

Beurteilung der Selbstreinigungskraft von Oberflächengewässern

Von Prof. Dr. H. MOHLER

In der Arbeit «Der Einfluß von Kraftwerkbauten auf die Eigenschaften des Grundwassers»¹ ließ sich anhand der Beispiele von Wettingen und Klingnau zeigen, daß die von den Elektrizitätswerken geschaffenen Stauseen den Bestrebungen zum Schutz des Grundwassers entgegenwirken können, andererseits in der Schweiz als einem Land der weißen Kohle wegen der Zunahme des Energiebedarfs die laufende Indienststellung neuer Energiequellen, die fast hundertprozentig an die Ausnützung der Wasserkraft gebunden ist, nicht aufgehalten werden kann. Die hieraus sich ergebende Forderung wurde im Schutz des Oberflächengewässers durch Reinigung des in dieses einzuleitenden Abwassers gesehen, und außerdem sollte auch in der Schweiz das Problem der Aufbereitung von manganführendem Grundwasser in Angriff genommen werden. Schließlich wurde gestützt auf die Erfahrungen in Wettingen und Klingnau empfohlen, bei Kraftwerkbauten den *status quo* des Grundwassers und des zu stauenden Oberflächengewässers durch systematische Untersuchungen festzulegen, wie dies für die Stautufen von Rapperswil-Auenstein und von Wildegg-Brugg von der Baudirektion des Kantons Aargau bereits angeordnet worden ist.

In der immer noch im Gange befindlichen Diskussion über das Kraftwerk Rheinau diente die erwähnte Arbeit als eine der Stützen der Kraftwerkgegner, während die Befürworter dieses Werkes sich auf mein für die Baudirektion des Kantons Aargau erstattetes und im Juli 1951 zum Abschluß gekommenes Gutachten über das Aarewasser vor und nach dem Stau bei Rapperswil-Auenstein berufen. Es wurde am 4. Februar 1952 im Zürcher Kantonsrat vom Regierungsrat und am 24. Juni 1952 vom Bundesrat in seinen Erwägungen in der Angelegenheit der Übertragung der Konzession für das Kraftwerk Rheinau auf die Elektrizitätswerk AG. und des Rückzugsbegehrens des Regierungsrates des Kantons Schaffhausen zitiert; neuerdings hat auch H. DERINGER² in seiner Arbeit «Der Rheinauer Kraftwerkbau und die Trinkwasserversorgung der Stadt Winterthur» darauf Bezug genommen. Entgegen meiner Absicht, die in Frage stehenden Untersuchungen erst im Zusammenhang mit denjenigen über die Staustufe Wildegg-Brugg, die allerdings noch längere Zeit beanspruchen werden, zu publizieren, wurde ich durch die erwähnte Sachlage schon jetzt zu einer kurzen Mitteilung veranlaßt, die – so ist es mein Wunsch – zur Klärung der Situation in Rheinau beitragen möge. Einzelheiten müssen jedoch der in Aussicht genommenen umfassenden Publikation vorbehalten bleiben.

Einleitung

Die Kraftwerk Rapperswil-Auenstein AG. wurde am 30. Juni 1941 mit Sitz in Aarau gegründet. Partner der Gesellschaft sind die Schweizerischen Bundesbahnen und die Nordostschweizerische Kraftwerke AG. in Baden. Das Kraftwerk Rapperswil-Auenstein nützt die 7,3 km lange Gefällsstrecke der Aare vom Auslauf des Unterwasserkanals des Kraftwerkes Rüchlig der Jura-Cement-

Fabriken (JCF) in Aarau bis zum Auslauf des Unterwasserkanals des Kraftwerkes Wildegg der gleichen Firma aus. Ungefähr in der Mitte der Ausnützungsstrecke wird die Aare durch ein Schützenwehr um rund 6 m über ihren jetzigen Mittelwasserspiegel für eine Wassermenge von 350 m³/s gestaut. Die Bauarbeiten gelangten im wesentlichen in den Jahren 1942 bis 1945 zur Durchführung. Der Aareaufstau erfolgte von 11. Juli bis 30. November 1945. Im Zuge der Bauarbeiten am rechtsufrigen Aarestaudamm wurde am 18. Juli 1944 der Rohrer Gießen in den Steiner-Kanal abgeleitet und hierauf die alte Gießenmündung in die Aare zugeschüttet. Im August 1944, nach der Außerbetriebsetzung der Wasserkraftanlage Steiner & Co., wurde der Einlauf zum Steiner-Kanal geschlossen. Der Kanal blieb als Vorfluter für den Rohrer Gießen erhalten, und er wird nun statt von Aarewasser vom gesammelten Grund- und Sickerwasser des Rohrer Schachens durchflossen. Der Bibersteiner Dorfbach wurde am Fuß des Wasserfalles beim Schloß Biberstein gefaßt und durch eine Zementrohrleitung der Aare zugeführt. Der Güpfengraben und der Schweizergraben in Auenstein erhielten direkte Abläufe in den Unterwasserkanal.

Für den Betrieb des Kraftwerkes und die durch den Aufstau betroffenen Gemeinden sind Veränderungen, welche Chemismus und Biozönose des Wassers erfahren, von großer Tragweite. Zu deren Feststellung erteilte die Baudirektion des Kantons Aargau als neutrale Instanz durch ihren Wasserrechtsingenieur C. HAURI im November 1943 mir den Auftrag, das Wasser der Aare auf der Strecke Aarau bis Wildegg und des Kanals der Spinnerei Steiner & Co., Rapperswil, vor und nach dem Aufstau zu begutachten. Hier berücksichtigen wir nur das Aarewasser.

Untersuchungsprogramm und Untersuchungsergebnisse

Allgemeine Gesichtspunkte. Die Aare stellt einen Vorfluter dar, der den Einflüssen des Einzugsgebietes und dessen Bodenbeschaffenheit unterliegt und von den mitgeführten chemischen und biologischen Bestandteilen abhängt; sie ist wie jedes fließende Gewässer nichts Konstantes, sondern etwas Lebendes. Ein solcher Vorfluter wird von natürlichen und durch menschlichen Eingriff bedingten Zuflüssen beeinträchtigt, die ihm an bestimmten Stellen Schmutzstoffe zuführen und eine stoßweise oder andauernde Verschmutzung des Vorfluters bewirken. Diesen Verunreinigungen arbeitet das Gewässer entgegen, und es entsteht ein Wechselspiel zwischen den

¹ Chimia 3, 129 (1949).

² Schweiz. Bauztg. 70, 523 (1952).

durch die Zuflüsse eingeführten Verunreinigungen und dem Bestreben des Gewässers, die Schmutzstoffe abzubauen. Man bezeichnet diese Fähigkeit als «Selbstreinigungskraft des Gewässers»; sie setzt sich aus einer biologischen und einer chemischen Komponente zusammen. Der chemische Vorgang besteht vorwiegend in der Oxydation organischer und anorganischer Verbindungen, während bei der biologischen Selbstreinigung Wasserorganismen einen Teil der mit den Zuflüssen ins Gewässer gelangten anorganischen und organischen Verunreinigungen entziehen und für die Ernährung und den eigenen Aufbau verwenden. Dabei geben die grünen Pflanzen Sauerstoff an das Wasser ab und begünstigen die chemische Selbstreinigung.

Bei einem Problem der vorliegenden Art handelt es sich also darum, die Milieufaktoren des Vorfluters, die Art der Verunreinigung, seine Selbstreinigungskraft und die eingetretene Selbstreinigung kennenzulernen. Bei den Schmutzstoffen ist zu unterscheiden zwischen den ungelösten oder festen und absetzbaren Stoffen sowie den Kolloiden und den in Lösung befindlichen Stoffen; beide Anteile können anorganischer oder organischer Natur sein. Die ganz oder kolloidal gelösten anorganischen Verunreinigungen, soweit sie nicht ausgefällt werden, beeinflussen die Zusammensetzung des Vorfluters im allgemeinen in irreversibler Weise, während die organischen Stoffe vielfach einer Zersetzung unterliegen und dadurch den Vorfluter biologisch beanspruchen. Bei genügend starker Selbstreinigungskraft des Gewässers kann die Einwirkung gelöster oder kolloider organischer Stoffe teilweise oder ganz aufgehoben werden.

Anorganische Verunreinigungen lassen sich im allgemeinen mit verhältnismäßig einfachen Methoden nachweisen; schwierig ist es, die organischen Verschmutzungen und ihre Sekundärerscheinungen zu erfassen, denn ihre Wirkung ist besonders bei anhaltendem Zufluß von oft tiefgreifender Beeinträchtigung des Chemismus sowie des tierischen und pflanzlichen Lebens des Gewässers. Zum Studium der aufgeworfenen Fragen sind physikalische, chemische, biologische und bakteriologische Methoden notwendig, wobei den Sauerstoffverhältnissen und der Zusammensetzung des Planktons eine besondere Bedeutung zukommt.

Unter «Plankton» verstehen wir eine Gemeinschaft von Wasserorganismen und unterscheiden Zooplankton und Phytoplankton. Das Zooplankton ist ernährungsphysiologisch die Gesamtheit der Konsumenten der planktischen Organismenwelt, während man unter Phytoplankton diejenigen planktischen Organismen versteht, die zum selbständigen Aufbau von organischen Stoffen aus den im Wasser gelösten anorganischen Bestandteilen befähigt sind (Produzenten). Außerdem sind an Lebewesen die Bakterien zu unterscheiden, dank deren Tätigkeit ein allmählicher Abbau der organischen Stoffe bis zur völligen Mineralisation stattfindet. Zudem ist beim Plankton zu berücksichtigen, daß einzelne Formen nur in bestimmten Jahreszeiten auftreten (Sommerplankton

und Winterplankton) und ein und dieselbe Art in verschiedenen Biotopen nicht immer gleiche Form besitzt.

Die Beschaffenheit eines Gewässers ist in erster Linie abhängig von den durch den menschlichen Eingriff bedingten Zuflüssen. Daneben sind Schwankungen in der Wasserführung zu berücksichtigen, die von den meteorologischen Verhältnissen abhängen. In einem Flußlauf mittlerer Wasserführung wie der Aare kann in den einzelnen Zonen des gleichen Flußquerschnittes verschiedenen zusammengesetztes Wasser auftreten. Diese Unterschiede machen sich vor allem im ruhig strömenden Wasser bemerkbar, während durch eine turbulente Strömung meist eine genügend starke Durchmischung erfolgt. Bei turbulenter Strömung kann man sich deshalb auf eine einzige Probenahme in der Flußmitte beschränken, hingegen sind bei ruhigen Fließstrecken die Uferzonen in die Probenahme miteinzubeziehen. Einer besonderen Berücksichtigung bedürfen Stellen, in deren Nähe andere Gewässer einmünden oder Kanalisationen entleert werden.

Zur Begutachtung eines fließenden Gewässers ist es aus den angeführten Gründen unerlässlich, die Untersuchung über einen weiten Zeitraum auszudehnen und die Entnahmestellen sorgfältig auszuwählen.

Probenerhebungen. Im November 1943 wurden gemeinsam mit Wasserrechtsingenieur HAURI und Ingenieur VON WALDKIRCH nach einer Begehung der Strecke die Stellen für die Entnahme der Proben festgelegt (Tab. 1).

Tab. 1

Nr.	Entnahmestelle	Probenanzahl
<i>Aare</i>		
1	Kettenbrücke Aarau	3
2	100 m unterhalb Stauwehr JCF in der Telli	1
3	Zwischen Stadtbach- und Gönhardkanalmündung	3
4	Suhre vor der Mündung	1
5	50–100 m oberhalb JCF-Kanalmündung im Rüchlig	3
6	300–400 m oberhalb Stauwehr Steiner & Co. (engeres Staugebiet)	3
7	Straßenbrücke Wildegg	3

In der Untersuchungsperiode, die die Zeit von Februar 1944 bis Mai 1945 umfaßte, wurden sieben Probenreihen durchgeführt³. Die einzelnen Proben wurden in Richtung des fließenden Wassers entnommen, wofür je Serie 8–10 Stunden beansprucht wurden. Nach Möglichkeit wurden die Proben von Brücken aus mit Eimer gefaßt. In einzelnen Fällen diente ein Weidling für die Entnahme. Besonders Bedacht wurde auf Vermeidung

³ Zahl der Probenahmestellen und Probenreihen mußten gegenüber dem ursprünglichen Plan reduziert werden.

der Durchlüftung der Probe bei der Entnahme genommen. Noch am Tage der Entnahme gelangten die Proben mit Auto nach Zürich und wurden im Chemischen Laboratorium der Stadt Zürich sofort untersucht oder für die Analyse vorbereitet.

Untersuchungen. Es gelangten folgende physikalische, chemische, biologische und bakteriologische Verfahren zur Anwendung:

1. *Physikalische und chemische Untersuchungen:*
Temperatur und Trübung
Härte und Aggressivität
Sauerstoffverhältnisse
Bestimmung der Belastung mit organischen Stoffen
Stickstoffverbindungen
Weitere chemische Komponenten
2. *Biologische Untersuchungen:*
Plankton und Seston
Ufervegetation
Uferinspektion
3. *Bakteriologische Untersuchungen:*
Keimzahl
Colititer
Endo-Reaktion
Colititer in Neutralrotagar

Aus den von Februar 1944 bis Mai 1945 durchgeführten physikalischen, chemischen, biologischen und bakteriologischen Untersuchungen ergab sich für die Aare das Bild eines Vorfluters, der schon am Anfang der Untersuchungsstrecke nicht mehr als ein ganz reines Gewässer angesprochen werden konnte. Auf der Strecke Aarau bis Wildeggen wird er zwar mit Abwasser belastet, doch reicht die Selbstreinigungskraft zum Abbau und zur Mineralisierung der aufgenommenen Schmutzstoffe aus, so daß die Aare am Ende der Kontrollstrecke die bei der «Kettenbrücke»⁴ in Aarau vorhandene Selbstreinigungskraft beinahe wieder völlig zurückgewonnen hat (Gutachten vom Dezember 1946).

Der Aareaufstau erfolgte, wie erwähnt, vom 11. Juli bis 30. November 1945. Zur Feststellung, ob und in welchem Umfang Chemismus und Biozönose des Wassers durch den Aufstau verändert werden, genehmigte die Baudirektion des Kantons Aargau am 18. Juli 1946 ein vorläufig einjähriges Untersuchungsprogramm, das zwölf monatliche Untersuchungen vorsah⁵.

Im Gutachten vom Februar 1949 wurde das Ergebnis dieser zweiten, die Zeitspanne vom Juni 1946 bis Mai 1947 umfassenden Untersuchungsperiode mitgeteilt. Es führte zum Schluß, daß der Aufstau der Aare bis Mai 1947 keine namhafte Veränderung des Wassers bewirkt habe. Immerhin erschien es noch verfrüht, über den Ein-

fluß des Staues auf die Qualität des Wassers ein abschließendes Urteil abzugeben. Deshalb wurde beantragt, das Aarewasser weiterhin zu beobachten und Uferstrecken, Untergrund und Schlammablagerungen in die Untersuchung einzubeziehen, wofür ein zweijähriges Programm mit acht vierteljährlichen Untersuchungen in Vorschlag kam. Diesem Programm erteilte die Baudirektion des Kantons Aargau, im Einvernehmen mit der Kraftwerk Rapperswil-Auenstein AG., am 4. März 1948 ihre Zustimmung.

Im dritten Gutachten (Juli 1951) wurde das Ergebnis der letzten, die Zeitspanne vom April 1948 bis März 1950 umfassenden Untersuchungsperiode mitgeteilt. In der Zeit vom Juni 1945 bis Mai 1946 sowie Juli 1947 bis April 1948 waren die Untersuchungen also eingestellt. Es stehen nun Ergebnisse über einen Zeitabschnitt von rund fünf Jahren nach dem Aufstau zur Verfügung, die ein abschließendes Urteil über die Aare auf der Strecke Aarau bis Wildeggen gestatten dürften.

Gütepegel und Güteprofile. Das Kernproblem des Gutachtens drehte sich um die in der Einsprache des Gemeinderates von Aarau an die aargauische Baudirektion vom 13. Februar 1942 zum Ausdruck kommende Frage, ob das Selbstreinigungsvermögen der Aare durch den Aufstau gelitten habe oder nicht. Diese Frage ist auf Grund der während einer Beobachtungsperiode von rund sechs Jahren gewonnenen Untersuchungsergebnisse zu verneinen⁶.

Dieses Ergebnis kommt in graphischen Darstellungen deutlich zum Ausdruck, und zwar in dem der Wassermessung durch einen Pegel entsprechenden «Gütepegel» und im «Güteprofil», das dem Längenprofil der Wassermengenmessung in Parallele zu stellen ist⁷.

Beim Gütepegel sind auf der Ordinate folgende Größen aufgetreten: Temperatur, gefundener Sauerstoffgehalt, Sauerstoffsättigungswert, Sauerstoffgehalt nach 48 Stunden (berechnet aus der experimentell ermittelten Sauerstoffzehrung) und derjenige nach 5 Tagen (berechnet aus dem experimentell ermittelten biochemischen Sauerstoffbedarf in 5 Tagen). Auf der Abszisse findet sich das Datum der Probenerhebung. Die Gütepegel wurden für die Stellen «Kettenbrücke», «Stau» und «Wildeggen» je für die drei Untersuchungsstapen⁸ dargestellt (Abb. 1).

Beim Güteprofil sind auf der Ordinate die gleichen Werte wie beim Gütepegel, jedoch als Mittelwerte, aufgetragen. Zusätzlich wurden Keimzahl, Coli, Oxydicr-

⁶ Es ist hier nicht möglich, die im Gutachten festgehaltenen Einzelbestimmungen (es handelt sich um mehrere Tausend) auch nur auszugeweiht mitzuteilen. Wir müssen uns im wesentlichen auf die Wiedergabe von Gütepegel und Güteprofil sowie auf die Berechnung des Sauerstoffhaushaltes beschränken.

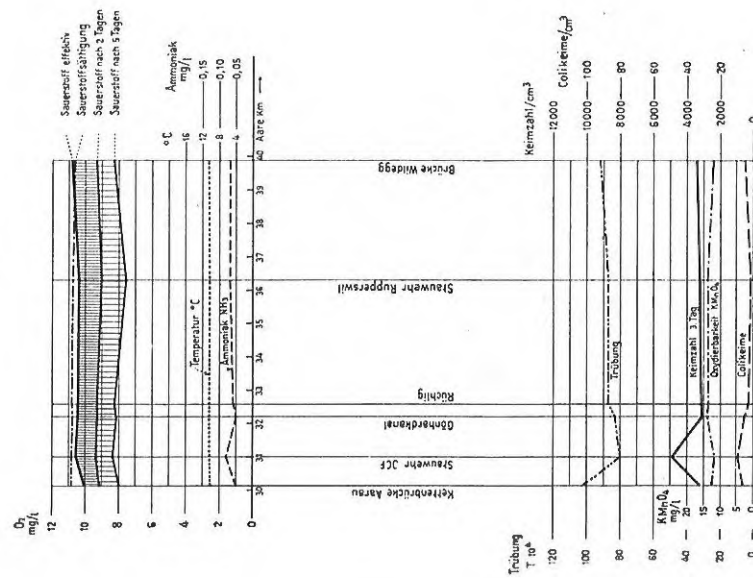
⁷ G. JORDAN, *Sauerstoffhaushalt und Wassergüte bei fließenden Gewässern*, Kleine Mitteilungen für die Mitglieder des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin-Dahlem, Nr. 1-3, Jahrgang 17 (1941).

⁸ 1. Etappe: Februar 1944 bis Mai 1945 (vordem Aufstau); 2. Etappe: Juni 1946 bis Mai 1947 (nach dem Aufstau); 3. Etappe: April 1948 bis März 1950 (nach dem Aufstau).

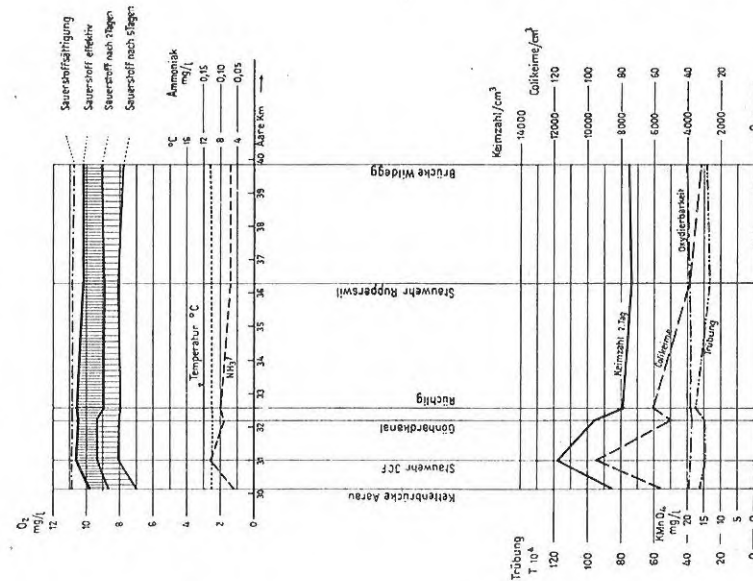
⁴ Die ursprüngliche Kettenbrücke in Aarau wurde im Laufe der Untersuchungsperiode umgebaut.

⁵ Die Probenanzahl wurde gegenüber der ersten Periode reduziert, nachdem es sich gezeigt hatte, daß im Querprofil im allgemeinen keine großen Unterschiede in der Wasserbeschaffenheit auftreten. Im Staugebiet wurde auch das Tiefenwasser untersucht.

Gütepegel 1. Etappe



Gütepegel 2. Etappe



Gütepegel 3. Etappe

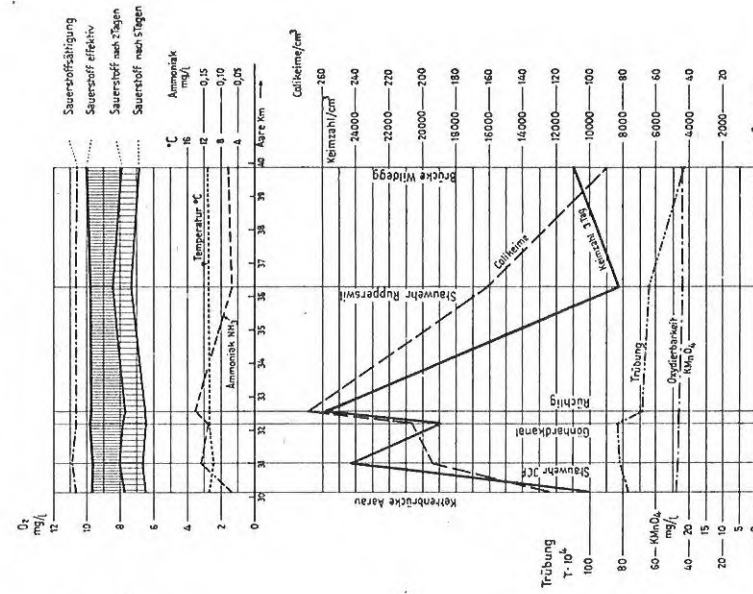
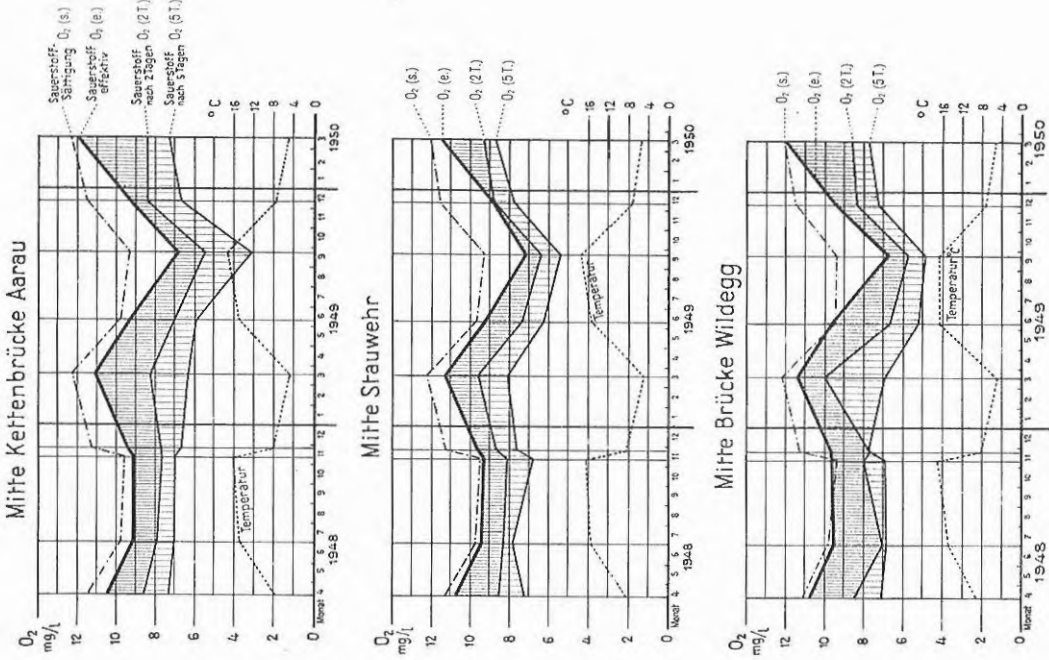
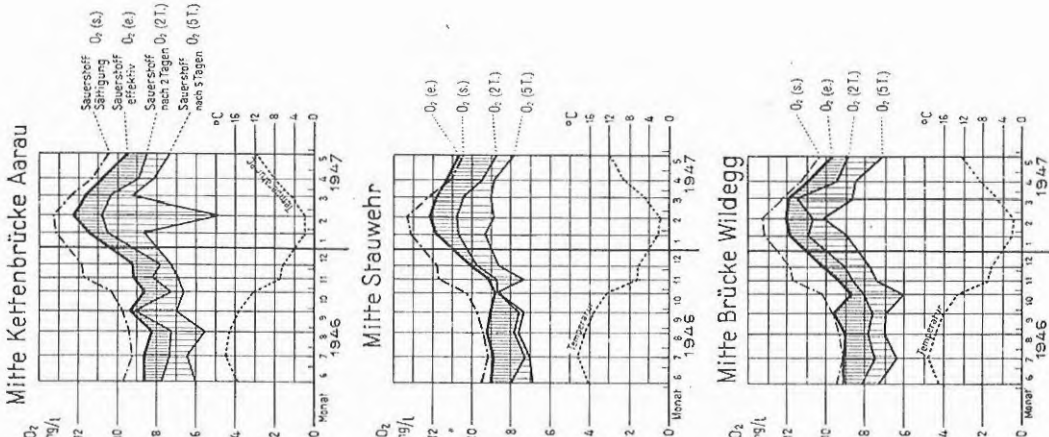


Abb. 1

Güteprofil 3. Etappe



Güteprofil 2. Etappe



Güteprofil 1. Etappe

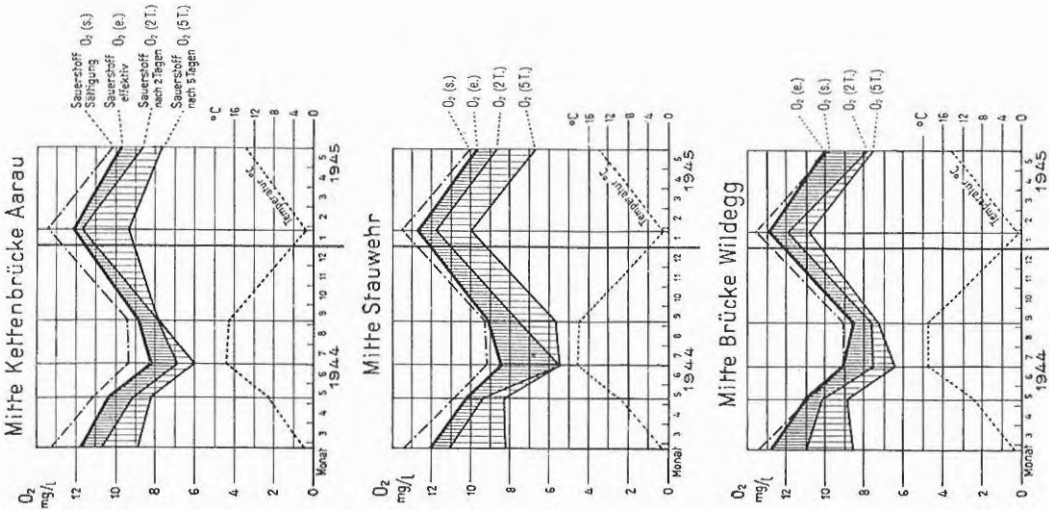


Abb. 2

barkeit und Trübung dargestellt, schließlich noch der Ammoniakgehalt, auf dessen Bedeutung besonders R. WEIMANN⁹ hingewiesen hat. Auf der Abszisse sind die Entnahmestellen in einem der wahren Entfernung verhältnismäßig angepaßten Maßstab aufgetragen. Die Suhre wurde als nicht im Profil liegend weggelassen; ihr Einfluß kommt im «Rüchlig» zum Ausdruck¹⁰ (Abb. 2).

Durch Gütepegel und Güteprofil erhält man in bezug auf die Sauerstoffverhältnisse ein Defizitband, ein Zehrungsband und ein BSB₅-Band. Je breiter diese Bänder sind, um so geringer ist die Selbstreinigungskraft des Vorfluters. Aus den Abb. 1 und 2 ist unschwer zu erkennen, daß der Aufstau der Aare auf die Breite dieser Bänder praktisch ohne Einfluß ist. Die übrigen Werte in den graphischen Darstellungen unterstreichen die Tatsache, daß die Aare die Kontrollstrecke vor und nach dem Aufstau ungefähr in dem Zustande verläßt, den sie bei Aarau aufgewiesen hat.

Berechnung des Sauerstoffhaushaltes. In der Abwassertechnik ist es üblich, Güteprofile auf rechnerischem, d. h. theoretischem Wege unter Zugrundelegung von Wasserführung des Vorfluters Q (m³/s), des Abwasseranfalles w (l/ET), dem Sauerstoffbedarf (BSB₅ bei 20°C) des Vorfluters B (in mg/l), dem biochemischen Sauerstoffbedarf des Vorfluters B_F (BSB₅ bei 20°C in mg/l) und der Einwohnerzahl E aufzustellen. Gesucht ist der biochemische Sauerstoffbedarf des Abwassers in g/ET bei 20°C = B_E . Aus diesem Wert läßt sich dann ableiten, ob das Wasser ungereinigt (bzw. nach Einschaltung einer Rechenanlage) eingeleitet werden darf oder ob eine mechanische und allenfalls biologische Anlage nötig ist. Liegt der Wert für B_E über 54 g/ET, so genügt eine Rechenanlage. Unter Berücksichtigung des vom bekannten deutschen Abwasserfachmann IMHOFF mitgeteilten Verfahrens des amerikanischen Sachverständigen FAIR, gibt REINHOLD¹¹ für B_E folgende Formel:

$$B_E = (B - B_F) \left(\frac{86\,400 \cdot Q}{E} + \frac{w}{1000} \right).$$

Der Wert $w/1000$ kann als Summand vernachlässigt werden, so daß REINHOLD die Formel

$$B_E = 86\,400 \frac{B - B_F}{E} Q$$

vorschlägt.

Der Wert B ist von der Natur des Vorfluters abhängig. Er läßt sich aus dem zulässigen Sauerstoffgehalt im Vorfluter und der Belastungsziffer berechnen. Als Bedingung für den Mindestsauerstoffgehalt des Vorfluters setzt REINHOLD den Wert von 6 mg/l ein, der höher

liegt als der Wert anderer Autoren. Ein Gewässer mit einem solchen Sauerstoffgehalt wird als «sauerstoffarm» bezeichnet, im Gegensatz zu den sauerstoffreichen Gewässern, die wie die Aare praktisch mit Sauerstoff gesättigt sind. Im ersten Fall ist für einen großen Fluß (wobei die Aare nach den von REINHOLD gegebenen Beispielen ohne weiteres zu zählen ist) B = rund 9, im zweiten Fall ist B = rund 17 mg/l (für eine mittlere Flußtemperatur von 15°C). Als biochemischen Sauerstoffbedarf der Aare setzen wir den in der dritten Untersuchungsperiode ermittelten Wert von rund 3 mg/l ein.

In bezug auf die Einwohnerzahl, Abwasserableitung in die Aare und Wasserverbrauch wurden von F. BALDINGER, Ingenieur für Gewässerschutz der Baudirektion des Kantons Aargau, am 9. Oktober 1950 Angaben zur Verfügung gestellt, die im Gutachten ebenfalls wiedergegeben sind.

Im Einvernehmen mit Ingenieur BALDINGER ist häusliches Abwasser mit normaler Zusammensetzung in Rechnung zu stellen. Aufgerundet wurden für Aarau 15 000 Einwohner und für das übrige Einzugsgebiet 10 000 Einwohner eingesetzt und für Q diente der Wert von 120 m³/s.

Für Aarau ergeben sich für die beiden Extremfälle (sauerstoffarmes bzw. sauerstoffreiches Wasser) folgende B_E -Werte:

sauerstoffarmes Wasser:

$$B_E = 86\,400 \frac{9 - 3}{15\,000} 120 = \text{rund } 4000 \text{ g/ET},$$

sauerstoffreiches Wasser:

$$B_E = 86\,400 \frac{17 - 3}{15\,000} 120 = \text{rund } 10\,000 \text{ g/ET}.$$

Für die gesamte Einwohnerzahl des Einzugsgebietes von rund 25 000 ergibt sich folgendes Bild:

sauerstoffarmes Wasser:

$$B_E = 86\,400 \frac{9 - 3}{25\,000} 120 = \text{rund } 2500 \text{ g/ET},$$

sauerstoffreiches Wasser:

$$B_E = 86\,400 \frac{17 - 3}{25\,000} 120 = \text{rund } 6000 \text{ g/ET}.$$

In allen vier Fällen liegt somit der zulässige Sauerstoffbedarf des eingeleiteten Abwassers wesentlich höher als 54 g/ET, so daß nach der Beurteilungsnorm von REINHOLD, die sich, wie erwähnt, auf das Verfahren des Amerikaners FAIR stützt, eine Rechenanlage ausreichend sein würde.

Eine weitere Beurteilungsmöglichkeit bildet die Verdünnung V , die das Abwasser bei der Einleitung in die Aare bei Niederwasser erfährt. Es ist für Aarau:

$$V = \frac{86\,400\,000 \cdot Q}{E \cdot w} = \frac{86\,400\,000 \cdot 120}{15\,000 \cdot 600} = \text{rund } 1100.$$

Für sämtliche Gemeinden:

$$V = \frac{86\,400\,000 \cdot 120}{25\,000 \cdot 600} = \text{rund } 700.$$

⁹ R. WEIMANN, *Zur Überwachung unserer Bäche und Flüsse*, Schweiz. Z. Hydrologie 11, 463 (1949); *Über Sauerstoffgehalt und andere Grundlagen der Gewässerüberwachung*, Hamburg 1952.

¹⁰ Die Trübung wurde mit dem POLFUCH-Nephelometer gemessen, vgl. H. MÜLLER, *Absolute Trübungsmessungen an Badewässern von Zürich*, Mh. Gas- u. Wasserfachm. 23, 27 (1943).

¹¹ F. REINHOLD, *Die Grenzbelastung eines Gewässers durch Abwasser*, Techn. Gemeindeblatt 47, 1 (1944).

In beiden Fällen würde für den Abwasseranfall der extreme Wert von 600 l/KT eingesetzt, der jedenfalls für die Gemeinden unterhalb Aarau erheblich zu hoch ist, und auch für die Einwohnerzahlen wurden die Werte aufgerundet. Schließlich diente in beiden Fällen ein ebenfalls extremer Wert für das Niederwasser.

Allgemein nimmt man an, daß bei Verdünnungen über 1 : 500 eine Rechenanlage genügt¹², während REINHOLD¹³ eine Verdünnung von mindestens 1 : 600 verlangt. Diese Bedingung ist in beiden Fällen erfüllt. Im Jahresmittel ist der Verdünnungsgrad noch viel größer, als er hier berechnet worden ist.

Diese Berechnungen hängen von vielen Annahmen ab und sind deshalb mit gewissen Unsicherheiten behaftet. Sie weisen jedoch eindeutig in gleiche Richtung wie die experimentelle Feststellung und unterstreichen somit, daß die Selbstreinigungskraft der Aare auf der Kontrollstrecke zur Aufarbeitung der eingeleiteten Abwässer ausreicht.

Schlußfolgerungen

1. Die Aare war in der ersten Periode, d. h. vor dem Aufstau, auf Grund des biochemischen Sauerstoffbedarfes in die 3. Klasse der sechs Klassen umfassenden Einteilung von LUNDIE (zit. nach F. SIERP¹⁴) einzuordnen, d. h. als «fast reines» Gewässer ($BSB_5 = 2-2,7$) zu beurteilen. In der zweiten und dritten Untersuchungsperiode hat sich der Zustand verschlechtert. Nach der dritten Periode genügt die Aare knapp noch den Anforderungen an ein «mäßig reines» Gewässer (Klasse 4: $BSB_5 = 2,7-3,1$). Diese Verschlechterung der Qualität ist offenbar auf zunehmende Verschmutzung der Aare oberhalb der Stadt Aarau zurückzuführen, sie steht mit dem Aufstau der Aare bei Rapperswil-Auenstein nicht im Zusammenhang.

2. Vor dem Stau nahm die Selbstreinigungskraft der Aare in Fließrichtung schwach ab, im Bau- bzw. Staugebiet war sie durch die auf der Kontrollstrecke eingeleiteten Abwässer noch deutlich beeinträchtigt und erreichte erst bei Wildegg wieder ungefähr den Wert vor Aarau.

Seit dem Aufstau der Aare vollzieht sich die Selbstreinigung bereits bis zum Staugebiet, was auf Verlangsamung der Fließgeschwindigkeit und Vergrößerung der Wasseroberfläche als Folge des Aufstaus zurückzuführen ist, denn dadurch sind die eingeleiteten Schmutzstoffe mit dem sauerstoffreichen Wasser des Vorfluters länger in Verbindung als vorher. Es ist bekannt, daß man im Ausland gerade aus diesem Grunde zur Unterstützung des Selbstreinigungsvermögens eines Vorfluters Stauseen in einen Flußlauf baut. Der Aufstau der Aare bei Rapperswil-Auenstein wirkt sich daher in die-

ser Hinsicht auf das Selbstreinigungsvermögen der Aare eher günstig als nachteilig aus¹⁵.

3. Wie bei jedem Stau eines Flußlaufes, so sind auch in Rapperswil-Auenstein vermehrte Ablagerungen festzustellen. Sie sind vorwiegend mineralischer Natur und schließen nur geringe Mengen organischen Materials ein. Bei der jetzigen Beschaffenheit dieser Ablagerungen ist ihr Sauerstoffbedarf im Gesamtbild des Sauerstoffhaushaltes des Vorfluters zu vernachlässigen. Eine Vermehrung des organischen Anteils in den Ablagerungen ist im Laufe der Jahre oder Jahrzehnte nicht ausgeschlossen. Wenn solche Ablagerungen, die sich in gestauten Flußstrecken auch bei bester Abwasserreinigung nicht vermeiden lassen, den Sauerstoff des Vorfluters stark beanspruchen, können sie sich auf die Lebensbedingungen der Fische ungünstig auswirken. Korrigierend wirkt jedoch das Wegspülen des Bodenschlammes im engeren Staugebiet bei Hochwasser durch das Öffnen der Schützen, wodurch der Sauerstoffhaushalt des Vorfluters entlastet wird.

4. Der Aufstau der Aare bei Rapperswil-Auenstein bewirkte keine wesentliche Änderung in der Biozönose des Vorfluters. Die eingehenden Untersuchungen sind im Gutachten festgehalten und sollen später publiziert werden.

5. Sowohl auf Grund der experimentell erhaltenen Gütepegel und Güteprofile als der Berechnung des Sauerstoffhaushaltes der Aare und des Verdünnungsverhältnisses der eingeleiteten Abwässer würde nach der im Ausland üblichen Beurteilung die Einschaltung einer gutwirkenden Rechenanlage vor der Ableitung der Abwässer in die Aare genügen. Es besteht jedoch im In- und Ausland die berechnete Tendenz, selbst bei großer Verdünnung des Abwassers zu verlangen, daß die ungelösten, grobsinnlich wahrnehmbaren Schmutzstoffe vor der Übergabe des Abwassers in den Vorfluter zurück-

¹⁵ Ingenieur G. GYSEL stellte im Auftrag der Kraftwerk Rapperswil-Auenstein AG. am 21. September 1950 über die Veränderung der Wasseroberfläche durch den Stau folgende Angaben zur Verfügung:

Wasserspiegeloherfläche	gestaut	= rund 485 000 m ² = 48,50 ha
»	ungestaut*	= » 350 000 m ² = 35,00 ha
»	gestaut	= » 1,38 mal Oberfläche ungestaut

* ermittelt für einen mittleren Sommerwasserstand.

Setzt man für das Staugebiet die Länge von 5,25 km ein, so lassen sich für Niederwasser folgende Fließzeiten errechnen:

$$\begin{aligned} \text{vor Stau: } & \frac{5250}{0,44 \cdot 60 \cdot 60} = 3,3 \text{ h,} \\ \text{nach Stau: } & \frac{5250}{0,14 \cdot 60 \cdot 60} = 10,4 \text{ h.} \end{aligned}$$

Die sauerstoffbeanspruchenden Schmutzstoffe bleiben somit seit dem Stau auf der Kontrollstrecke mit dem sauerstoffreichen Aarewasser länger zusammen als vor dem Stau. Die nun auf kürzerer Strecke erfolgende Zurückgewinnung der ursprünglichen Selbstreinigungskraft der Aare wird daher verständlich, hat man doch im Ausland gerade deshalb Stauseen gebaut, um durch Vergrößerung der Wasseroberfläche und Verlängerung der Laufzeit den auf Selbstreinigungsvorgängen beruhenden Abbau der in einem Fluß durch Abwässer zugeführten Schmutzstoffe zu unterstützen (F. SIERP, l.c.). Solche Stauseen stellen bis zu einem gewissen Grade Ersatz für biologische Abwasserreinigungsanlagen dar.

¹² K. IMHOFF, *Taschenbuch der Stadtentwässerung*, München 1950.

¹³ l.c.

¹⁴ F. SIERP, *Häusliches und städtisches Abwasser*, Hdb. Lebensmittelchem., Berlin 1939.

gehalten werden. Dieses Problem berührte hingegen das Gutachten nicht. Hier war lediglich die Frage zu beantworten, ob die Selbstreinigungskraft der Aare durch den Aufstau bei Rapperswil-Auenstein nachteilig beeinträchtigt worden ist. Diese Frage ist auf Grund des experimentellen und rechnerischen Befundes zu verneinen¹⁸.

¹⁸ Bei jedem Stau treten vermehrte Ablagerungen auf, und sie sind auch in Rapperswil-Auenstein festzustellen. Sie konnten Mitte März 1949, als die gestaute Aare wegen eines Unfalles gesenkt werden mußte, deutlich beobachtet werden. Links der Bibersteiner Brücke zeigte sich eine etwa 150 m lange Sand- und Schlammbank, und kleinere Ablagerungen waren rechts beim alten Einlauf des Steiner-Kanals zu erkennen. Wie die eingehenden Analysen der am 19. Juli 1949 entnommenen Proben zeigten, sind die Ablagerungen vorwiegend mineralischer Natur, es handelt sich also nicht um eigentlichen Abwasserschlamm, sondern um Flußschlamm mit nur geringen Mengen zersetzungs-fähigen Stoffen. Einzelne der erhobenen Ablagerungsproben wurden auch auf ihre Fäulnisfähigkeit untersucht. Die Gasbildung war jedoch äußerst schwach. Der mikroskopische Befund war typisch für eine Lebensgemeinschaft in Ablagerungen aus eutrophierten Gewässern. Ein wichtiges Kennzeichen für das Vorhandensein zersetzlicher organischer Substanz ist das Auftreten von Tubificiden und roten Chironomidenlarven im Flußschlamm (H. LIEDMANN, *Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie*, München 1951). Besonders letztere, d. h. die Larven der roten Zuckmücke, waren in verschiedenen Ablagerungen nachweisbar, so daß sie etwas zersetzliches organisches Material einschließen. Andererseits sind diese Larven als Fischnahrung außerordentlich wichtig. Durch ihre Fress-tätigkeit wird dem Schlamm ständig organische Substanz entzogen; sie tragen, wie die Tubificiden, dazu bei, den Flußschlamm porös zu machen und ihn zu mineralisieren. Auch das organische Material des Flußschlammes wird durch die biologische Selbstreinigung im Vorfluter erfaßt. Die Verhältnisse liegen jedoch insofern anders, als sich der aerobe Abbau nur auf die oberste Schicht der Ablagerung erstreckt, während in tieferen Schichten anaerobe Verhältnisse herrschen, die, wenn der Anteil an organischer Substanz wesentlich zunehmen sollte, mit der Zeit zu einer Quelle der Verunreinigung des Vorfluters werden könnten. Besonders nachteilig wäre das Auftreiben von Bodenschlamm im Sommer bei ansteigender Wassertemperatur auf 20 °C und höher. Die Gasbildung würde dann so intensiv, daß sie den faulenden Schlamm aufwirbelte, wodurch sich plötzlich ein starker

Es ist noch anzufügen, daß im Auftrag der Baudirektion des Kantons Aargau im Gebiet des Kraftwerkes Rapperswil-Auenstein auch das Grundwasser vor und nach dem Stau der Aare eingehend untersucht wurde. Eine Beeinflussung des Grundwassers durch den Aufstau der Aare war jedoch nicht feststellbar. *Die Beobachtungen in Rapperswil-Auenstein ergeben somit ein anderes Bild als in Wettingen, dessen Verhältnisse ebenfalls eingehend untersucht worden waren. Inwiefern hierbei geologische Unterschiede maßgebend sind, wird damit nicht berührt. Die neuen Beobachtungen dürften aber zeigen, daß der Einfluß des Aufstaus eines Vorfluters auf seine Selbstreinigungskraft und das Grundwasser nicht immer ungünstig ist. Vielmehr sind die Verhältnisse von Fall zu Fall sorgfältig abzuklären.*

chemischer Sauerstoffbedarf geltend machen würde, der aus dem Wasser gedeckt werden müßte. Wie IMHOFF (l.c.) an verschiedenen Beispielen zeigte, wird dieser Bedarf bei Vorflutern mit reichlich Sauerstoff durch die Sauerstoffaufnahme aus der Wasseroberfläche rasch wieder gedeckt. Bei der jetzigen Beschaffenheit des Flußschlammes der Aare kann ein Sauerstoffbedarf der Ablagerungen bei der Aufstellung der gesamten Sauerstoffbilanz vernachlässigt werden. Eine Vermehrung des organischen Anteiles in den Ablagerungen ist im Laufe der Jahre oder Jahrzehnte allerdings nicht ausgeschlossen. Nach IMHOFF (l.c.) läßt sich im engeren Staugebiet von Flüssen die Ablagerung von Bodenschlamm auch bei bester Abwasserreinigung nicht vermeiden, weil schon durch die Selbstreinigung im Vorfluter organischer, faulfähiger Schlamm entsteht, der sich mit den mineralischen Trübungen des Wassers absetzt. Solche Ablagerungen könnten sich auf die Lebensbedingungen der Fische ungünstig auswirken, wenn erstere den Sauerstoff des Vorfluters stark beanspruchen (SIERR, l.c.). Die Ablagerungen sind am größten unmittelbar vor dem Stauwehr, wo die Geschwindigkeit bei geschlossenen Schützen Null ist. Die Ablagerungen werden jedoch bei Hochwasser, wenn die Schützen des Wehres geöffnet werden, durch die starke Strömung unter den Schützen durch weggespült. Dadurch wird der Sauerstoffhaushalt einer gestauten Flußstrecke bedeutend entlastet.