der Anteil der drei Wassermassen mag während der Untersuchungsperiode an beiden Probefassungsstellen von Stilli gewissen Änderungen unterworfen gewesen sein. Es erscheint jedoch ausgeschlossen, diese wechselnden Anteile auch nur annäherungsweise ermitteln zu können. Bei Würdigung des gesamten Beobachtungsmaterials kommt man zum Schluß, daß die für die Bilanzrechnung noch zuverlässigsten Resultate dann erhalten werden, wenn man die Probefassungsstelle Stilli-rechts bei den Abflußverhältnissen des Untersuchungstages als repräsentativ für den 434 m^3/s betragenden Gesamtabfluß betrachtet. Dies wird namentlich auch dadurch bestätigt, daß die Chloridkonzentration nur unter dieser Annahme bis zur nächsten flußabwärts gelegenen Probefassungsstelle Koblenz praktisch konstant bleibt, während sich aus irgendeinem aus den Stationen Stilli-links und Stilli-rechts berechneten Mittelwert bis Koblenz eine nicht erklärbare erhebliche Abnahme der Chlorid-Konzentrationen ergeben würde.

C. Der Stoff- und Energiehaushalt

1. Allgemeines

Die Beschaffenheit des Aarewassers, dessen tageszeitliche Variationen sowie die sich aus Produkt von Konzentrationen und Abflußmengen ergebenden Anfall-Werte bilden die Grundlagen für die Beurteilung des Stoffhaushaltes. Gestützt auf das Beobachtungsmaterial soll versucht werden, die Anteile zu erkennen, welche die innerhalb der Wassermasse ablaufenden Stoffwechselprozesse, die Stoffzufuhr der Nebenflüsse und Abwassereinleitungen sowie die Austauschvorgänge mit der Atmosphäre und mit der Flußsohle am gesamten Stoffhaushalt der einzelnen Aarestrecken besitzen.

Die Tagesmittel der verschiedenen Faktoren ergeben sich auf der durch den Kanton Solothurn untersuchten Strecke als arithmetisches Mittel der in den 24 zwischen 10 Uhr des 30. September und 10 Uhr des 1. Oktober 1952 erhobenen Proben bestimmten Einzelwerte. Auf der vom Kanton Aargau untersuchten Strecke wurden bei der Mittelwertsbildung in entsprechender Weise nur die zwischen 10 Uhr des ersten Tages und 10 Uhr des zweiten Tages erhobenen Proben berücksichtigt. Wie oben erläutert, wurde der Berechnung des Stoffanfalls bei Lauffohr ein den Abflußverhältnissen entsprechendes geometrisches Mittel der beiden Probefassungsstellen zu Grunde gelegt. Bei Stilli wurde dagegen nur die Probefassungsstelle Stilli-rechts als repräsentativ betrachtet.

Die für den gleichen Zeitraum berechneten Mittel- und Anfallwerte entsprechen naturgemäß an keiner der verglichenen Stellen derselben Wassermasse. Bei ihrem Vergleich wird deshalb vorausgesetzt, daß der Stoffhaushalt an den in Betracht fallenden Tagen außer den tageszeitlichen Variationen keine wesentlichen Änderungen erfahren hat.

2. Thermik (Abb. 2)

Im großen und ganzen ist am Untersuchungstage eine flußabwärts erfolgende Abkühlung des Aarewassers festzustellen, welche aber am Unterlauf durch den Zufluß wärmerer Wassermassen aus Reuß und Limmat unterbrochen wird:

Station	Maximum	Minimum	Amplitude	Veränderung der Amplitude	Tagesmittel	Veränderung des Mittels
	o C	o C	o C	o C	o C	o C
Brügg	13,2	12,2	1,0	—	12,75	—
Arch	13,0	12,6	0,4	—0,6	12,80	+0,05
Hohberg	13,0	12,8	0,2	—0,2	12,93	+0,13
Hohfuhren	12,8	12,4	0,4	+0,2	12,59	—0,34
Ruppoldingen	12,4	12,2	0,2	—0,2	12,36	—0,23
Aarau	12,2	12,1	0,1	—0,1	12,12	—0,24
Biberstein	12,4	12,0	0,4	+0,3	12,26	+0,14
Lauffohr-links	13,0	10,5	2,5	+2,1	11,79	—0,47
Lauffohr-rechts	12,2	11,0	1,2	—	11,94	—
Lauffohr-Mittel [5]	12,3	11,1	1,2	—1,3	11,84	+0,05
Stilli-links	12,3	11,3	1,0	—	12,06	—
Stilli-rechts	12,3	12,0	0,3	—0,9	12,14	+0,30
Koblenz	12,6	11,3	1,3	+1,0	12,14	±0,00
				+0,3		—0,61

Aus den tagsüber bei *Brügg* beobachteten Aaretemperaturen kann die Temperatur des aus dem Bielersee abfließenden Wassers zu etwa 13,0° geschätzt werden. Die Lufttemperatur liegt bei Brügg während der ganzen 24 Std. unter derjenigen des Aarewassers. Infolge der tagsüber herrschenden Einstrahlung und zeitweise auch wegen der geringen Differenzen zwischen Luft- und Wassertemperatur (um 13.20 Uhr z. B. 13,0° — 12,0° = 1,0°) beträgt die Temperatur der Aare bis in die Nacht hinein 13,0° ± 0,2°. Erst um Mitternacht zeigt sie fallende Tendenz, erreicht zwischen

[5] Veränderungen gegenüber Lauffohr-links.

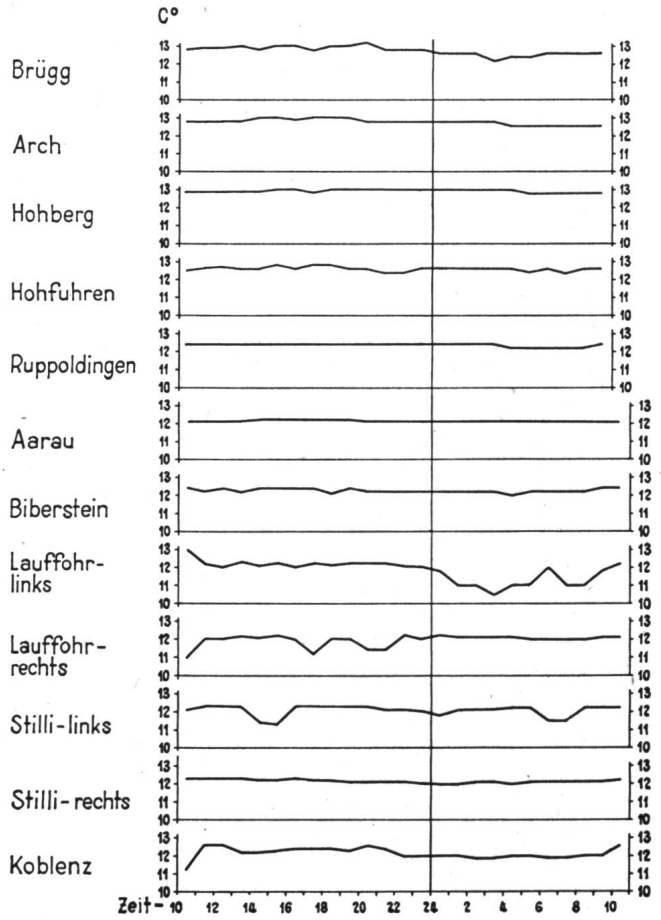


Abb. 2 Täglicher Gang der Wassertemperatur.

3 und 6 Uhr ihre Minimalwerte und steigt dann frühmorgens wieder langsam an.

Bei *Arch* und bei *Hohberg* ist der tägliche Temperaturgang ausgeglichener als bei Brügg. Die Minimaltemperatur beginnt erst nach 4 Uhr bzw. erst nach 5 Uhr und dauert bis zum Ende der Untersuchung an. Aus diesen Beobachtungen geht hervor, daß der Temperaturaustausch mit der Atmosphäre unterhalb Brügg geringer ist als oberhalb davon und daß der bei Arch und bei Hohberg festgestellte tägliche Temperaturgang vorwiegend durch die zeitliche Verschiebung der bei Brügg beobachteten Wassermassen bedingt ist, wobei durch Vermischung von beschleunigt und verzögert abgeflossenen Wassermassen ein gewisser Ausgleich stattfindet.

Bis *Aarau* findet dann eine allmähliche Abnahme der Wassertemperatur statt. Dies weist darauf hin, daß auf den trotz Staustufen im Mittel größere Geschwindigkeiten und damit größere Turbulenzen aufweisenden Flußstrecken ein intensiverer Wärmeaustausch zwischen dem Wasser und der kälteren Luft stattfindet als in der zwischen Bielersee und Emmemündung träge dahinfließenden Aare. In *Biberstein* kann die leichte Erhöhung der maximalen wie auch der mittleren Wassertemperatur darauf zurückzuführen sein, daß die Luft erstmals zeitweise wärmer ist als das Aarewasser.

Für den zwischen Wasser und Luft erfolgenden Wärmeaustausch sind namentlich die Verhältnisse der Strecke *Biberstein-Lauffohr* bezeichnend. Auch ohne Berücksichtigung der in Lauffohr-links bei Untersuchungsbeginn beobachteten außergewöhnlichen Spitze ergibt sich eine tägliche Amplitude von 1,8°, welche beträchtlich höher ist als die flußaufwärts beobachteten. Entsprechend dem bei Lauffohr dauernd vorhandenen Temperaturgefälle zwischen Luft und Wasser findet eine Abkühlung der Aare statt. Der Wärmeaustausch ist dabei auf der zwischen dem Kraftwerk Rupperswil-Auenstein und der Reußmündung gefällsreicheren und damit turbulenteren Flußstrecke viel intensiver als auf dem natürlicherweise gefällsärmeren Aarelauf zwischen Bielersee und Emmemündung oder als auf der durch zahlreiche Staustufen gegliederten Strecke zwischen Emmemündung und Rupperswil-Auenstein.

Durch die Mischung von Aare-, Reuß- und Limmatwasser ergeben sich bei *Stilli* ausgeglichenere Temperaturen als in der Aare bei Lauffohr-links. Die merkliche Erhöhung der Wassertemperatur muß auf die Beimischung der wärmeren Zuflüsse Reuß und Limmat zurückgeführt werden. Auch wenn man das zu Beginn der Untersuchungsserie in Koblenz beobachtete ungewöhnliche Minimum außer Betracht läßt, ergibt sich in der Aare zwischen Stilli und Koblenz eine Erhöhung der Temperaturamplitude. Der Tagesgang der Wassertemperaturen weist dabei darauf hin, daß ein Wärmeaustausch zwischen Wasser und Atmosphäre zwar vorhanden, aber auf der vorwiegend gestauten Aarestrecke doch nicht sehr erheblich ist.

3. Chloride (Abb. 3)

Weder die innerhalb der Wassermassen sich vollziehenden Stoffwechselvorgänge noch die Austauschprozesse können einen merklichen Einfluß auf die Chlorid-Konzentrationen oder die Chlorid-Anfallwerte ausüben. Die Bilanz der Chloride wird praktisch ausschließlich durch die Zufuhr der Nebenflüsse und Abwassereinleitungen bestimmt. Die Chloride stellen somit bei der Beurteilung des Stoffhaushaltes den einfachsten Fall dar und werden deshalb an erster Stelle besprochen. Erwartungsgemäß ist mit der flußabwärts laufend vermehrten Abwasserbelastung innerhalb der Fehlergrenzen eine Zunahme des Chlorid-Anfalls festzustellen:

Station	Maximum mg/l Cl'	Minimum mg/l Cl'	Tagesmittel mg/l Cl'	Anfall t/Tag	Veränderung des Anfalls t/Tag
Brügg	2,6	2,2	2,34	36,8	—
Arch	4,0	2,2	2,42	38,7	+ 1,9
Hohberg	3,0	2,3	2,56	40,9	+ 2,2
Hohfuhren (Kanal)	3,6	2,9	3,14	—	—
Ruppoldingen	4,0	2,7	3,08	53,2	+12,3
Aarau	4,0	3,3	3,50	62,0	+ 8,8
Biberstein	3,8	3,3	3,57	63,9	+ 1,9
Lauffohr-links	3,7	3,0	3,38	61,3	— 2,6
Lauffohr-rechts	1,6	1,2	1,42	14,0	—
Lauffohr total	—	—	2,69	75,3	+14,0
Stilli-links	3,2	2,6	3,03	—	—
Stilli-rechts	3,2	2,3	2,72	102,0	+26,7
Koblenz	3,0	2,4	2,68	100,7	— 1,3
					+63,9

Der natürliche Chloridgehalt der im Einzugsgebiet der Aare in Betracht fallenden Gewässer ist im Allgemeinen gering. In den Gletscherabflüssen des schweizerischen Hochgebirges beträgt er z. B. höchstens 0,1 mg/l (*Huber* 1950 [6]). Im Abfluß des durch Abwässer bereits erheblich belasteten Zürichsees liegt er um 1,0 mg/l

[6] Beitr. Geologie der Schweiz, Geotechn. Serie, Hydrologie, 4. Lfg., I. Bd., II. Teil.

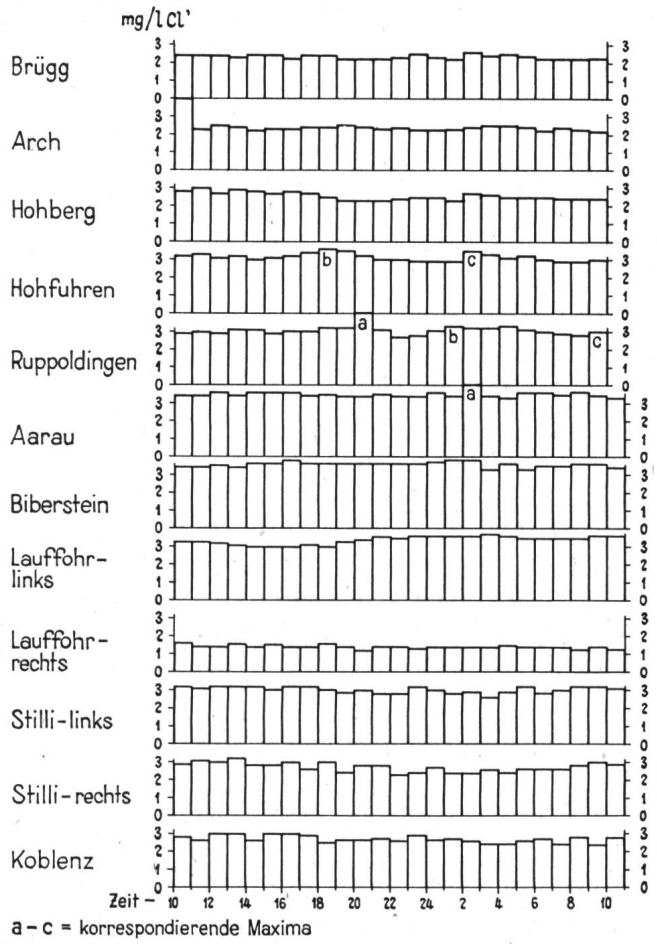


Abb. 3 Täglicher Gang der Chlorid-Konzentration.

(*Thomas* 1948 [7]). Ein etwas verstärkter Einfluß natürlichen Chloridanfalls ist erst am Unterlauf der Aare zu erwarten, wo die Trias des Juragebirges am Einzugsgebiet Anteil hat; es sei nur an die kochsalzhaltigen Mineralquellen von Lostorf, Wildegg, Schinznach und Baden erinnert. Eine Abwägung des natürlicherweise möglichen Chlorid-Anfalls ergibt jedoch, daß der bei Koblenz festgestellte gesamte Chlorid-Anfall der Aare von rund 100 t Cl'/Tag entsprechend rund 165 t Kochsalz/Tag vorwiegend durch die Tätigkeit des Menschen (Ernährung, Gewerbe, Industrie, Landwirtschaft) verursacht ist. Der schweizerische Salzverbrauch betrug im Jahre 1951 rund 120 000 Tonnen, was einem Tagesdurchschnitt von etwa 330 Tonnen entspricht. Dies ist die doppelte Menge des in der Aare bei Koblenz festgestellten Chlorid-Anfalls, was durchaus dem Verhältnis zwischen der schweizerischen Gesamtbevölkerung und dem im Einzugsgebiet der Aare lebenden Bevölkerungsanteil entspricht.

Die zwischen *Brügg* und *Arch* festgestellte Zunahme des Tagesmittels der Chlorid-Konzentration ist vor allem darauf zurückzuführen, daß in der ersten bei Arch erhobenen Sammelprobe mit 4,0 mg/l Cl' ein außerordentliches Maximum festgestellt wurde. Falls dessen Ursache oberhalb Brügg liegen sollte, wäre es durch die dort gleichzeitig begonnenen Untersuchungen nicht beobachtet worden. Läßt man dieses außerordentliche Maximum außer Betracht, so erhält man zwischen Brügg und Arch eine praktisch konstante mittlere Chlorid-Konzentration.

Zwischen Arch und *Hohberg* ist dagegen fast während des ganzen Tages eine Zunahme der Chlorid-Konzentration zu erkennen, deren Ausmaß jedenfalls auf den Einfluß industrieller Abwässer (Grenchen) zurückgeführt werden muß.

Sehr ausgeprägt und deutlich außerhalb jeder Fehlergrenze liegend ist dann die zwischen Hohberg und *Hohfuhren* erfolgende Chloridzunahme. Auf den Abfluß des Wangener Kanals bezogen, entspricht sie einem auf der Strecke stattfindenden zusätzlichen Anfall von 6,0 t/Tag. Die Abwässer der Cellulosefabrik Attisholz bilden zweifellos die Hauptursache dieser Belastung der Aare mit Chloriden. Nach Dr. h. c. *Sieber* (1945) verbraucht diese Fabrik im Jahr 2000 t Chlor. Dies entspricht einem mittleren Tagesverbrauch von 5,5 t, der entsprechend dem Fabrikationsgang mindestens zu einem erheblichen Teil wieder im Abwasser erscheinen muß.

Insgesamt ergibt sich zwischen Hohberg und *Aarau* ein zusätzlicher täglicher Anfall von rund 21 t Chlorid entsprechend 35 t Kochsalz. Dieser Wert ist nicht erstaunlich, wenn man bedenkt, daß der seinen stark industrialisierten und dicht bevölkerten Teil nach der betreffenden Aarestrecke entwässernde Kanton Solothurn einen mittleren täglichen Salzverbrauch (1951) von rund 26 t hat, daß in diesem Verbrauch das gasförmig bezogene, aber im Abwasser als Chloride erscheinende Chlor nicht enthalten ist und daß auch einige Industrieorte der Kantone Bern (Burgdorf, Langenthal) und Aargau (Zofingen) zwischen Hohberg und Aarau ihre Abwässer der Aare zuführen.

Von Aarau bis zur Reußmündung bleibt die Chlorid-Konzentration praktisch konstant. Die geringen Differenzen liegen innerhalb der Fehlergrenzen. Die *Reuß* führt dann ein Wasser zu, das im Vergleich zur Aare relativ arm an Chloriden ist. Ihr Chloridanfall beträgt etwa 14 t/Tag entsprechend rund 23 t Kochsalz/Tag. In den generell das Einzugsgebiet der Reuß bildenden Kantonen Uri, Schwyz, Obwalden, Nidwalden, Luzern und Zug beträgt der mittlere Salzverbrauch (1951) rund 16 t/Tag.

Ein Vergleich der Werte von Lauffohr (Mittel), Stilli-rechts und Koblenz zeigt, daß die Chlorid-Konzentration der Limmat etwa derjenigen des Aare-Reuß-Mischwassers entspricht. Von dem für die Limmat errechneten täglichen Anfall von 26,7 t/Tag entfallen etwa 9,5 t/Tag auf den Abfluß des Zürichsees und andere natürliche Zuflüsse (Mittel 1,0 mg/l). Die verbleibenden 17,2 t/Tag entsprechen rund 28 t Kochsalz/Tag. Aus dem mittleren Kochsalzverbrauch des Kantons Zürich läßt sich für die ihre Abwässer größtenteils nach der Limmat abführende Stadt Zürich allein ein Verbrauch von rund 16 t/Tag schätzen. In Berücksichtigung der unterhalb von Zürich erfolgenden zusätzlichen Belastungen bestätigt sich also auch hier größenordnungsmäßig die Abhängigkeit des Chloridanfalls im Vorfluter vom Kochsalzverbrauch des Einzugsgebietes.

Zwischen Stilli-rechts und Koblenz bleiben Chlorid-Konzentration und Chlorid-Anfall innerhalb der Fehlergrenzen praktisch konstant.

[7] Vierteljahrsschrift Natf. Ges. Zürich, Jg. 93, Beiheft Nr. 1.

4. Kaliumpermanganatverbrauch (Abb. 4)

Der Kaliumpermanganatverbrauch ist ein Maß für die im Wasser enthaltenen oxydierbaren organischen Stoffe. Durch die Einleitung organisch belasteter Abwässer erfährt er eine Zunahme, durch den im Fluß erfolgenden Abbau der Schmutzstoffe eine Abnahme. Die bei unserer Untersuchung beobachteten Werte gehen aus folgender Zusammenstellung hervor:

Station	Maximum mg/l	Minimum mg/l	Tagesmittel mg/l	Anfall t/Tag	Veränderung des Anfalls t/Tag
Brügg	11,0	7,1	8,26	130	—
Arch	11,6	7,8	8,85	142	+ 12
Hohberg	9,8	6,2	7,85	125	— 17
Hohfuhren (Kanal)	52,3	21,9	32,72	—	—
Ruppoldingen	30,8	17,2	22,86	395	+ 270
Aarau	26,2	14,0	22,64	401	+ 6
Biberstein	25,9	16,1	22,64	405	+ 4
Lauffohr-links	29,1	22,3	24,68	448	+ 43
Lauffohr-rechts	46,2	9,5	20,14	198	—
Lauffohr total	—	—	—	646	+ 198
Stilli-links	124,2	25,0	42,67	—	—
Stilli-rechts	128,0	22,9	40,75	1528	+ 882
Koblenz	30,3	16,1	21,39	804	— 724
					+ 674

Zwischen *Brügg* und *Arch* findet eine Zunahme des mittleren Kaliumpermanganatverbrauchs statt, die auf zusätzliche Abwasserbelastungen — vermutlich aus der alten Aare — zurückzuführen ist. Die zwischen Arch und *Hohberg* trotz der zunehmenden Abwasserbelastung erfolgende Abnahme des Permanganatverbrauchs weist darauf hin, daß durch Selbstreinigungsvorgänge ein Abbau organischer Stoffe stattfindet.

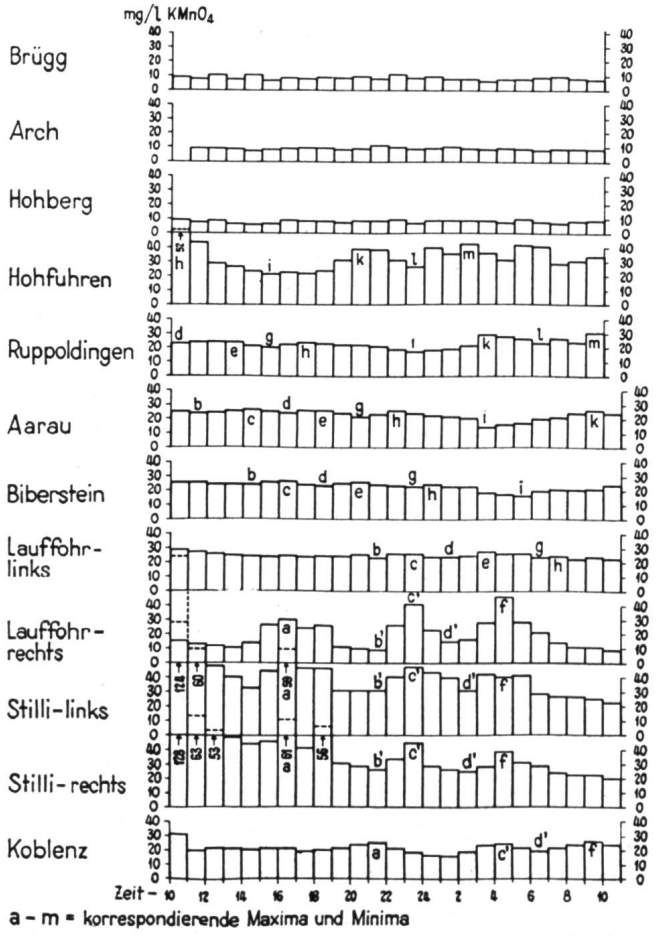


Abb. 4 Täglicher Gang des Kaliumpermanganat-Verbrauches.

Gegenüber Hohberg zeigt der Permanganatverbrauch bei *Hohfuhren* einen sehr starken Anstieg und erhebliche Tagesschwankungen. Auf den Abfluß des Wangener Kanals bezogen, ergibt sich ein 255 t Kaliumpermanganatverbrauch/Tag entsprechender zusätzlicher Anfall organischer Stoffe. Nach den Untersuchungen von 1945/47 (*W.* und *H. Schmassmann*) betrug der Anfall in den Abwässern der Cellulosefabrik Attisholz nur 119 t/Tag. Entsprechend war jedoch damals auch die Zunahme des Permanganatverbrauchs des Aarewassers zwischen den oberhalb Attisholz und den im Wangener Kanal erhobenen Einzelproben geringer. Aus einem Vergleich der Resultate von 1945/47 mit denjenigen von 1952 geht eine zwei- bis dreifache Verstärkung des Permanganatverbrauch-Anfalls im Raume von Solothurn hervor.

Schätzt man den Permanganatverbrauch des über das Wehr von Hohfuhren erfolgenden und von den Abwässern der Cellulosefabrik nur mäßig beeinflußten Abflusses als Resultierende von zusätzlicher Belastung und Selbstreinigung auf 9 mg/l, so ergibt sich in Hohfuhren ein Gesamtanfall von 396 t/Tag, was dem in Ruppoldingen berechneten Anfall entspricht. In Übereinstimmung mit früheren Beobachtungen und mit ausländischen Erfahrungen kann festgestellt werden, daß flußabwärts nur ein langsamer Abbau des durch die Cellulosefabrikabwässer bedingten Permanganatverbrauchs stattfindet.

Der bei Hohfuhren beobachtete Tagesgang des Permanganatverbrauchs läßt sich mit zunehmender Verflachung, aber doch noch deutlich bei *Ruppoldingen* mit einer etwa siebenstündigen, bei Aarau mit einer zwölfstündigen, bei *Biberstein* mit einer etwa vierzehnstündigen und bei *Lauffohr-links* mit einer etwa neunzehnstündigen Verspätung nachweisen. Die Anfallwerte von Hohfuhren bis Biberstein bleiben annähernd konstant. Da nach anderen Ergebnissen unserer Untersuchung auf dieser Strecke erhebliche Belastungen mit organischen Stoffen stattfinden, halten sich somit zusätzliche Belastungen und Abbauprozesse in Bezug auf den Permanganatverbrauch die Waage. Eine deutliche Zunahme des Permanganatverbrauchs ist erst wieder zwischen Biberstein und *Lauffohr-links* zu beobachten. Ihre Ursache ist im Zufluß der stark verunreinigten Bünz und des Aabaches, eventuell in den Abwässern der Region Brugg zu suchen.

Einen erheblichen Anfall von organischen Stoffen, die durch den Permanganatverbrauch erfaßt werden können, bringt die durch die Probefassungsstelle *Lauffohr-rechts* repräsentierte Reuß. Deren Wasser ist durch einen normalerweise 10 bis 15 mg/l betragenden Permanganatverbrauch gekennzeichnet, welchem im Tagesgang drei ausgeprägte Spitzen aufgelagert sind. Diese lassen auf ein dreimaliges stoßweises Einleiten von Abwässern schließen, die einen hohen Permanganatverbrauch aufweisen. Da der Lauf der Reuß im Rahmen der vorliegenden Arbeiten nicht näher untersucht wurde, kann die Ursache dieser sehr beträchtlichen Verschmutzung örtlich nicht näher festgelegt werden.

Bei *Stilli* erscheinen die Permanganatspitzen der Reuß einer erhöhten, zweifellos durch die Einmündung der Limmat verursachten Grundbelastung aufgelagert. Dazu kommt eine weitere, zu Beginn der Untersuchungsserie während etwa 4 Std. andauernde Belastungsspitze, die am Ende der 25stündigen Untersu-

chungsserie zur gleichen Tageszeit nicht mehr beobachtet wurde und deshalb auf eine außerordentliche Abwassereinleitung zurückzuführen ist.

Bemerkenswert ist die starke Abnahme des Permanganatverbrauchs auf der hauptsächlich durch die beiden Staustufen Beznau und Klingnau gebildeten Strecke zwischen Stilli und *Koblenz*. Vermutlich ist diese Abnahme vorwiegend auf die in den betreffenden Stauräumen erfolgende Sedimentation von Schwebestoffen zurückzuführen. Die mit der Reußmündung einsetzenden Belastungsspitzen lassen sich noch gut bis Koblenz verfolgen. Dies läßt darauf schließen, daß sie ähnlich den Abwässern von Attisholz zur Hauptsache einer Belastung mit nicht sedimentierbaren bzw. nur langsam abbaubaren Schmutzstoffen entsprechen. Die außergewöhnliche Belastungsspitze des Limmatzuflusses ist dagegen in Koblenz kaum mehr zu erkennen. Ihre Schmutzstoffe dürften demnach gut sedimentierbarer oder leicht abbaubarer Natur sein.

Zusammenfassend ergibt sich an der Aaremündung eine durch den Permanganatverbrauch gekennzeichnete Verschmutzung, welche z. B. die nach den bisherigen Erfahrungen aus dem Rhein bei Basel bekannten Werte erheblich übertrifft. Als hauptsächlichster Zubringer der durch den Permanganatverbrauch erfaßbaren Schmutzstoffe sind durch die vorliegenden Untersuchungen die Abwassereinleitung der Cellulosefabrik Attisholz, die Reuß und vor allem die Limmat nachgewiesen worden.

5. Biochemischer Sauerstoffbedarf (Abb. 5)

Wie der Permanganatverbrauch, so erfährt auch der Biochemische Sauerstoffbedarf durch die Einleitung organisch belasteter Abwässer eine Zunahme und durch die im Fluß ablaufenden Selbstreinigungsvorgänge eine Verminderung. Während jedoch der Permanganatverbrauch ein Maß für die Gesamtheit aller oxydierbaren organischen Stoffe ergibt, wird durch die Bestimmung des Biochemischen Sauerstoffbedarfs (BSB_5) ein Maß für denjenigen Anteil dieser Stoffe gewonnen, die biochemisch oxydierbar sind und damit den Sauerstoffhaushalt des Flusses beeinflussen.

Am Untersuchungstage ergeben sich in Bezug auf den BSB_5 folgende Verhältnisse:

Station	Maximum mg/l	Minimum mg/l	Tagesmittel mg/l	Anfall t/Tag	Veränderungen des Anfalls t/Tag
Brügg	2,5	0,3	1,15	18,1	—
Arch	2,0	0,6	1,24	19,8	+ 1,7
Hohberg	1,9	0,5	1,04	16,6	— 3,2
Hohfuhren (Kanal)	4,0	1,8	2,31	—	—
Ruppoldingen	3,9	1,0	2,02	34,9	+ 18,3
Aarau	3,9	0,9	2,41	42,7	+ 7,8
Biberstein	3,8	1,4	2,16	38,6	— 4,1
Lauffohr — links	2,9	0,7	1,95	35,4	— 3,2
Lauffohr — rechts	5,1	1,4	2,57	25,3	—
Lauffohr total	—	—	—	60,7	+ 25,3
Stilli — links	5,6	0,9	2,99	—	—
Stilli — rechts	5,1	1,2	3,10	116,2	+ 55,5
Koblenz	3,6	1,4	2,54	95,5	— 20,7
					+ 77,4

Bei *Brügg* drückt sich der Einfluß der Abwässer von Biel deutlich darin aus, daß der BSB_5 nachts (21.30 Uhr bis 06.30 Uhr) dauernd unter 1,2 mg/l liegt, während tagsüber mit einer Ausnahme höhere Werte auftreten. Nehmen wir den mittleren Nachtwert (22.30 bis 05.30 Uhr) von etwa 0,7 mg/l als mittleren natürlichen BSB_5 des Aarewassers an, so ergibt sich eine durch die Abwassereinleitungen von Biel bedingte Zunahme von 0,45 mg/l. Der Abwasseranfall entspricht unter dieser Annahme etwa 7,1 t BSB_5/Tag oder rund 130 000 Einwohnergleichwerten. [8]

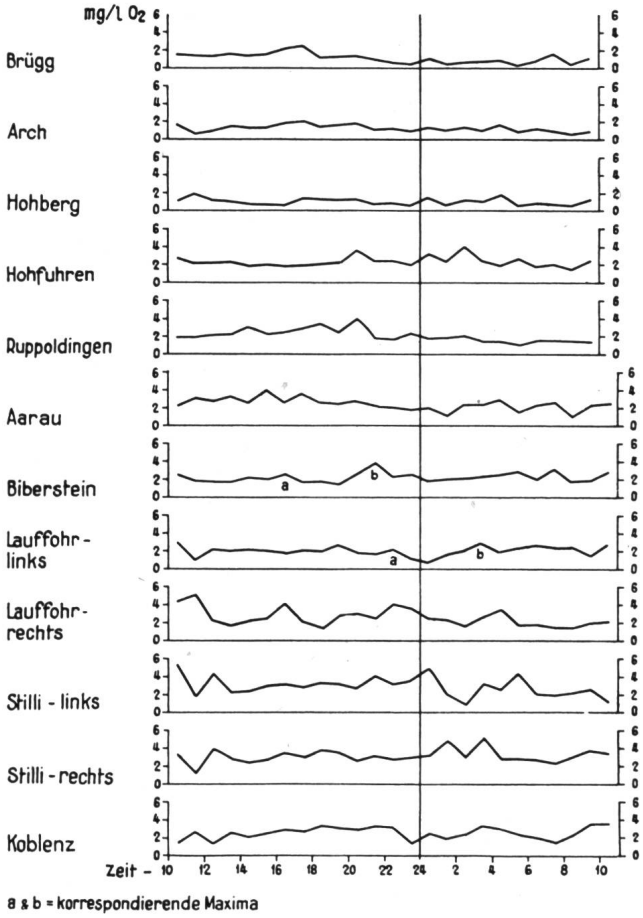


Abb. 5 Täglicher Gang des biochemischen Sauerstoffbedarfes in 5 Tagen (BSB_5).

Auf der Flußstrecke zwischen Brügg und *Arch* hat ein gewisser Ausgleich der durch die Bieler Abwasserbelastung hervorgerufenen Schwankungen stattgefunden. Doch ist die zeitliche Verschiebung der tagsüber in Biel stärker belasteten Wassermassen noch zu erkennen. Der auf der Strecke anzunehmende biochemische Abbau der Verschmutzung wird durch die Wirkungen zusätzlicher Abwasserbelastungen überdeckt.

Zwischen Arch und *Hohberg* ist die sich aus dem Tagesmittel der stündlichen Bestimmungen ergebende Abnahme des BSB_5 verhältnismäßig gering. Die Selbstreingungskonstante k′ läßt sich aus dieser kleinen Differenz nur sehr roh berechnen. Ohne Berücksichtigung der zusätzlichen Abwassereinleitungen wird k′ = 0,4 [9].

Eine beträchtliche Zunahme des BSB_5 erfolgt auf der Strecke Hohberg—*Hohfuhren*. Auf den Abfluß des Wangener Kanals bezogen, entspricht sie einem zusätzlichen Anfall von 13,2 t BSB_5/Tag oder rund 250 000 Einwohnergleichwerten. Entsprechend den beim Ka-

[8] Einwohnergleichwert = 54 g BSB_5/Tag.

[9] k′ ist ein Maß für die Geschwindigkeit der Selbstreinigungsvorgänge. Bei k′ = 0,4 verläuft die Selbstreinigung viermal rascher als der biochemische Abbau bei der laboratoriumsmäßigen Bestimmung des BSB (k′ = k = 0,1). Vgl. *H. Schmassmann*, Schweiz. Zeitschr. f. Hydrologie, Vol. XIII (1951), p. 325 ff.

liumpermanganatverbrauch dargestellten Verhältnissen ist dieser Wert etwa doppelt so groß wie der 1945/47 im Abwasser der Cellulosefabrik direkt ermittelte und der sich aus dem Vergleich der damals oberhalb und unterhalb Attisholz erhobenen Einzelproben ergebende. Durch die BSB_5-Bilanz wird somit der beim Kaliumpermanganatverbrauch erhaltene Befund bestätigt, daß seit 1946 eine erhebliche Verstärkung des Anfalls an oxydierbaren organischen Stoffen stattgefunden hat. Mit welchen Anteilen die Stadt Solothurn, die Emme-Mündung und die Cellulosefabrik Attisholz an der zwischen Hohberg und Hohfuhren erfolgenden erheblichen Zunahme der durch den BSB_5 erfaßbaren Verschmutzung im Einzelnen beteiligt sind, kann auf Grund der vorliegenden Untersuchungen nicht beurteilt werden.

In Hohfuhren erreicht der BSB_5 namentlich während der Nacht maximale Werte. Zwischen 20 und 4 Uhr beträgt sein Mittelwert im Wangener Kanal 2,8 mg/l und kann auf den ganzen Flußquerschnitt verteilt auf etwa 1,8 mg/l geschätzt werden. In *Ruppoldingen* beträgt der Mittelwert in dem entsprechend der Fließzeit verschobenen Zeitraum von 2 bis 10 Uhr nur 1,4 mg/l. Während der Nacht, wenn auf der Strecke Hohfuhren—Ruppoldingen nur eine geringe zusätzliche Verschmutzung stattfindet, wird demnach der BSB_5 durch Selbstreinigungsvorgänge vermindert, die einer Selbstreinigungskonstante von etwa $k' = 0{,}4$ entsprechen. Wenn im Tagesmittel zwischen Hohfuhren und Ruppoldingen trotzdem eine Zunahme des BSB_5 stattfindet, so ist dies auf eine sich vor allem tagsüber geltend machende zusätzliche Belastung zurückzuführen. In der täglichen Ganglinie verursacht diese bei Ruppoldingen eine ausgeprägte Tagesspitze.

Verfolgen wir die in Ruppoldingen BSB_5-Maxima aufweisenden Wassermassen flußabwärts bis Aarau, so stellen wir dort BSB_5-Werte fest, die im Vergleich zum Tagesmittel relativ niedrig sind. Die bei der oberhalb der Stadt gelegenen Probefassungsstelle Aarau auftretenden maximalen BSB_5-Werte müssen deshalb auf zusätzliche Belastungen der Strecke Ruppoldingen—Aarau zurückgeführt werden. Als Ursachen der verstärkten Verschmutzung fallen namentlich die Mündung des Aarburger Mühletychs und die Abwassereinleitungen der Stadt Olten in Betracht. Obwohl auch auf dieser Strecke Selbstreinigungsvorgänge angenommen werden müssen, führen die zusätzlichen Belastungen zu einer erheblichen Zunahme des BSB_5-Anfalls, die 7,8 t/Tag oder rund 150 000 Einwohnergleichwerten entspricht.

Zwischen dem Wehr Aarau und *Lauffohr* finden vor allem durch die Abwassereinleitungen der Städte Aarau und Brugg sowie durch die Mündungen der Suhre und der vereinigten Bünz und Aabach weitere zusätzliche Belastungen statt. Der durch die Selbstreinigungsvorgänge erfolgende Abbau übertrifft jedoch auf dieser Strecke die Zufuhr biochemisch oxydierbarer Stoffe.

Wie bei der Betrachtung des Kaliumpermanganatverbrauchs erweisen sich auch bei derjenigen des BSB_5 sowohl die Reuß als auch die Limmat als Zubringer erheblicher Schmutzstoffmengen. Im Gesamtabfluß von *Stilli* sind beim $KMnO_4$-Verbrauch 29 % auf die Aare, 13 % auf die Reuß und 58 % auf die Limmat, beim BSB_5 30 % auf die Aare, 22 % auf die Reuß und 48 % auf die Limmat zurückzuführen.

Da zwischen Stilli und *Koblenz* keine erheblichen Belastungen mehr stattfinden, kann die Strecke im wesentlichen als Selbstreinigungsstrecke betrachtet werden. Die sich aus dem Vergleich der Anfallwerte ergebende Selbstreinigungskonstante beträgt $k' = 0{,}3$.

Rechnen wir entsprechend den in bezug auf das Bielerseewasser gemachten Überlegungen mit einem natürlichen BSB_5 der vorliegenden Flußwässer von 0,7 mg/l, so ergibt sich für die Aare oberhalb der Reußmündung ein 420 000, für die Reuß ein 340 000 und für die Limmat ein 910 000 Einwohnergleichwerten entsprechender Anfall. Von diesen total 1,7 Millionen Einwohnergleichwerten verbleibt nach der auf der Strecke Stilli—Koblenz erfolgenden Selbstreinigung noch ein Anfall von 1,3 Millionen Einwohnergleichwerten, der durch die Tätigkeit des Menschen in dem unterhalb der Alpenrand- und Jurafuß-Seen gelegenen Teileinzugsgebiet der Aare verursacht wird.

Einer genaueren Bestimmung der Selbstreinigungskonstanten stellen sich am ganzen Aarelauf dadurch Schwierigkeiten entgegen, daß fast auf allen geprüften Strecken zusätzliche Belastungen stattfinden, deren Größe nur durch umfangreiche Abwasseruntersuchungen erfaßt werden könnte. Aus den durchgeführten Schätzungen der Selbstreinigungskonstante k' ergibt sich jedoch, daß sie sowohl auf den natürlichen als auch auf den gestauten Flußstrecken etwa $0{,}3 \pm 0{,}1$ betragen dürfte. Die Konstanz muß im wesentlichen darauf zurückgeführt werden, daß die Intensität der oxydativen Prozesse auf den turbulenteren Flußstrecken verstärkt ist, in den Stauräumen sich aber die Sedimentationsprozesse im Sinne einer Erhöhung von k' auswirken.

6. *Anorganische Stickstoffverbindungen (Abb. 6—8)*

Die Abwassereinleitungen führen den Flüssen anorganische und organische Stickstoffverbindungen zu. Durch die Abbauvorgänge werden die organischen Stickstoffverbindungen in Ammoniak und unter Mitwirkung oxydativer Prozesse in Nitrite und Nitrate übergeführt. Dadurch, daß beim oxydativen Abbau organischer Schmutzstoffe außer dem im Wasser gelösten auch der in den Nitraten gebundene Sauerstoff herangezogen wird, erfährt der Stoffhaushalt indessen eine erhebliche Komplikation.

Der an den einzelnen Probefassungsstellen beobachtete Anfall anorganischer Stickstoffverbindungen geht aus folgender Zusammenstellung hervor:

Station	Tagesmittel mg N/l				Anfall	Veränderungen des Anfalls
	Ammoniak	Nitrit	Nitrat	Total	t N/Tag	t N/Tag
Brügg	0,09	0,008	0,68	0,78	12,3	—
Arch	0,09	0,008	0,84	0,94	15,0	+ 2,7
Hohberg	0,09	0,008	0,68	0,78	12,4	— 2,6
Hohfuhren	0,11	0,008	0,39	0,51	—	—
Ruppoldingen	0,10	0,008	0,49	0,60	10,4	— 2,0
Aarau	0,08	0,015	0,99	1,09	19,2	+ 8,8
Biberstein	0,09	0,014	0,99	1,09	19,4	+ 0,2
Lauffohr — links	0,08	0,013	0,98	1,07	19,4	± 0,0
Lauffohr — rechts	0,17	0,006	0,24	0,42	4,1	—
Lauffohr total	—	—	—	—	23,5	+ 4,1
Stilli — links	0,23	0,014	0,27	0,51	—	—
Stilli — rechts	0,26	0,016	0,22	0,50	18,7	— 4,8
Koblenz	0,14	0,015	0,54	0,70	26,3	+ 7,6
						+ 14,0

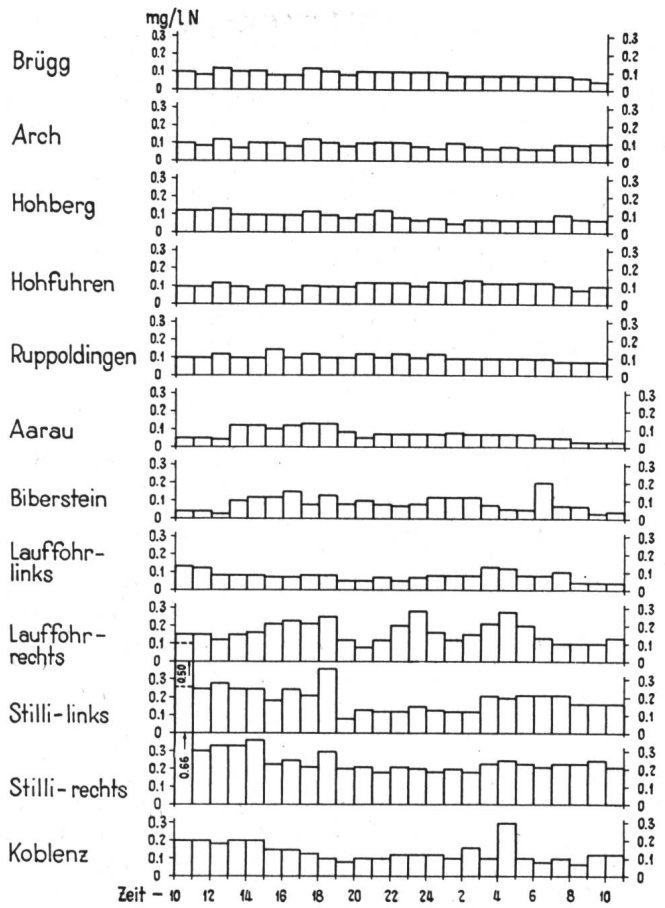


Abb. 6 Täglicher Gang des Ammonium-Stickstoffes.

Die mittlere *Ammonium-Konzentration* erfährt zwischen dem Bieler See und oberhalb der Reußmündung keine wesentliche Veränderung. Lediglich nach der Einleitung der Abwässer von Attisholz ist eine geringe Zunahme zu beobachten, welche durch die flußabwärts erfolgenden Selbstreinigungsvorgänge wieder kompensiert wird. Ein zwar nur ein geringes Ausmaß besitzendes, aber doch deutlich erkennbares Maximum tritt bei der Probefassungsstelle Aarau tagsüber zusammen mit den größeren BSB_5-Werten auf.

Erhebliche, im Tagesgang stark schwankende Zufuhren von Ammoniak-Stickstoff bringen erst Reuß und Limmat. Die sich bereits aus den BSB_5 und Permanganatverbrauchswerten im Vergleich zur Aare ergebende starke Verschmutzung dieser beiden Flüsse wird dadurch bestätigt. Bemerkenswert ist die im Reußzufluß (Lauffohr-rechts) vorhandene weitgehende Übereinstimmung zwischen den Tagesgängen des Ammoniak-Stickstoffs und des Permanganatverbrauchs.

Auf der Selbstreinigungsstrecke zwischen Stilli und Koblenz erfolgt dann eine wesentliche Abnahme des Ammoniak-Stickstoffs, ohne daß aber die oberhalb der Reußmündung vorhandenen relativ niederen Werte wieder erreicht würden.

Die *Nitrit-Konzentration* besitzt zwischen dem Bieler See und Ruppoldingen tagsüber ein Maximum. Da dieses flußabwärts keine zeitliche Verschiebung erfährt, ist es nicht durch wechselnde Abwasserbelastungen zu erklären. Vielmehr muß es auf eine durch die Strahlung direkt oder indirekt tagsüber verstärkte Nitritbildung zurückgeführt werden. Von der Probefassungsstelle Aarau an tritt dann eine Erhöhung und eine unregelmäßige Schwankung der Nitritwerte auf, was jedenfalls durch wechselnde Abwassereinflüsse bedingt ist. Auffallend sind die mit einer Ausnahme niederen Nitrit-Konzentrationen der dem Reußabfluß entsprechenden Probefassungsstelle Lauffohr-rechts.

Die *Nitrat-Konzentration* ist bei Brügg während der ganzen Beobachtungsperiode konstant. Vorläufig nicht erklärbar ist, daß die Nitrate bis Arch eine Zunahme zeigen, um dann bis Hohberg wieder auf den bei Brügg beobachteten Wert abzusinken. Eine erhebliche Abnahme erfährt die Nitrat-Konzentration zwischen Hohberg und Hohfuhren. Die Nitrat-Minima von Hohfuhren fallen im großen und ganzen mit den BSB-Maxima zusammen. Dies zeigt, daß ein Teil der Nitrate beim oxydativen Abbau der oberhalb Hohfuhren eingeleiteten Abwässer verbraucht wird. Da die Gesamtkonzentration der anorganischen Stickstoffverbindungen abnimmt, ist die Bildung elementaren Stickstoffs oder die organische Bindung eines Teils des anorganischen Stickstoffs anzunehmen. Auch bei Ruppoldingen ist der tägliche Gang der Nitrat-Konzentration dadurch gekennzeichnet, daß die minimalen Werte gleichzeitig mit der stärksten BSB_5-Belastung auftreten. Trotz den zusätzlichen Belastungen überwiegen dann zwischen Ruppoldingen und Biberstein Nitrifikationsprozesse, so daß es wieder zu einer erhöhten und im Tagesgang konstanten Nitrat-Konzentration kommt. Die mit organischen Schmutzstoffen stärker belasteten und relativ hohe Ammonium-Konzentrationen aufweisenden Flüsse Reuß und Limmat bringen nitratarme Wasser, so daß auch die Nitrat-Konzentration der Aare unterhalb der

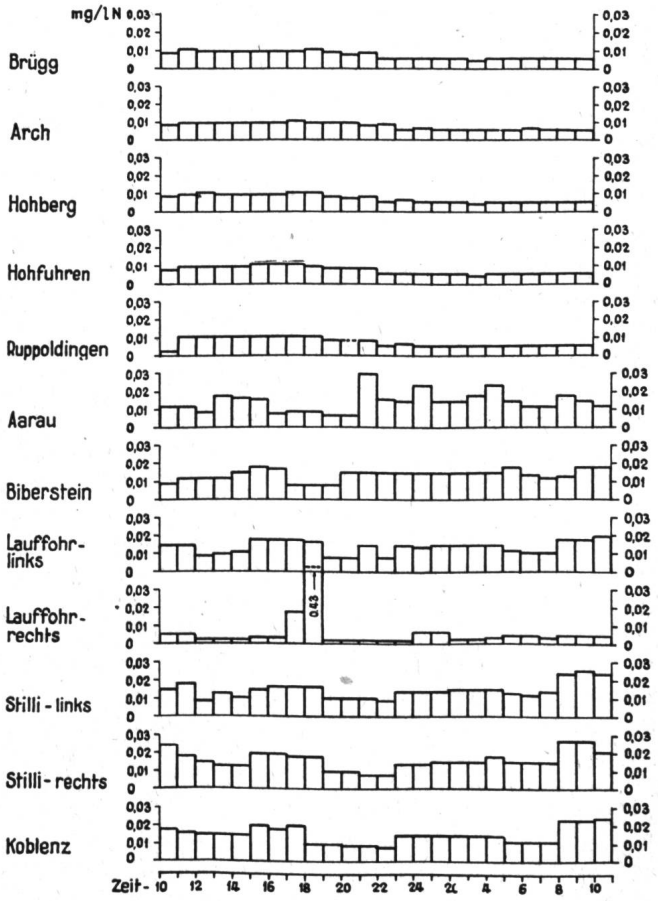


Abb. 7 Täglicher Gang des Nitrit-Stickstoffes.

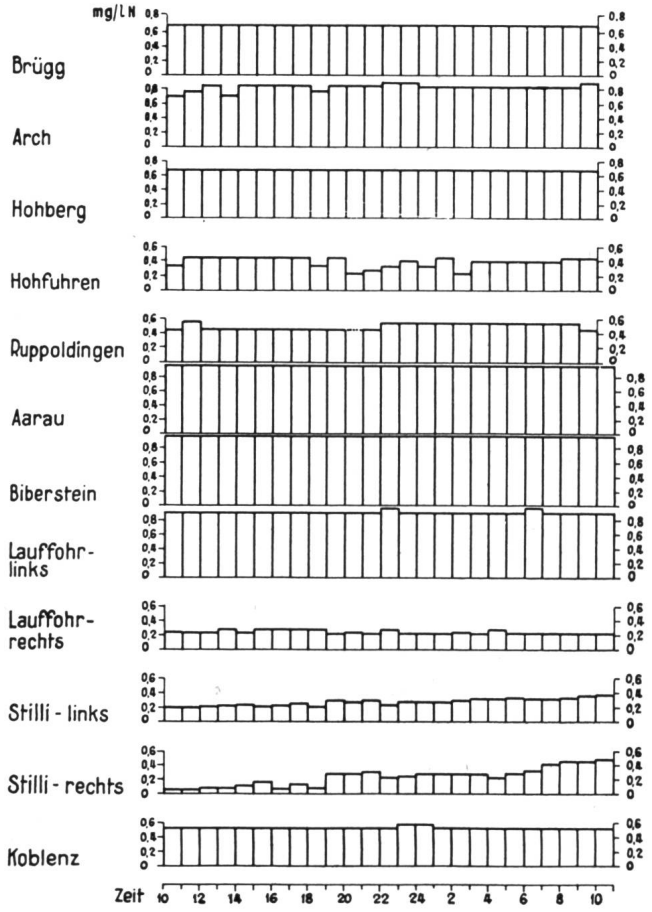


Abb. 8 Täglicher Gang des Nitrat-Stickstoffes.

Einmündung dieser Gewässer erniedrigt ist. Auf der Selbstreinigungsstrecke zwischen Stilli und Koblenz finden wieder Nitrifikationsprozesse statt, die zu einer Zunahme der Nitrat-Konzentration führen.

7. Sauerstoff (Abb. 9)

a) Allgemeines

Im Gleichgewicht mit der Atmosphäre besitzt das Wasser eine Sauerstoff-Konzentration, die von der Wassertemperatur und dem Partialdruck des Sauerstoffs in der Luft abhängig ist. Sie wird als Sauerstoff-Sättigungskonzentration bezeichnet. Durch Stoffwechselprozesse, die sich innerhalb des Wassers vollziehen, wird die effektive (aktuelle) Sauerstoff-Konzentration gegenüber dem Sättigungswert verändert. Durch die Assimilationstätigkeit der chlorophyllhaltigen Pflanzen findet eine Erhöhung, durch die Atmung (Dissimilation) der Organismen eine Erniedrigung der Sauerstoff-Konzentration statt. Durch einen Austausch mit der Atmosphäre können die als Folge der biochemischen Prozesse entstandenen Sauerstoff-Übersättigungen oder Sauerstoff-Defizite wieder verschwinden. Die Kenntnis des Sauerstoffhaushaltes bietet somit die Möglichkeit, die Art und das Ausmaß der sich im Gewässer vollziehenden Stoffwechsel- und Austauschprozesse zu erkennen.

b) Aare zwischen dem Bielersee und Hohberg

Bei Brügg, Arch und Hohberg ist der tägliche Gang der Sauerstoff-Konzentration durch die Assimilationstätigkeit grüner Pflanzen während des Tages und die Atmung der Organismen während der Nacht beherrscht. Tagsüber erreicht deshalb der Sättigungsindex an allen drei Orten 102 % (bei Hohberg einmal sogar 109 %), um nachts bis auf 91 bzw. 92 % zu sinken. Das Tagesmittel der Sauerstoff-Konzentration bleibt zwischen Brügg (10,0 mg/l), Arch (9,9 mg/l) und Hohberg (10,0 mg/l) praktisch konstant. Dies weist darauf hin, daß sich der biochemische Sauerstoffverbrauch einerseits und die biochemische Sauerstoffproduktion sowie die Sauerstoffaufnahme aus der Atmosphäre anderseits weitgehend das Gleichgewicht halten.

Im System der fließenden Gewässer von *H. Schmassmann* (1951) [10] sind die drei Stellen dem Gewässertyp 31 zuzuordnen. Dieser Zuordnung entspricht auch die etwa 0,1 mg/l betragende Ammonium-Konzentration [11]. Nach der Lage im Schema des täglichen Sauerstoff-Sättigungsindex (*H. Schmassmann*, 1951, Tabelle 3) ist auf ein Gewässer zu schließen, das sich im Übergang von der α-mesosaproben zur β-mesosaproben Stufe befindet.

c) Aare zwischen Hohberg und Ruppoldingen

Die besprochenen Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, daß der Stoffhaushalts-Charakter der Aare durch die Einleitung von Abwässern in der Region Solothurn eine grundlegende Änderung erfährt. Auf den Sauerstoffhaushalt drückt sich der Einfluß der oxydierbaren organischen Stoffe darin aus, daß bei Hohfuhren im Allgemeinen mit einer Erhöhung des BSB_5 eine Erniedrigung der Sauerstoffkonzentration stattfindet. Lediglich in den frühen Morgenstunden sinkt die Sauerstoff-Konzentration noch tiefer, als dies im Vergleich zu den übrigen Tageszeiten der gerade aktuellen BSB_5-Belastung entsprechen würde. Diese Erscheinung hängt damit zusammen, daß sich während dieser Stunden weder die flußaufwärts noch die örtlich durch assimilatorische Prozesse erfolgenden Sauerstoff-Erhöhungen geltend machen können. In den übrigen Tagesstunden vermag die Assimilation dagegen den durch dissimilatorische Vorgänge verbrauchten Sauerstoff teilweise zu kompensieren. Wie jedoch die mit einem Sättigungsindex zwischen 84 % und 96 % dauernd unter der Sättigung liegende Sauerstoffkonzentration zeigt, wird die Assimilation während der gesamten Untersuchungsperiode von der Dissimilation übertroffen. Durch dieses Überwiegen der dissimilatorischen Prozesse sinkt das Tagesmittel der Sauerstoff-Konzentration zwischen Hohberg und Hohfuhren um 0,7 mg/l auf 9,3 mg/l.

Nimmt man an, die mittlere Sauerstoff-Konzentration des bei Hohfuhren über das Wehr fließenden Wassers entspreche derjenigen der Aarestrecke Brügg—Hohberg, so ergibt sich in Hohfuhren für Aare und Kanal ein gemittelter Mittelwert von 9,5 mg/l Sauerstoff. Das in Ruppoldingen beobachtete Tagesmittel von 9,7 mg/l weist somit für die Strecke Hohfuhren—Ruppoldingen auf ein gewisses Überwiegen assimilatorischer Vorgänge hin. Dies wird auch durch den täglichen Gang der Sauerstoff-Konzentration und des Sättigungsindex bestätigt, welcher wiederum dem oberhalb Attisholz beobachteten Typ angehört. Mit einem tags-

[10] Untersuchungen über den Stoffhaushalt fließender Gewässer. Schweiz. Zeitschrift für Hydrologie, Vol. XIII (1951), p. 300—335.

[11] In Abweichung der von *H. Schmassmann* (1951) gegebenen Darstellung ist allerdings festzustellen, daß der Anteil des Ammoniak-Stickstoffs am Gesamtstickstoff bei den vorliegenden niederen Nitrat-Werten prozentual noch deutlich in Erscheinung treten kann.

über vorhandenen Maximalwert von 102 % und einem nachts bis auf 81 % sinkenden Minimalwert ist allerdings die Amplitude des Sättigungsindex von Ruppoldingen gegenüber den oberhalb Attisholz untersuchten Stellen erhöht, was auf eine Intensivierung sowohl der assimilatorischen als auch der dissimilatorischen Prozesse hinweist. Ein ausgeprägtes Sauerstoff-Minimum ist bei Ruppoldingen nachts in dem der Fließzeit entsprechenden Abstand von der im Kanal bei Hohfuhren festgestellten Zeit maximaler BSB_5-Werte zu beobachten. Das Fehlen assimilatorischer Vorgänge läßt während dieser Zeit die auf der Strecke Hohfuhren-Ruppoldingen stattfindenden intensiven Abbauvorgänge, die bereits in einer Abnahme des BSB_5 erkannt wurden, deutlich in Erscheinung treten.

Zusammenfassend erkennt man, daß die Dissimilationsvorgänge nach Einleitung der Abwässer von Attisholz den dominierenden Einfluß auf den Sauerstoffhaushalt gewinnen, die assimilatorischen Prozesse sich aber auch hier noch geltend machen können. Der tägliche Gang entspricht damit im System von *H. Schmassmann* dem Gewässertyp 2, welcher an den Beginn der α-mesosaproben Stufe zu stellen ist. In Ruppoldingen ist der tägliche Gang des Sauerstoffs dagegen wieder eindeutig durch die Assimilationstätigkeit während des Tages und die Atmung der Organismen während der Nacht beherrscht. Die Aare ist somit an dieser Stelle demselben Typus des Sauerstoffhaushalts zuzuordnen wie oberhalb von Attisholz.

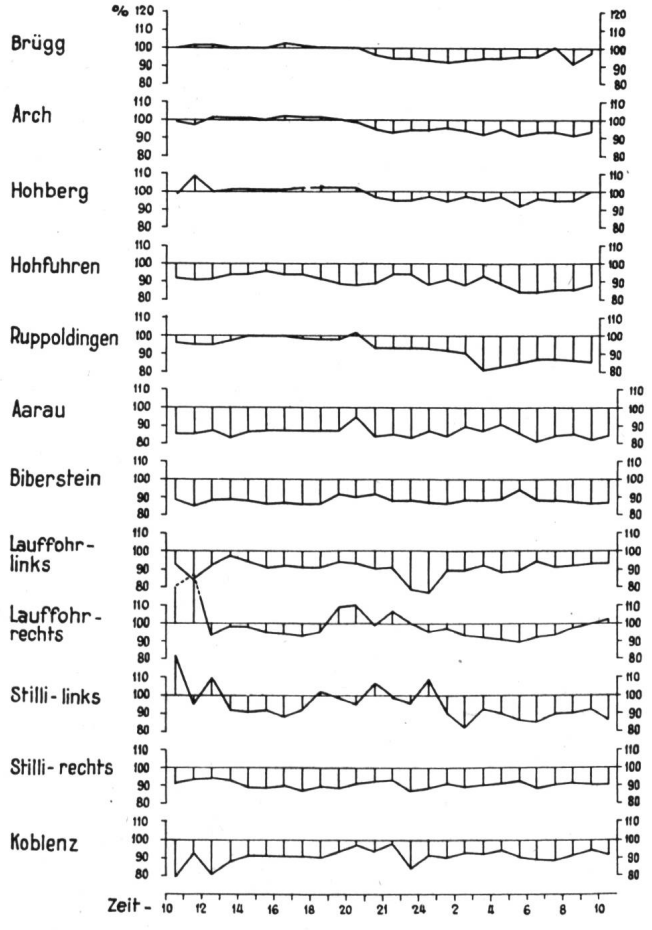


Abb. 9 Täglicher Gang des Sauerstoff-Sättigungsindex.

d) Aare zwischen Ruppoldingen und Reußmündung

Zwischen Ruppoldingen und Aarau sinkt die mittlere Sauerstoff-Konzentration um 0,8 mg/l auf 8,9 mg/l. Als Folge des Überwiegens dissimilatorischer Vorgänge bleibt der Sauerstoff-Sättigungsindex in Aarau dauernd unter 100 % und mit Ausnahme von zwei Proben unter 90 %; während der Nacht sinkt er sogar bis auf 81 % hinunter.

Der tägliche Gang des Sauerstoffs zeigt bei Aarau einen sehr unregelmäßigen Verlauf, was mit dem unausgeglichenen Chemismus in Einklang steht, wie er z. B. aus den Tagesgängen des BSB_5 sowie des Ammoniak- und des Nitrit-Stickstoffs hervorgeht. Ein Vergleich der Sauerstoff-Verhältnisse mit den BSB_5-Verhältnissen ergibt keinen engen Zusammenhang zwischen den beiden Faktoren. Immerhin kann festgestellt werden, daß die Sauerstoff-Konzentrationen tagsüber trotz höheren BSB-Werten im allgemeinen nicht tiefer sinken als während der Nacht, was auf die Wirkung assimilatorischer Prozesse zurückgeführt werden muß.

Bemerkenswert ist, daß das Maß der den Sauerstoffhaushalt beeinflussenden Verschmutzung besser in den Werten des Permanganatverbrauchs als in denjenigen des BSB_5 zu erkennen ist. So fällt die um 20.30 Uhr auftretende Sauerstoffspitze in die Zeit eines Permanganatverbrauchs-Minimums. Dem in der ersten Hälfte Nacht vorhandenen Permanganatverbrauchs-Maximum entspricht ein deutliches Sauerstoff-Minimum, während die Sauerstoff-Werte in der zweiten Hälfte der Nacht mit dem Fallen des Permanganatverbrauchs wieder steigende Tendenz besitzen. Mit den am Morgen ansteigenden Permanganatwerten sinkt dann auch wieder die Sauerstoff-Konzentration. Da sich die Permanganatverbrauchsspitzen — wie weiter oben gezeigt wurde — auf die Abwässer von Attisholz zurückführen lassen, ist anzunehmen, daß sich der nur langsam vollziehende Abbau der betreffenden Schmutzstoffe auf den Sauerstoffhaushalt auszuwirken beginnt.

Zwischen Aarau und Biberstein erfährt die mittlere Sauerstoff-Konzentration nur eine geringe Zunahme um 0,1 mg/l auf 9,0 mg/l. Da auch tagsüber keine merkliche Zunahme des Sauerstoffs zu verzeichnen ist, überwiegt der Austausch mit der Atmosphäre gegenüber der Assimilation grüner Pflanzen beim Ersatz des durch die dissimilatorischen Prozesse verbrauchten Sauerstoffs. Die nächtliche Sauerstoffspitze fällt wie bei Aarau in die Zeit der durch die Permanganatverbrauchs-Werte angezeigten geringsten Verschmutzung, und wie dort sinkt auch die Sauerstoff-Konzentration am Morgen mit dem Ansteigen der Permanganatverbrauchs-Werte. Zur Erklärung der am Abend zwischen 19.30 und 21.30 Uhr auftretenden Sauerstoffspitze fehlen dagegen schlüssige Anhaltspunkte.

Im Tagesmittel steigt die Sauerstoff-Konzentration zwischen Biberstein und Lauffohr-links von 9,0 um 0,4 auf 9,4 mg/l an. Mit Ausnahme von drei bei Lauffohr-links beobachteten extrem niedrigen Werten ist eine Zunahme sowohl tagsüber als auch nachts festzustellen, was den dominierenden Einfluß des Austausches mit der Atmosphäre illustriert. Allerdings weisen die tagsüber im allgemeinen etwas erhöhten Sauerstoff-Konzentrationen auch auf die Mitwirkung assimilatorischer Vorgänge bei der Sauerstoffanreicherung hin. Auffällig ist das vor und nach Mitternacht mit nur 8,2 bzw. 8,0 mg/l

(79 bzw. 77 %) auftretende Sauerstoff-Minimum, welches durch die nachweisbaren Belastungen mit biochemisch bzw. chemisch oxydierbaren Stoffen keine Erklärung findet. Diese Erscheinung kann nur damit erklärt werden, daß zeitweise eine außerordentliche Intensivierung der Dissimilationsprozesse oder aber eine wechselnde Beeinflussung des Sauerstoff-Haushaltes durch den im Flußbett abgelagerten Schlamm stattfindet.

Eine abschließende Wertung des bei Aarau, Biberstein und Lauffohr beobachteten Sauerstoffhaushaltes ergibt, daß die betreffende Aarestrecke dem der α-mesosaproben Zone entsprechenden Gewässertyp 2 (nach *H. Schmassmann*) zuzuordnen ist. Durch die zahlreichen Abwassereinleitungen findet demnach unterhalb Ruppoldingen eine deutliche Verstärkung des Verschmutzungsgrades statt.

e) Der Einfluß der Reußmündung

Der tägliche Gang des Sauerstoffs zeigt bei der dem Reußzufluß entsprechenden Probefassungsstelle Lauffohr-rechts Beziehungen zu den wechselnden Permanganatverbrauchs- und Ammoniak-Stickstoff-Werten. Bei relativ geringer Verschmutzung des Reußzuflusses treten tagsüber als Folge der Assimilationstätigkeit chlorophyllhaltiger Pflanzen zeitweise erhebliche Sauerstoffübersättigungen (bis 13,1 mg/l = 126 %) auf. Die weiter flußaufwärts in der Reuß ablaufenden assimilatorischen Prozesse machen sich bei Lauffohr-rechts bis tief in die Nacht hinein geltend. Die im allgemeinen durch erhöhte Permanganatverbrauchswerte erfaßten, periodisch auftretenden stärkeren Verschmutzungen lassen jedoch die Dissimilationsprozesse auch tagsüber zu bestimmten Zeiten überwiegen, so daß es dann zu einem Sauerstoffdefizit kommt. Das Minimum der Sauerstoff-Konzentration wird jedoch erst nach Mitternacht bei fehlendem Einfluß von Assimilationsprozessen und zugleich starker Verschmutzung mit 9,3 mg/l (= 89 %) erreicht.

Im Tagesmittel beträgt die Sauerstoff-Konzentration des Reußzuflusses 10,3 mg/l. Sie ist somit fast 1 mg/l höher als in der Aare. Ein Vergleich des Sauerstoffhaushaltes des Reußzuflusses mit demjenigen der Aare oberhalb der Reußmündung weist darauf hin, daß der weitgehend natürliche Reußlauf sowohl die Assimilationstätigkeit als auch die Sauerstoffaufnahme aus der Atmosphäre begünstigt. Obwohl die Reuß stärker mit organischen Stoffen belastet ist als die Aare, zeigt sie deshalb günstigere Sauerstoffverhältnsse als der zahlreiche Staustufen aufweisende Aarelauf.

f) Der Einfluß der Limmatmündung

Im täglichen Gang des Sauerstoffs sind bei der Probefassungsstelle Stilli-links sowohl die Elemente des Sauerstoffhaushaltes der Aare oberhalb der Reußmündung als auch diejenigen der Reuß zu erkennen. Das Tagesmittel der Sauerstoff-Konzentration von Stilli-links liegt mit 9,9 mg/l zwischen demjenigen von Lauffohr-links (Aarezufluß = 9,4 mg/l) und demjenigen von Lauffohr-rechts (Reußzufluß = 10,3 mg/l).

Die Probefassungsstelle Stilli-rechts besitzt dagegen im Tagesmittel nur eine Stauerstoff-Konzentration von 9,4 mg/l. In diesem Mischwasser von Aare, Reuß und Limmat macht sich ein sauerstofferniedrigender Einfluß des Limmat-Zuflusses geltend. Die Limmat gleicht jedoch auch die in Aare und Reuß vorhandenen täglichen Schwankungen etwas aus, so daß die tägliche Amplitude der Konzentration nur 0,7 mg/l beträgt gegenüber 2,0 mg/l bei Lauffohr-links, 3,8 mg/l bei Lauffohr-rechts und 4,0 mg/l bei Stilli-links.

g) Die Aare zwischen Limmatmündung und Rhein

Das Tagesmittel der Sauerstoff-Konzentration von Koblenz entspricht mit 9,4 mg/l demjenigen von Stilli-rechts. Doch ist der tägliche Gang mit einer Amplitude von 1,8 mg/l wesentlich unausgeglichener als dort. Er weist darauf hin, daß zwischen Stilli und Koblenz sowohl sauerstoffverbrauchende als auch sauerstoffproduzierende Prozesse in erheblichem Ausmaße stattfinden. Die sich bei Betrachtung des Tagesmittels scheinbar ergebende Konstanz ist lediglich die Resultante dieser beiden entgegengesetzt wirkenden Vorgänge.

Ein direkter Zusammenhang zwischen der Sauerstoff-Konzentration und der in Koblenz selbst nachweisbaren Schmutzstoff-Belastung ist nicht zu erkennen. Das zwischen 19 und 23 Uhr auftretende deutliche Sauerstoff-Maximum muß jedenfalls auf Assimilationsprozesse zurückgeführt werden, die am Nachmittag auf einer flußaufwärts gelegenen Strecke stattfanden. Das nächtliche Maximum (2—5 Uhr) ist dagegen vermutlich noch durch die in einem der Fließzeit entsprechenden Abstand bei Stilli vorhandenen und hauptsächlich dem Reußzufluß zu verdankenden relativ sauerstoffreichen Wasser bedingt. Die bei Koblenz sehr unregelmäßig auftretenden und bis 8,4 mg/l (79 %) sinkenden Sauerstoff-Minima können nicht auf etwelche außerordentliche Schmutzstoff-Belastungen des fließenden Wassers zurückgeführt werden. Es ist deshalb anzunehmen, daß sie durch sauerstoffzehrende Austauschprozesse mit dem im Klingnauer Stausee abgelagerten Schlamm verursacht werden. Außer den erwähnten Einflüssen können jedoch u. U. auch Betriebsänderungen des Kraftwerks Klingnau von einem gewissen Einfluß auf den täglichen Gang der Sauerstoff-Konzentration sein.

D. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

1. Allgemeines

a) Zur Lokalisierung der Verschmutzungsursachen

Das Ziel der Untersuchungen bestand darin, den allgemeinen Verunreinigungsgrad der Aare und dessen flußabwärts erfolgenden Veränderungen kennen zu lernen. Aus untersuchungstechnischen Gründen mußte dabei zum vornherein darauf verzichtet werden, den Einfluß aller die Aare mit Schmutzstoffen belastenden Abwassereinleitungen und Nebenflüsse im einzelnen zu erfassen. Zum Beispiel ist es nicht möglich, auf Grund der Untersuchungen festzustellen, welche Anteile der Zufluß der Wigger sowie die Abwässer von Aarburg, Olten, Schönenwerd usw. an der zwischen Ruppoldingen und Aarau beobachteten beträchtlichen Verschmutzungszunahme besitzen. Zur Beurteilung der Herkunft der Verschmutzungen können unsere Untersuchungsergebnisse in der Regel nur insoweit herangezogen werden, als es sich darum handelt, festzustellen, welchen Einfluß die Gesamtheit aller Verunreingungsherde größerer Regionen auf die Beschaffenheit des Aarewassers ausüben. Das Ziel weiterer von den einzelnen Kantonen auszuführenden Untersuchungen wird es sein müssen, gestützt auf die vorliegenden Ergebnisse die einzelnen Verunreinigungsherde innerhalb der größeren Regionen zu lokalisieren.

Da das Ausmaß vieler örtlicher Zunahmen der Belastung entweder infolge weiterer Belastungen oder aber infolge von Selbstreinigungsvorgängen an den flußabwärts gelegenen Probefassungsstellen nicht mehr erkennbar ist, vermag die Darstellung der verschiedenen Verschmutzungsindikatoren im Längsprofil nur einen generellen Überblick zu bieten. Die im Aarelauf stattfindenden Veränderungen der Wasserbeschaffenheit können aus den schematischen Längsprofilen (Abbildung 10) und aus einem Vergleich der auf den Abb. 3 bis 9 dargestellten täglichen Ganglinien der wichtigsten Verschmutzungsindikatoren erkannt werden.

b) Bewertung des Untersuchungstages

Durch die am 30. September und 1. Oktober 1952 ausgeführten Untersuchungen wurde der Zustand der Aare bei einer verhältnismäßig niederen Wasserführung erfaßt. Doch wird der am Untersuchungstage vorhandene Abfluß im langjährigen Mittel noch an rund 30 % aller Tage unterschritten. Die durch die Einleitung von Abwässern erfolgenden Belastungen können sich demnach während längeren Zeiträumen in einem noch wesentlich verstärkten Maße auf die Wasserqualität ungünstig auswirken, als dies aus den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchungen hervorgeht.

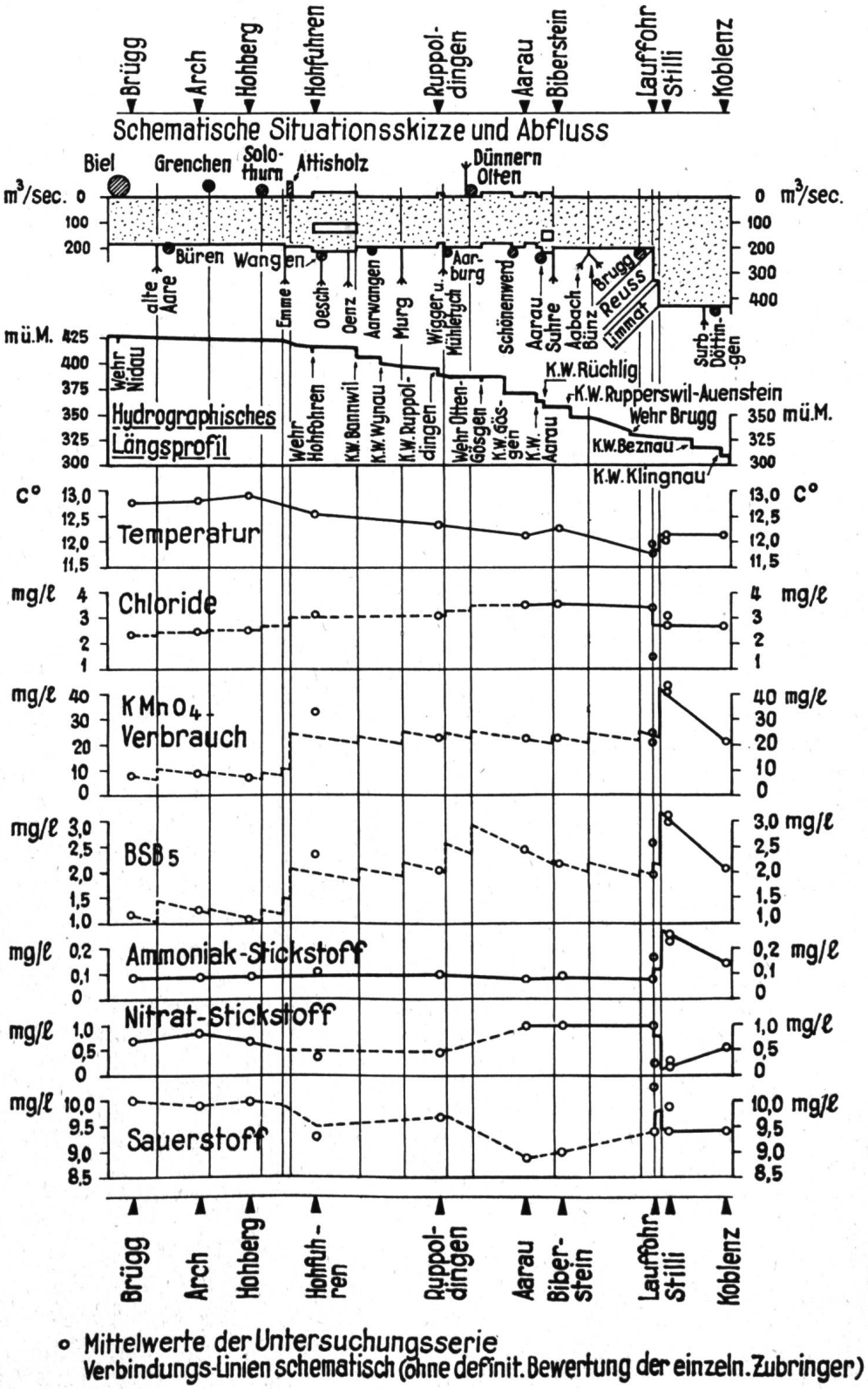


Abb. 10
Längsprofil der Aare vom Bielersee bis zur Mündung in den Rhein.

2. Der Zustand der Aare

a) Bielersee bis Hohberg

Der biochemische Abbau der eingeleiteten Schmutzstoffe hat am Untersuchungstage auf der ganzen, unterhalb der Stadt Biel beginnenden und bei der Mündung der Aare in den Rhein endenden Flußstrecke einen Verbrauch von im Wasser gelöstem Sauerstoff zur Folge. Bis Hohberg wird dieser Sauerstoffverbrauch tagsüber durch die sauerstoffproduzierenden Assimilationsprozesse kompensiert, so daß die mittlere Sauerstoff-Konzentration nur wenig unter dem Sättigungswert liegt. Auf Grund der örtlichen Verhältnisse muß angenommen werden, daß dieser verhältnismäßig gute Zustand der Aare bis zu den erheblichen Abwassereinleitungen in der Region Solothurn anhält.

Dieser Zustand darf jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß auch die zwischen dem Bielersee und der Region von Solothurn erfolgenden Abwassereinleitungen zur allgemeinen Verschmutzung beitragen und daß durch diese die flußabwärts zulässige zusätzliche Belastung vermindert wird. So sind z. B. entsprechend der beobachteten Selbstreinigungsgeschwindigkeit ($k' = 0{,}4$) bis Hohfuhren höchstens etwa die Hälfte der durch die Stadt Biel eingeleiteten biochemisch oxydierbaren Stoffe abgebaut.

b) Hohberg bis Ruppoldingen

Durch die Einleitung von Abwässern erfährt der Zustand der Aare im Raume von Solothurn eine erhebliche Verschlechterung. Vor allem nehmen die durch den Permanganatverbrauch erfaßten und sehr wahrscheinlich hauptsächlich auf die Cellulosefabrikabwasser zurückzuführenden organischen Stoffe sprungartig zu. Da sie den Abbauprozeßen zu einem großen Teil nur langsam zugänglich sind, wirken sie sich bis zum Rhein als wesentlicher Teil der Gesamtverschmutzung aus. Ein Teil der eingeleiteten Schmutzstoffe ist indessen einem rascheren Abbau unterworfen. In dem zusätzlich verunreinigten Aarewasser kommt es deshalb zunächst zu einem starken Sauerstoffschwund, der im Wangener Kanal bei Hohfuhren dauernd ein Sauerstoff-Defizit verursacht.

Bis Ruppoldingen finden weitere Abwassereinleitungen statt, die zur allgemeinen Verschmutzung beitragen. Trotzdem kann sich der Zustand des Gewässers zwischen Hohfuhren und Ruppoldingen so weit erholen, daß die sauerstoffverbrauchenden Vorgänge tagsüber durch sauerstoffproduzierende Prozesse übertroffen werden. Nachts hält dagegen der mit den Selbstreinigungsvorgängen erfolgende Sauerstoffschwund an.

Insgesamt resultiert aus der zwischen Bielersee und Ruppoldingen erfolgten zusätzlichen Belastung und aus den Selbstreinigungsvorgängen ein Anfall an organischen Stoffen, der einem BSB_5 von 23,9 t/Tag oder rund 440 000 Einwohnergleichwerten entspricht. Unter Berücksichtigung der bis Ruppoldingen erfolgten Selbstreinigung entfallen hievon 40 bis 50 % auf die Abwässer der Region Solothurn.

c) Ruppoldingen bis Reußmündung

Zwischen Ruppoldingen und Aarau findet eine starke Zunahme der Verschmutzung statt, so daß der Anfall an organischen Stoffen trotz der Selbstreinigungsprozesse um einen 7,8 t/Tag BSB_5 oder um rund 150 000 Einwohnergleichwerten entsprechenden Betrag ansteigt. Durch die zusätzliche Belastung wird auch der Sauerstoffhaushalt ungünstig beeinflußt, so daß die sauerstoffverbrauchenden Abbauprozesse während des ganzen Tages dominieren.

Da unterhalb der Probefassungsstelle Aarau weitere Zufuhren von Schmutzstoffen stattfinden, bleibt die Sauerstoffbilanz des Gewässers bis zur Reußmündung während des ganzen Tages negativ.

d) Reußmündung bis Rhein

Sowohl die Reuß als auch die Limmat weisen höhere Konzentrationen der durch den BSB_5 erfaßten organischen Stoffe als die Aare oberhalb der Reußmündung auf. Nach der Einmündung der Reuß und in noch verstärktem Maße nach der Einmündung der Limmat findet deshalb eine beträchtliche Verschmutzungszunahme der Aare statt. Selbst nach den bis zum Rhein erfolgenden Selbstreinigungs-Vorgängen bleibt der mittlere BSB_5 höher als an irgendeiner oberhalb der Reußmündung gelegenen Stelle. Betrachten wir an der Aaremündung den gesamten auf die Tätigkeit des Menschen unterhalb der Alpenrand- und Jurafuß-Seen zurückzuführenden Anfall an organischen Stoffen, so entfallen davon entsprechend den BSB_5-Werten 25 % auf die Aare oberhalb der Reußmündung, 20 % auf die Reuß und 55 % auf die Limmat.

In der Reuß kann es zeitweise trotz der erheblichen Verschmutzung zu einem Überwiegen der sauerstoffproduzierenden über die sauerstoffverbrauchenden Vorgänge kommen, was sich auch noch in der Aare auf den Sauerstoffhaushalt günstig auszuwirken vermag. Diese Erscheinung ist jedenfalls auf die raschere Strömung der Reuß zurückzuführen. Nach Durchmischung von Aare-, Reuß- und Limmatwasser wird jedoch die Sauerstoffbilanz während des ganzen Tages wieder deutlich negativ.

3. Die zulässige Belastung der Aare

a) Allgemeines

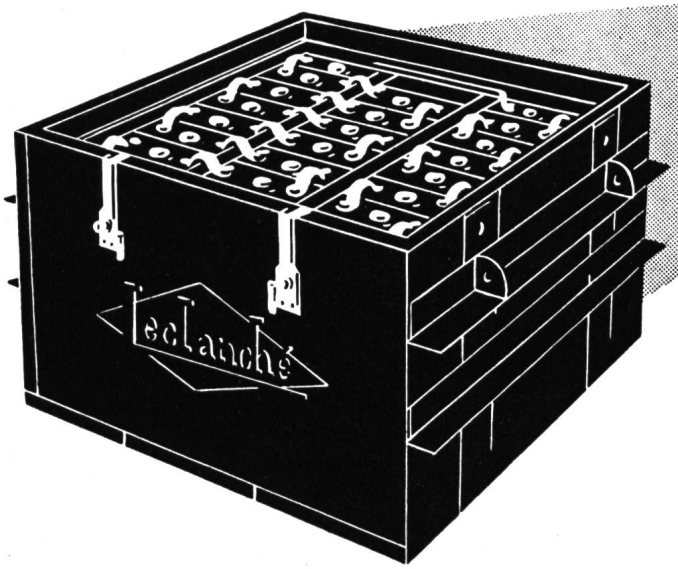
Die Festlegung einer zulässigen Belastung der Aare hat vor allem davon auszugehen, daß Grundwasservorkommen an verschiedenen Orten durch die Infiltration von Aarewasser gespiesen werden, daß das Aarewasser in vermehrtem Maße direkt zur Deckung des industriellen Wasserbedarfs herangezogen werden muß und daß der Fluß hygienisch unbedenkliche Badegelegenheiten für die Bevölkerung bieten soll.

b) Die Aare als Badegelegenheit

Die an die Aare als Badegelegenheit zu stellenden Anforderungen sind in erster Linie bakteriologischer Art. Doch spielen auch ästhetische Gesichtspunkte eine wesentliche Rolle. Bei der vorliegenden, sich auf chemische Untersuchungsergebnisse stützenden Beurteilung muß angenommen werden, daß diese Anforderungen zumindest dann nicht erreicht werden, solange der Stoffhaushalt des Gewässers eine negative Sauerstoffbilanz aufweist und solange absetzbare, zu Faulschlammablagerungen führende Abwasserstoffe in die Aare eingeleitet werden.

c) Die Benützung der Aare zur Wassergewinnung

Bei der direkten Nutzung von Flußwasser ist es heute technisch möglich, durch Aufbereitungsmaßnahmen auch aus stark verschmutztem Rohwasser ein ge-



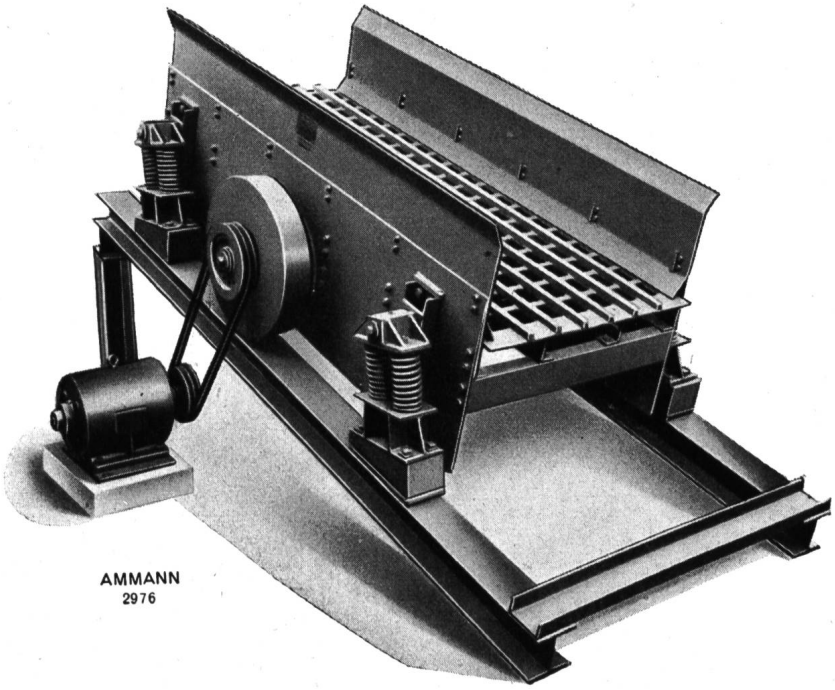
Leistungsfähig + dauerhaft

LECLANCHÉ S.A.

ABTEILUNG AKKUMULATOREN

YVERDON

BLEI-TRAKTIONSBATTERIEN FÜR JEDEN ZWECK.
UNSERE NORMALEN ODER VERSTÄRKTEN AUSFÜHRUNGEN GEWÄHREN MAXIMALE LEISTUNGEN UND SIND ÄUSSERST SPARSAM IM BETRIEB.



AMMANN
2976

Sämtliche Maschinen für

Gesteinszerkleinerung

Kies- und Sandaufbereitung

Erdbewegung und -Transport

Straßenbau und -Unterhalt

← Stückgutscheider zum Ausscheiden grober Blöcke, die die Siebanlage beschädigen könnten.

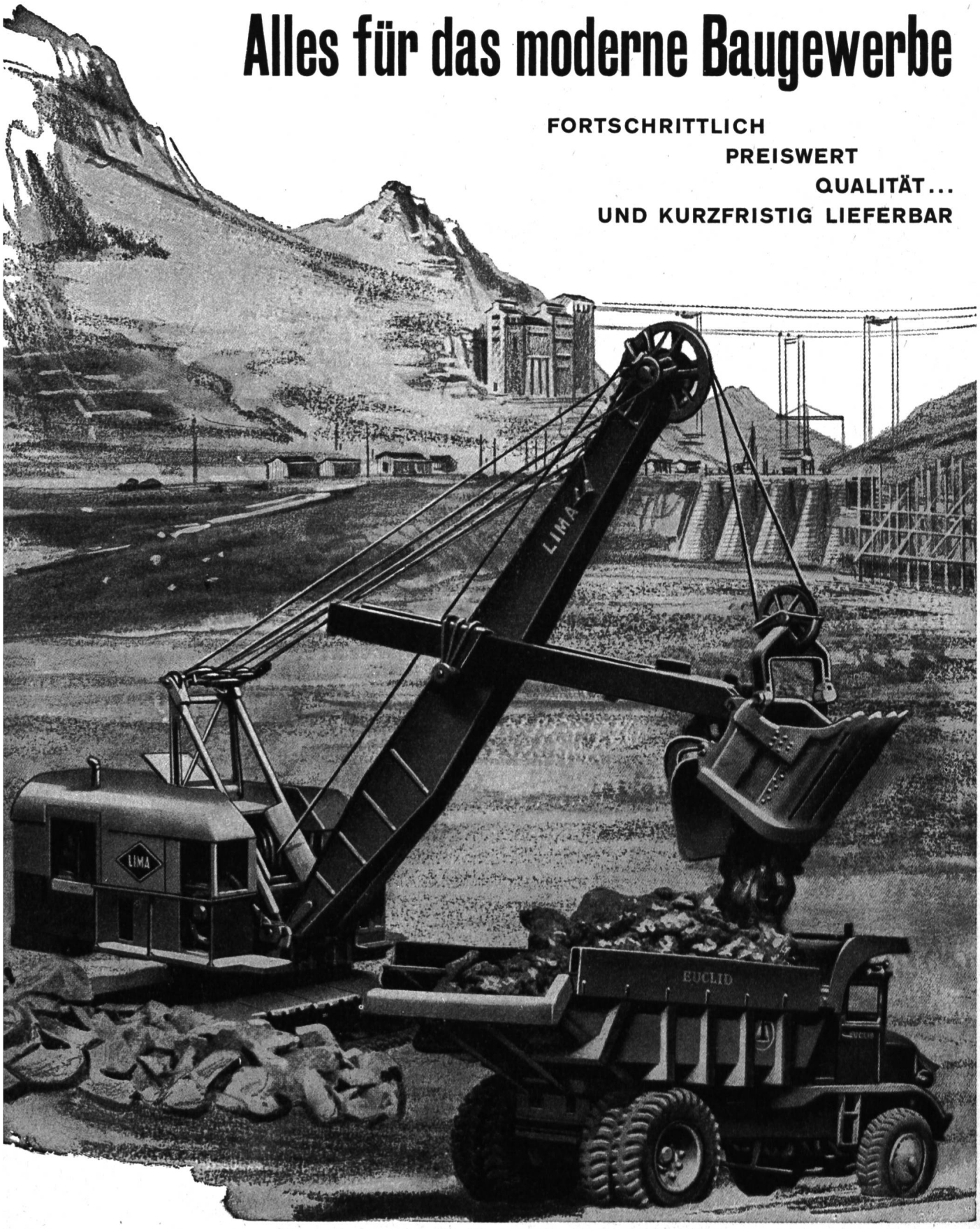
U. AMMANN

Maschinenfabrik AG Tel. (063) 2 27 02 **Langenthal**

Mustermesse Basel Halle VIII Stand Nr. 3064

Alles für das moderne Baugewerbe

FORTSCHRITTLICH
PREISWERT
QUALITÄT...
UND KURZFRISTIG LIEFERBAR



CHARLES KELLER, Baumaschinen, ZÜRICH 1

Bureau Lausanne
7, Av. du Théâtre
Téléphone (021) 23 40 91

Theaterstraße 10
Telephon (051) 34 37 34

eignetes Brauchwasser zu gewinnen. Die Kosten der Aufbereitung sind jedoch um so höher, je verschmutzter das Rohwasser ist. Bei nicht oder nur mäßig verunreinigtem Wasser kann für viele Verbrauchszwecke sogar auf eine Aufarbeitung verzichtet werden. Eine möglichst geringe Verschmutzung ist deshalb bei der direkten Aufbereitung von Flußwasser in jedem Falle von Vorteil. Je wirtschaftlicher die direkte Nutzung des Flußwassers gestaltet werden kann, d. h. je geringere Kosten die Aufarbeitung erfordert, um so mehr werden unsere Grundwasservorkommen für die eigentlichen Trinkwasserversorgungen reserviert werden können.

d) Speisung der Grundwasservorkommen aus der Aare

Über den Einfluß infiltrierten Flußwassers auf die Grundwasservorkommen liegen aus den Gebieten des Aareunterlaufs und des durch die Aareverschmutzung betroffenen Rheins verschiedene Erfahrungen vor. Sie zeigen, daß der sich im Untergrund vollziehende Abbau der im Flußwasser enthaltenen Schmutzstoffe bis zum vollständigen Sauerstoffschwund führen kann. In dessen Folge werden u. a. Eisen und Mangan aus dem Untergrund gelöst und tritt eine Aggressivität des genutzten Wassers auf. Es kann kein Zweifel bestehen, daß die Aare in diesen Gebieten bereits heute in einer unzulässigen Weise verschmutzt ist.

Andere Erfahrungen zeigen jedoch, daß korrosive Eigenschaften des Wassers schon dann aufzutreten beginnen, wenn sein Sauerstoff-Sättigungsindex 70 bis 80 % unterschreitet. Die aktuelle Sauerstoff-Konzentration eines Grundwassers sollte in Berücksichtigung dieses Umstandes keinesfalls niedriger als etwa 7,5 mg/l sein.

Das Sauerstoff-Defizit des Grundwassers entsteht einerseits durch das bereits im infiltrierenden Flußwasser vorhandene Defizit und andererseits durch den sich erst im Untergrund vollziehenden Abbau. Da im Untergrund ein gewisser Ausgleich der infiltrierenden Wassermassen stattfindet, können bei der Beurteilung die anläßlich der Untersuchung beobachteten Extremwerte außer Betracht gelassen werden. Weiterhin erscheint es auch als zulässig, die einem mittleren Niederwasser entsprechenden Verhältnisse des Untersuchungstages als repräsentativ für einen qualitativ ungünstigen Zustand des in das Grundwasser infiltrierenden Flußwassers zu betrachten.

Der beim Abbau der organischen Substanzen im Grundwasser erfolgende Sauerstoffverbrauch entspricht dem vollen biochemischen Sauerstoffbedarf des infiltrierten Flußwassers. Da für diesen Abbau längere Zeiträume zur Verfügung stehen, setzt sich dieser Sauerstoffbedarf sowohl aus demjenigen der ersten als auch aus demjenigen der zweiten Abbaustufe zusammen. Der volle biochemische Sauerstoffbedarf erster Stufe ist bei der dem Grundwasser meist eigenen Temperatur von etwa 10° nach *Theriault* 1,17mal so groß wie der BSB_5 (20°). Der Endwert der zweiten Stufe entspricht etwa demjenigen der ersten Stufe, so daß der im Grundwasser erfolgende Sauerstoffschwund auf das 2½fache des BSB_5 geschätzt werden kann, wenn das Grundwasser ausschließlich durch Flußwasserinfiltration gespiesen wird. Ein Flußwasser, das im Oberlauf der untersuchten Aarestrecke bei 13,0° mit 10,2 mg/l mit Sauerstoff gesättigt ist, darf somit höchstens einen BSB_5 von etwa 1,1 mg/l besitzen, damit die kritische Konzentration im Grundwasser nicht unterschritten wird. Wenn das Flußwasser dagegen wie im Unterlauf der Aare eine mittlere Sauerstoff-Konzentration von 9,4 mg/l und einen mittleren BSB_5 von 3,1 mg/l (Stillirechts) besitzt, so resultiert unter Zugrundelegung der erwähnten Annahmen im Grundwasser eine Restsauerstoff-Konzentration von nur 1,6 mg/l. Es ist deshalb erklärlich, daß es im unteren Aaretal und im anschließenden Rheintal unter besonderen Umständen sogar zu einem vollständigen Sauerstoffschwund des Grundwassers kommen kann.

Im Hinblick auf den Grundwasserschutz muß somit gefordert werden, daß die Sauerstoff-Konzentration im Tagesmittel den Sättigungswert nicht unterschreiten und der BSB_5 bei einer dem Untersuchungstag entsprechenden Wasserführung etwa 1 mg/l [12] nicht überschreiten soll. Wir sind uns bewußt, daß diese Forderung gegenüber den allein von fischereiwirtschaftlichen Gesichtspunkten zu stellenden Bedingungen sehr weitgehend ist. So wird bei der Beurteilung von Maßnahmen zur Gewässersanierung gelegentlich geltend gemacht, eine Sauerstoff-Konzentration von 4,0 mg/l sei in fischereiwirtschaftlicher Hinsicht noch ausreichend. Abgesehen davon, daß bei einer solchen minimalen Sauerstoff-Konzentration kein wertvoller Fischbestand gedeihen kann, dürfen wir uns bei der Aufstellung von Grundsätzen für die Sanierung der Aare nicht von solchen Gesichtspunkten leiten lassen. Die Sicherstellung unserer kommunalen und industriellen Wasserversorgung muß neben der Schaffung von hygienischen Zuständen im Vordergrund stehen. Dabei darf festgestellt werden, daß die im Interesse des Grundwasserschutzes notwendigen Maßnahmen auch den für die direkte Flußwassernutzung und jedenfalls auch den im Hinblick auf die Badegelegenheiten zu stellenden Anforderungen gerecht zu werden vermögen.

4. Generelle Beurteilung der zu treffenden Sanierungsmaßnahmen

Bei der Beurteilung der zu treffenden Sanierungsmaßnahmen ist davon auszugehen, daß

1. im Hinblick auf eine Verbesserung der allgemeinen hygienischen Verhältnisse unter allen Umständen eine mechanische Klärung sämtlicher Abwässer angestrebt werden muß, und

2. die geringe Minimalwasserführung der mit Ausnahme von Reuß und Limmat kleinen Zuflüsse der Aare eine mechanische und biologische Reinigung aller in sie geleiteten Abwässer ohnehin notwendig erscheinen läßt.

Die Verwirklichung dieser beiden Arten von Maßnahmen wird zweifellos auch für den Zustand der Aare eine merkliche Besserung bringen. Die sich bei der Beurteilung der Aaresanierung stellenden Hauptfragen sind deshalb, ob und wie weit die direkt in die Aare eingeleiteten Abwässer nach der mechanischen Klärung einer weitergehenden Reinigung zu unterziehen sind und welche Reinheitsgrade für die in die Aare mündenden großen Flüsse Reuß und Limmat gefordert werden müssen.

Aus den vorliegenden Untersuchungen geht hervor, daß die Aare bis Solothurn einen Verschmutzungsgrad

[12] Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß der BSB des Aarewassers in jahreszeitlich wechselndem Ausmaße teilweise auf das aus den Seen stammende Plankton zurückzuführen ist. Da dieses bei der Infiltration schon durch die flußnahen Kies- und Sandschichten zurückgehalten wird, ist sein Einfluß auf den BSB im einzelnen bei der Festlegung von Grenzwerten in Erwägung zu ziehen.

aufweist, der die zulässige Belastung nur wenig übertrifft. Da jedoch mit der zunehmenden systematischen Ortsentwässerung sowie mit der Bevölkerungszunahme eine Vermehrung des Abwasseranfalls stattfinden wird und die Verminderung des BSB durch eine mechanische Klärung nur relativ gering ist, werden auch auf dieser Strecke zumindest bei allen großen Abwassereinleitungen biologische Reinigungsanlagen notwendig sein.

Will man die Aare nicht über das zulässige Maß verschmutzen, so wird es auch unumgänglich sein, den in den Abwässern der Region von Solothurn erfolgenden Schmutzstoffanfall erheblich über den Effekt einer mechanischen Reinigung hinaus zu reduzieren.

Nach den örtlichen Verhältnissen zu schließen, stammt die zwischen Hohfuhren und Ruppoldingen erfolgende zusätzliche Belastung der Aare hauptsächlich aus den kleinen Seitenflüssen der Aare. Wenn sämtliche in diese Seitenflüsse eingeleiteten Abwässer mechanisch und biologisch gereinigt werden, so ist auch in der Aare keine erhebliche zusätzliche Belastung mehr zu erwarten. Die Frage, ob auch die auf dieser Strecke in die Aare direkt eingeleiteten Abwässer biologisch gereinigt werden müssen, wird sich vor allem nach den örtlichen Verhältnissen richten.

Die sehr starke Verschmutzungszunahme zwischen Ruppoldingen und Aarau ist jedenfalls zu einem gewissen Teil auf die Mündung des Aarburgertyches zurückzuführen. Die für Zofingen und Umgebung projektierte mechanisch-biologische Reinigungsanlage wird bezüglich dieses Zuflusses bessere Verhältnisse schaffen. Es muß jedoch angenommen werden, daß vor allem die Stadt Olten in beträchtlichen Maße an der bis Aarau erfolgenden Verschlechterung des Gewässerzustandes beteiligt ist. Für die Abwässer dieser Stadt wird es deshalb kaum zu umgehen sein, der mechanischen Klärung eine biologische Reinigung nachzuschalten.

Der Anteil, welchen Schönenwerd, Aarau und Brugg sowie alle kleinen am Flußlauf zwischen dem Kraftwerk Olten-Gösgen und der Reußmündung gelegenen Ortschaften an der Aareverschmutzung besitzen, wird durch ergänzende Untersuchungen noch näher abzuklären sein. Danach wird es sich richten, welche Anforderungen an den einzelnen Orten an die Abwasserreinigungsanlagen zu stellen sind.

Die Reuß ist zweifellos in einer unzulässigen Weise verunreinigt. Welche Maßnahmen hier zu treffen sind, um die an der Mündung verbleibende Belastung auf ein zulässiges Maß zu reduzieren, wird erst auf Grund besonderer, im Reußgebiet durchgeführter Untersuchungen beurteilt werden können.

Was den Zufluß des Limmatwassers betrifft, so kann nach Erstellung der projektierten biologischen Reinigungsanlage von Zürich eine wesentliche Verbesserung erwartet werden. Die übrigen im Limmatgebiet zu treffenden Maßnahmen werden ebenfalls nur auf Grund einer Kenntnis der einzelnen Verunreinigungsherde richtig beurteilt werden können.

5. Abschließende Bemerkungen

Abschließend kann festgestellt werden, daß durch die ausgeführten Untersuchungen der allgemeine Verunreinigungsgrad der Aare, dessen flußabwärts erfolgende Veränderungen wie auch der Anteil der einzelnen Regionen an der Gesamtverschmutzung erfaßt wurden. Das bei der Aufstellung des Untersuchungsprogrammes gestellte Ziel wurde somit in jeder Beziehung erreicht. Die Fachkommission empfiehlt deshalb den Kantonen, entsprechende Arbeiten an den übrigen interkantonalen Gewässern der Nordwestschweiz durchzuführen.

Studienreise im bayerisch-österreichischen Grenzgebiet und durch Österreich

Der *Schweizerische Wasserwirtschaftsverband* führte vom 5. bis 14. September 1953 eine von etwa 40 Teilnehmern besuchte, schöne und gutgelungene Studienreise durch. Diese begann in der Stadt Salzburg, berührte vorerst das bayerisch-österreichische Grenzgebiet bis Passau-Jochenstein und führte dann durch verschiedene Bundesländer Österreichs, um in Innsbruck, der Hauptstadt Tirols, ihren Abschluß zu finden. (Routenskizze siehe Abb. 1.) Neben schweizerischen Fachleuten der Wasser- und Elektrizitätswirtschaft und der Technik sowie Leitern und Vertretern verschiedener Bundesämter und städtischer Behörden begleiteten uns auch einige Damen. Die Reise galt hauptsächlich der Besichtigung im Betrieb und im Bau stehender Wasserkraftanlagen[1], aber auch — ähnlich wie auf der 1951 durchgeführten Reise nach Mittelitalien — dem Besuche besonders sehenswerter Kunststätten, was von allen Teilnehmern sehr geschätzt wurde und der Reise

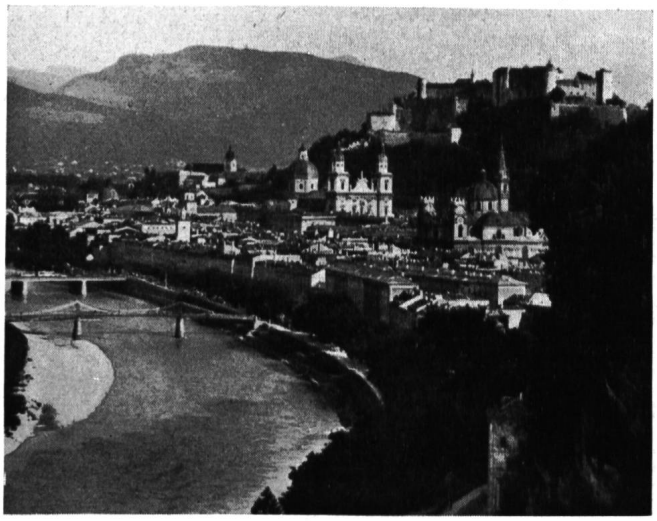


Abb. 2 Altstadtkern von Salzburg an der Salzach, überragt von der Festung Hohen-Salzburg
(Photoverlag Makart, Salzburg)

[1] Ausführlichere Beschreibung der technischen Anlagen siehe «Wasser- und Energiewirtschaft» 1953, Seiten 141—163.