

## Verunreinigung von Staugewässern

*Theodor Schröder*

Stauseen werden für die unterschiedlichsten volkswirtschaftlichen Zwecke erbaut. Je nach seiner Hauptverwendung müssen an die Qualität des im Speicherbecken gesammelten und bereitgestellten Wassers unterschiedlich hohe Anforderungen gestellt werden; am höchsten sind diese Ansprüche verständlicherweise bei Talsperren, die der Trinkwasserversorgung dienen sollen.

Spricht man von einer Verunreinigung von Staugewässern, dann denkt man in erster Linie oder ausschließlich an künstliche Verunreinigungen durch Abfälle der menschlichen Wirtschaft, insbesondere durch Einleitung von städtischen oder Industrieabwässern in das Staugewässer selbst oder seine Zuflüsse. Neben solchen künstlichen Verschmutzungen gibt es aber auch unvermeidbare „natürliche“ Verunreinigungen und Belastungen. Deren gibt es drei Hauptquellen: 1. Einbringung von Stoffen mit dem Wasser auch „sauberer“ Zuflüsse, 2. Zufuhr von Stoffen aus der Atmosphäre und 3. Auslaugung von Stoffen aus dem überstauten Gelände. Die beiden ersten Prozesse beobachten wir in derselben Weise auch bei vergleichbaren natürlichen Seen; sie sind Vorgänge, die ständig und ohne zeitliche Begrenzung ablaufen. Die Beeinflussung der Qualität des Wassers vom Boden her macht sich dagegen in Staugewässern vornehmlich in den ersten Jahren nach dem frischen Anstau besonders stark bemerkbar. Zunächst seien diese „natürlichen“ Verunreinigungen besprochen, bevor eine starke Verschmutzung von Talsperren durch Industrieabwasser dargestellt wird.

### Natürliche Verunreinigung

1. Auf dem Teil seines Kreislaufs, der sich an der Erdoberfläche abspielt, wird die Beschaffenheit des Wassers deutlich verändert. Schon wenn das Wasser etwa in einer Gebirgsquelle zu Tage tritt, hat es je nach dem Charakter des Ursprungsgesteins verschiedene Salze gelöst. Bei seinem Lauf bis zum Meere belädt sich das strömende Wasser zunehmend mit Stoffen aus der Umgebung und mit

Abfallprodukten des Lebens im Gewässer selbst; aus dem nährstoffarmen klaren und kühlen Gebirgsbach wird der nährstoffreiche trübe und sommerwarme Strom der Ebene. Je nach der Beschaffenheit seines Bettes und dem Gefälle erodiert oder sedimentiert der Fluß und je nach der Korngröße der Teilchen wird Geschiebe über den Boden gerollt und Geformtes und Ungeformtes als „Schweb“ über kürzere oder längere Strecken transportiert.

Ein in einen Flußlauf eingeschalteter natürlicher oder künstlicher See wird einen mehr oder weniger bedeutenden Teil der von der fließenden Welle transportierten Stoffe zum Absetzen bringen. Bei einer Kaskade mehrerer Staugewässer hintereinander werden diese Stoffe vornehmlich im obersten Stau sedimentieren; in der Praxis benutzt man diese Erscheinung zum Abfangen der gröberen Bestandteile in einer Vorsperre, um das Hauptbecken möglichst frei von Einschwemmungen zu halten. Je nach der Region des Flusses, in die der See oder das Staugewässer eingeschaltet ist, ist aber auch der Nährstoffgehalt des Wassers und damit die Höhe der organischen Produktion des Sees oder Stausees verschieden. Auch aus diesem Stoffwechsel des Lebens im See selbst resultiert eine ständige Sedimentation, die zusammen mit der Sedimentation der von außen eingeschwemmten Stoffe allmählich das Becken auffüllt. Das Ausmaß dieser Sedimentationsvorgänge ist für verschiedene Seen berechnet worden. Entz (1959) veröffentlichte kürzlich Angaben für den Plattensee; danach werden durch die Lebensprozesse im See alljährlich aus dem im Zuflußwasser gelösten Bikarbonat 84.000 t als Monokarbonat ausgefällt und zusammen mit weiteren 31.460 t „organischem Material“ (entsprechend 25.170 t Glucose) aus dem Produktionsüberschuß des Plattensees sedimentiert.

2. Auch aus der Atmosphäre gelangen laufend Stoffe in die Gewässer. Zum Teil handelt es sich hier auch um künstliche Verunreinigungen der Luft zum Beispiel aus den zahllosen Heizungsanlagen oder durch die Abgase verschiedener Industrien. Selbst versprühtes Meersalz kann von Luftströmungen weit ins Binnenland verfrachtet werden und den Salzgehalt vor allem elektrolytarmer Gewässer deutlich beeinflussen (vgl. zum Beispiel G o r h a m and C r a g g 1960). Verhältnismäßig groß sind vielerorts auch die aufgewirbelten Mengen von Staub, die auf die Oberfläche von Seen und Staugewässern niedergeschlagen werden.

3. Eine Besonderheit von Talsperren gegenüber natürlichen Seen ist die stärkere Auslaugung von Stoffen aus dem frisch überstauten Boden, die zu einer starken „natürlichen Verunreinigung“ führen

kann. Das klassische Beispiel ist der von Minder (1939) mitgeteilte Fall des Wäggitalsees, eines maximal 67 m tiefen und 150 hm<sup>3</sup> fassenden Großstaubeckens in den Schweizer Alpen. Der Stausee liegt in einem nahezu unbesiedelten Hochgebirgstal und wird nicht künstlich verunreinigt. Nachdem der Wäggitalsee im Sommer 1924 erstmalig angestaut wurde, kam es 1925 infolge der Auslaugung des Bodens und der Fäulnis der überstauten Grasnarbe zu totalem Sauerstoffschwund und zum Auftreten von Schwefelwasserstoff im Hypolimnion. In den folgenden Jahren besserten sich dann die Verhältnisse und die hypolimnischen Sauerstoffwerte wurden „normal“. Diese und ähnliche Erfahrungen bei anderen Talsperren lassen es ratsam erscheinen, neu angelegte Trinkwassertalsperren zunächst möglichst einige Male nur teilweise zu füllen und wieder ganz zu entleeren, um so vor dem endgültigen Anstau den größten Teil der aus dem Boden auslaugbaren Stoffe aus dem Staubecken zu entfernen. Allgemein kann gesagt werden, daß infolge der „düngenden“ Wirkung der aus dem Boden ausgelaugten Stoffe der Trophiegrad einer neuerbauten Talsperre in den ersten Jahren höher ist als in den nach dem Abklingen dieser Erscheinung beginnenden eigentlichen „Jugendjahren“ des neuen künstlichen Sees (vgl. Schröder 1959). Diese Verhältnisse sind unmittelbar mit der bekannten höheren Produktivität der ersten Jahre neu angelegter Fischteiche vergleichbar.

Es läßt sich noch eine weitere Parallele zwischen Talsperren und Fischteichen aufzeigen. Die Teichwirtschaft kennt als ertragssteigernde Wirtschaftsmaßnahme die Winterung bzw. Sömmerung der Teiche, das heißt ihre periodische Trockenlegung. Diese Maßnahme bezweckt, den Boden der Teiche der Einwirkung der Luft bzw. zusätzlich des Frostes auszusetzen. Hierdurch wird eine günstige „Bodengare“ erzielt; intensive aerobe Mineralisation sedimentierter Stoffwechselschlacken bedingt eine Mobilisierung der Nährstoffe im Boden, die nach erneuter Überflutung in Lösung gehen und die Produktion des Teiches steigern. Dasselbe geschieht in Talsperren durch das regelmäßige Trockenfallen und Überfluten breiter Ufergürtel durch die alljährlichen starken Schwankungen des Wasserspiegels. Im Sommer pflegen außerdem die trocken gefallenen Ufergürtel schnell zu begrünen. Werden sie bei dem nächsten Wasseranstieg wieder überflutet, so gelangen durch die Zersetzung der Pflanzenmassen weitere erhebliche Nährstoffmengen ins Wasser. Die hierdurch bedingte Produktionssteigerung bedeutet für Trinkwassertalsperren, deren Wasser im Idealfall nährstoffarm mit geringer Planktonentwicklung ist, eine höchst unerwünschte „natürliche Verunreinigung“.

### Künstliche Verunreinigung

Die künstliche Verunreinigung von Stauseen hat im Prinzip ähnliche Folgen wie die Verunreinigung vergleichbarer natürlicher Seen. Beides sind stehende Gewässer, die als Vorfluter fließenden Gewässern gegenüber grundsätzlich unterlegen sind. Die Turbulenz der Wassermassen ist stets viel geringer und bleibt zudem während der Stagnationsperioden, vor allem während des ganzen Sommerhalbjahres, auf das Épilimnion beschränkt. Für die Verteilung und Vermischung der zugeführten Abwässer und für den Gasaustausch mit der Atmosphäre bestehen daher im See oder Stausee sehr viel ungünstigere Bedingungen als in einem Fluß.

Die Auswirkungen einer starken Verunreinigung von Staugewässern sollen im folgenden am Beispiel der Saalealsperren in ihren Hauptzügen besprochen werden; hinsichtlich vieler Einzelheiten muß ich dabei auf die an anderer Stelle gegebene ausführliche Darstellung (Schröder 1959) verweisen.

Das rund 80 km lange enge Durchbruchstal der Saale durch den Thüringer Hauptsattel mit einer Fallhöhe der Flußsohle von 183 m (421,5 m über NN bei Blankenstein; 299,5 m über NN bei Eichicht) bot besonders günstige Voraussetzungen für die Anlage von Talsperren. Zwischen 1926 (Baubeginn der maximal 55 m tiefen Bleilochsperre) und 1942 (Fertigstellung der maximal 65 m tiefen Hohenwartesperre) wurden rund 70 km des Flusses in eine fast geschlossene Kette von Stauseen verwandelt; unverändert blieb nur eine etwa 9 km lange Strecke des alten Flußlaufs um Walsburg (Abb. 1). Mit ihrem Fassungsvermögen von zusammen 400 hm<sup>3</sup> können die beiden Großstaubecken fast einen ganzen durchschnittlichen Jahresabfluß der Saale bei Blankenstein speichern.

An der heutigen Stauwurzel der obersten Talsperre, der Bleilochsperre, liegt die Sulfitzellstoff-Fabrik Blankenstein, die schon vor der Errichtung der Stauseen in Betrieb war. Die damaligen Auswirkungen der Ablaugen sollen — abgesehen von der verbleibenden Braunfärbung des Wassers durch die biochemisch nicht mehr angreifbaren Reststoffe — in Verpilzung und Sauerstoffschwund bestanden haben und unter ungünstigen Bedingungen (Niedrigwasser bei hohen Sommertemperaturen) maximal bis etwa Saalburg, 20 Fluß-km unterhalb der Fabrik spürbar gewesen sein.

Nach dem Anstau der Bleilochsperre im Sommer 1932 gelangten die Ablaugen bzw. (nach mehr oder weniger vollständiger Vergärung)

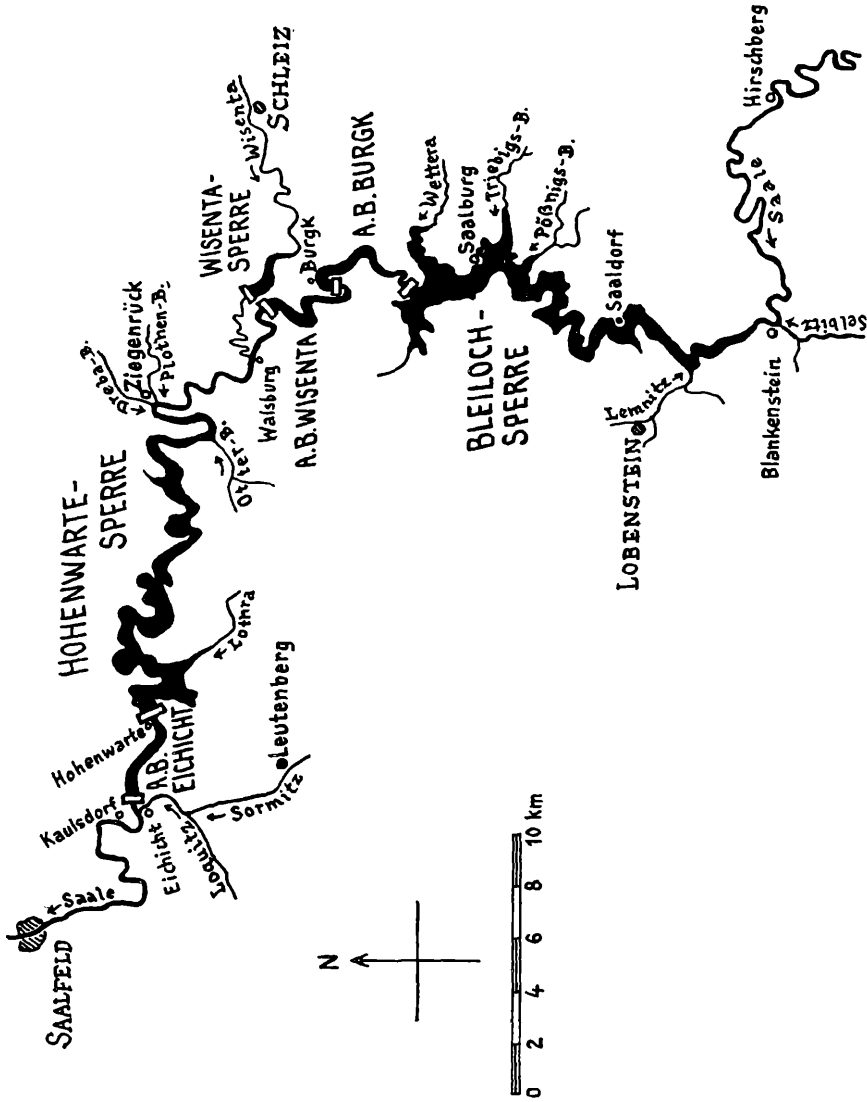


Abb. 1. Die Stauseen im Tal der Oberen Saale in Thüringen.

die Schlemphen nicht mehr in ein stark strömendes, sondern in ein praktisch stagnierendes Gewässer. Die Saale zeigt das für Flüsse der mitteleuropäischen Mittelgebirge typische Bild des Jahresgangs der Wasserführung: Anstieg der Mittelwerte der Monatssummen des Abflusses in den Wintermonaten bis zum Monatsmaximum (15,4% des Jahresmittels) im März, dann schneller Abfall bis zum Mai (6,5% des Jahresmittels) und ausgesprochene Niedrigwasserführung in den Sommermonaten bis zum Minimum (3,8% des Jahresmittels) im September. Die Bleilochsperre ist daher im Sommer ein nur gering durchströmter See, der in geradezu lehrbuchmäßiger Weise das Schichtungsbild temperierter Seen unserer Breiten zeigt: Metalimnion mit steilem Temperaturabfall, anfangs in 4 bis 6 m, am Ende der Sommerstagnation in etwa 10 m Tiefe unter der Wasseroberfläche gelegen. Das sommerliche Schichtungsbild der Hohenwartesperre ähnelt dagegen dem eines stärker durchströmten natürlichen Sees. Infolge der Abgabe bedeutend größerer Wassermengen aus dem oberen in das untere Großstaubecken wird hier das Metalimnion viel mächtiger; es kommt nicht zur Ausbildung einer typischen dreistöckigen Schichtung, sondern die Temperaturkurve streckt sich zu einem fast gleichförmigen Temperaturabfall.

Die thermischen Verhältnisse in Talsperren habe ich an anderer Stelle (Schröder 1958) ausführlich diskutiert. Ich muß mich hier auf die Hinweise beschränken, die für das Verständnis der Einschichtung der Ablagen notwendig sind. In den Großstaubecken vom Typ der Saaletalsperren bedingt der Wasserabzug aus dem tiefen Hypolimnion keinerlei Störung der thermischen Schichtung, insbesondere bewirkt er keinen „Sog“, der die streng horizontal verlaufenden Isothermen aus ihrer Lage bringen könnte. Talsperren zeigen jedoch gegenüber natürlichen Seen die thermische Besonderheit der ständig zunehmenden Erwärmung des Hypolimnions während der Sommerstagnation. Infolge des Wasserabzugs aus der Tiefe verlagern sich die streng geschichteten Wasserkörper unter Mitführung ihres Wärmeinhalts, immer parallel zu ihrer ursprünglichen Lage, langsam in größere Tiefen. Dieser Vorgang erinnert an die vorsichtige Entleerung eines Scheidetrichters.

Aus der geschilderten thermischen Schichtung der Talsperren resultiert die Art und Weise der Einschichtung der Sulfitablagen (Abb. 2). In den Monaten der Sommerstagnation ist die mit den frischen Ablagen belastete Saale spezifisch schwerer als die Wasserschichten des Epilimnions der Bleilochsperre. Bei seinem Eintritt in die Sperre taucht also der Zufluß unter und fließt eine Strecke im

alten Flußbett, bis er im Metalimnion auf einen Wasserhorizont stößt, der dasselbe spezifische Gewicht hat. In diesem Horizont hebt sich der Einstrom vom Boden ab und bewegt sich nun, parallel zur Wasseroberfläche, in Richtung auf die Sperrmauer. So kommt es während der Sommerstagnation zur Ansammlung der gesamten zufließenden Ablaugen ausschließlich im Metalimnion der Bleilochsperre. Hier finden intensive Abbauprozesse statt, die zu rapidem Sauerstoffschwund führen. In Durchschnittsjahren mit sommerlichen Zuflüssen, die etwa dem langjährigen Mittel entsprechen, wird

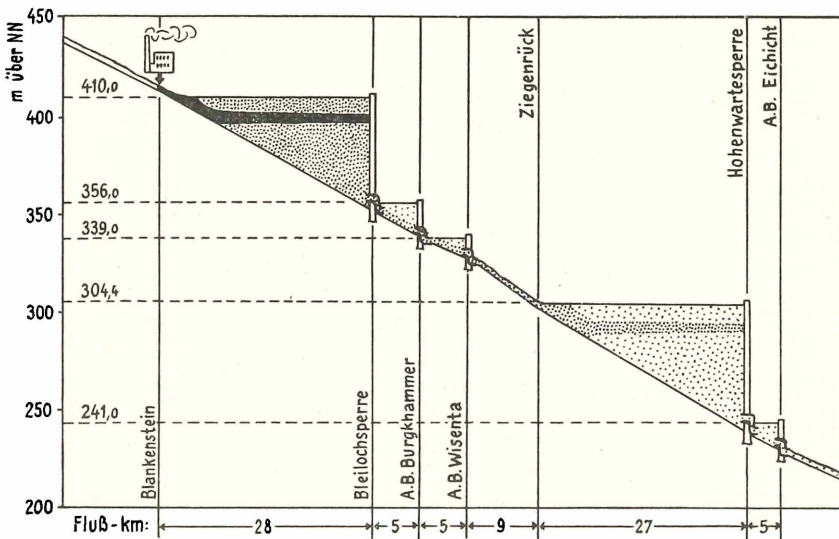


Abb. 2. Schema der Einschichtung der Sulfitablaugen in die Saalealsperren während der Sommerstagnation.

*schwarz* der mit Ablaugen belastete Zufluß des laufenden Sommerhalbjahrs.

*eng punktiert*: Mischwasser der Bleilochsperre vom Zustand am Ende der Frühjahrs-Vollzirkulation und Ort seiner Einschichtung in die Hohenwartesperre.

*weit punktiert* Mischwasser der Hohenwartesperre vom Zustand am Ende der Frühjahrs-Vollzirkulation.

im Metalimnion der Nullwert des Sauerstoffs in den oberen Abschnitten der Bleilochsperre schon Ende Mai, bei Saalburg Ende Juni und an der Sperrmauer Ende Juli erreicht. Nach dem Eintritt anaerober Bedingungen im Metalimnion treten hier Reduktionerscheinungen auf, bei denen große Mengen von Schwefelwasserstoff gebildet werden.

Oberhalb und unterhalb des sich ins Metalimnion einschichtenden Zuflusses, also im Epilimnion und im Hypolimnion, befinden sich Wassermassen von einer Beschaffenheit, wie sie im Augenblick der Beendigung der Frühjahrs-Vollzirkulation bestand. Dieses Wasser enthält in Durchschnittsjahren noch eine Restbelastung vom Vorjahre her und es finden auch hier biochemische Abbauprozesse statt. Dieser Restabbau und der damit verbundene Sauerstoffschwund hat jedoch ein bedeutend geringeres Tempo und Ausmaß als der rapide Abbau der stärker konzentrierten frischen Verunreinigung im Metalimnion. Trotzdem sind im Normaljahr zu Ende August nur noch geringe Reste an Sauerstoff im Hypolimnion nachweisbar und bis Ende September wird es praktisch anaerob; zum Auftreten von Schwefelwasserstoff kommt es in Durchschnittsjahren jedoch nur in den untersten Schichten dicht über dem sedimentierten Faulschlamm. Die Sauerstoffverhältnisse des Hypolimnions der Bleilochsperre ähneln also denen eines stark eutrophen Sees.

Das Epilimnion der Bleilochsperre steht zwar im Gasaustausch mit der Atmosphäre, aber bei jedem Witterungsumschlag stoßen Teilzirkulationen bis in die Schichten des Metalimnions vor, in denen sich die Ablagen während des Sommerhalbjahres ansammeln und ausfaulen. Hierdurch kommt es zunächst in den oberen, später auch in den mittleren Abschnitten der Bleilochsperre zu Verschmutzung und Sauerstoffschwund auch im Epilimnion; am Ende der Sommerstagnation sind in Durchschnittsjahren nur noch die epilimnischen Schichten des untersten Abschnitts, von kurz oberhalb Saalburg bis zur Sperrmauer, aerob.

Das noch mit Reststoffen aus dem Vorjahre belastete Wasser des Hypolimnions der Bleilochsperre fließt durch die Turbinen des Kraftwerks in Richtung Hohenwartesperre. Die Ausgleichsbecken Burgkammer und Wisenta durchfließt es wegen seiner niedrigen Temperatur als Grundströmung und es gelangt praktisch unverändert in die etwa 9 km lange Flußstrecke um Walsburg. In dieser Flußstrecke wird das Wasser intensiv belüftet und relativ schnell wieder mit Sauerstoff angereichert, da es in der zweiten Hälfte der Sommer-



stagnation zwar ausgefault ist, aber keinen biochemischen Sauerstoffbedarf mehr aufweist. Die biochemisch nicht mehr angreifbaren Reststoffe der Ablagen verleihen diesem Wasser eine bräunliche Färbung und einen hohen Permanganatwert von etwa 120 mg/l  $\text{KMnO}_4$ . Dieses Wasser schichtet sich nun während der Sommerstagnation ins Metalimnion der Hohenwartesperre ein.

Tritt Ende Oktober in den Talsperren die Herbst-Vollzirkulation ein, so wird in der Bleilochsperre die während der 6 Monate der Sommerstagnation ausschließlich im Metalimnion angesammelte Belastung fast schlagartig mit den bis dahin weitgehend sauerstoffleer gewordenen übrigen Wassermassen der Talsperre vermischt. Es kommt zum plötzlichen völligen Sauerstoffschwund und zum Auftreten von Schwefelwasserstoff in allen Horizonten von der Oberfläche bis zum Grund. Vollzirkulation und reichliche Winterzuflüsse führen in Normaljahren dann etwa ab Mitte November zur allmählichen Wiederanreicherung der Wassermassen mit Sauerstoff.

Im Winter ist die einströmende verunreinigte Saale spezifisch schwerer als das Wasser der Bleilochsperre an irgendeiner Stelle; daher fließt sie jetzt als Grundströmung im alten Flußbett. Im Abfluß der Bleilochsperre, 28 km unterhalb der Zellstoffabrik, erscheinen im November 54% und in den Monaten Dezember bis März 82% des Permanganatwerts, den die Saale in Blankenstein nach Zuführung der Ablagen aufweist. In den Wintermonaten werden also größere Mengen noch nicht abgebauter Ablagen auch der Hohenwartesperre zugeführt. In Normaljahren werden jedoch diese Stoffe bis zum Einsetzen der nächsten Sommerstagnation in der Hohenwartesperre so weitgehend abgebaut, daß es im allgemeinen in diesem unteren Großstaubecken nicht mehr zu einem stärkeren Sauerstoffschwund kommt.

Die Jahre 1953/54 brachten besonders ungünstige Verhältnisse infolge einer extremen 15 Monate andauernden Niedrigwasserperiode von April 1953 bis Juni 1954, in der nur 193 hm<sup>3</sup> = 38% des langjährigen Mittels von 508 hm<sup>3</sup> der Bleilochsperre zufflossen. Die Folge war, daß die in unveränderter Menge zuströmenden Ablagen sich viel konzentrierter in der Bleilochsperre ansammelten und ab Frühjahr 1954 auch eine stärker konzentrierte und weniger weit abgebaute Restverschmutzung in die Hohenwartesperre abfloß. Während der Sommerstagnation 1954 trat daher auch in der Hohenwartesperre erstmalig metalimnischer Sauerstoffschwund im Horizont der Einschichtung und später weitgehender Sauerstoffrückgang im ganzen

Hypolimnion ein, wenn es auch nirgends bis zur Bildung von Schwefelwasserstoff in der Hohenwartesperre kam. Als die extreme Niedrigwasserperiode, in ihren Ausmaßen die größte nach den bis 1901 zurückreichenden Aufzeichnungen, im Juli 1954 durch ein kräftiges Sommerhochwasser mit rund 75 hm<sup>3</sup> Überschuß des Zuflusses zur Bleilochsperre abgelöst wurde, verstärkte sich die Verschmutzung der Hohenwartesperre noch, da nun bei weiterhin über dem Durchschnitt bleibenden Zuflüssen die Bleilochsperre entlastet werden mußte. Das Wasser des Hypolimnions der Bleilochsperre mit einer ungewöhnlich hohen Restbelastung, das von der Hochwasserwelle ganz unberührt geblieben war, wurde nun stärker in die Hohenwartesperre abgegeben.

Jahresbilanzen der Selbstreinigung, ausgedrückt in t KMnO<sub>4</sub>

	Bleilochsperre 1951 (Normaljahr)		Bleilochsperre 1954		Hohenwarte- Sperre 1954	
Zufluß	154146		146315		122676	
Abnahme						
Abbau	68911		105057		26943	
Abfluß	83421	152332	66609	171666	70621	97564
Differenz						
Anfangsbestand	40892		62578		14376	
Endbestand	42706	+ 1814	37227	- 25351	39488	+ 25112

*Tabelle 1*

In Tabelle 1 sind die Jahresbilanzen der Selbstreinigung für das Normaljahr 1951 in der Bleilochsperre und für das extreme Jahr 1954 in beiden Talsperren wiedergegeben. In Tabelle 2 sind die Werte der Hohenwartesperre für den 140-tägigen Zeitraum vom 15. Juni bis 1. November der beiden Jahre 1953 und 1954 gegenübergestellt, wobei die Zeit vor dem 1. November 1953 (dem ungefähren Einsetzen der Herbst-Vollzirkulation) für die Hohenwartesperre noch als hydrologisch normal bezeichnet werden kann. Die Zahlen der Tabelle 2 zeigen besonders deutlich, um wieviel stärker die Hohenwartesperre in der zweiten Hälfte der Sommerstagnation 1954 als Folge der 15-monatigen Niedrigwasserperiode belastet worden ist.

Bilanzen der Selbstreinigung in der Hohenwartesperre  
für die 140 Tage vom 15. Juni bis 1. November  
ausgedrückt in t  $\text{KMnO}_4$

	1953		1954	
Zufluß	17078		62596	
Abnahme				
Abbau	3393		15904	
Abfluß	20346	23739	32023	47927
Differenz				
Anfangsbestand	21037		24819	
Endbestand	14376	- 6661	39488	+ 14669

Tabelle 2

Abschließend sollen kurz die biologischen Folgen dieser stärkeren Saprobisierung der Hohenwartesperre im Sommer und Herbst 1954 dargestellt werden.

Die Tierwelt des freien Wassers, das Plankton, der Hohenwartesperre zeigte eine deutliche Änderung seiner Zusammensetzung:

1. Ausgesprochen oligosaprobe Arten verschwanden ganz aus dem Plankton. Hierher gehört vor allem das Rädertier *Notholca longispina*; ähnlich verhielten sich die Wasserflöhe *Daphnia longispina hyalina* und *Bosmina coregoni* sowie der Hüpfertling *Thermocyclops hyalinus*.

2. Eine Gruppe von Arten wurde durch die „düngende“ Wirkung der Saprobisierung gefördert, wenigstens soweit ausreichend hoher Sauerstoffgehalt erhalten blieb. Im Spätherbst 1954 kam es hierdurch sogar zu einem zweiten untypischen Herbstmaximum bei Arten, die als Warmwasserformen sonst nur ein Sommermaximum ihrer Entfaltung zeigen. Im vorliegenden Falle hat also die „Düngewirkung“ den sonst ausschlaggebenden Temperaturfaktor überlagert. Der klarste positive Indikator hierfür war das Rädertier *Pedalia mira*. Ähnlich verhielten sich das Rädertier *Anuraeopsis fissa*, der Wasserfloh *Diaphanosoma brachyurum*, die Hüpfertlinge *Bosmina longirostris* und *Thermocyclops dybowskii*. Auch der räuberische Wasser-

floh *Leptodora kindtii* nahm nach der stärkeren Saprobisierung deutlich zu und trat in besonders großen Exemplaren auf; hier handelt es sich offenbar um eine indirekte Wirkung infolge der Vermehrung der Nahrungstiere.

3. Eine größere Reihe von Arten wurde infolge ihres von Natur höheren Saprobiengrades allgemein gefördert. Hierzu gehörten von den Rädertieren die *Synchaeta*-Arten, *Filinia longiseta* und *F. terminalis*, von den Wasserflöhen *Daphnia pulex*, *D. longispina longispina*, *Ceriodaphnia reticulata* und *C. quadrangula* sowie von den Hüpferlingen *Cyclops strenuus* und *Diacyclops bicuspidatus*.

Da die Namen der Wasserorganismen dem Nichtbiologen wenig sagen und umfangreiche Listen und Tabellen den Außenstehenden nur verwirren, ist in der abwasserbiologischen Literatur schon häufig der Versuch gemacht worden, die biologischen Befunde graphisch darzustellen oder auf einfache Zahlenwerte zu reduzieren. Pantle (1955, 1956) schuf den Begriff „Saprobienindex“ und teilte den 4 Saprobienstufen *s* von oligo- bis polysaprob die Ziffern 1 bis 4 zu. Die Häufigkeit der Organismen an den einzelnen Probestellen kann ebenfalls durch eine Häufigkeitsziffer *b* ausgedrückt werden, die für die verschiedenen Häufigkeiten etwa von 1 bis 5 gewählt werden

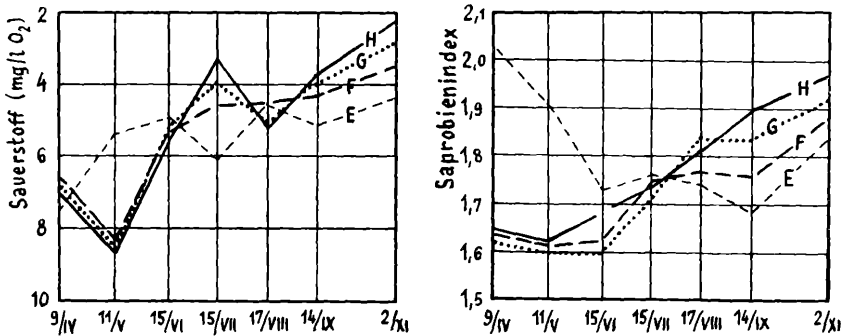


Abb. 3. Vergleich des epilimnischen Sauerstoffs und des Gewogenen Mittels der Saprobienindices des Planktons in der Hohenwartesperre, 7 Termine 1954.

Abschnitte: E = Linkenmühle, F = Hopfenmühle, G = Saaltal, H = oberhalb der Sperrmauer.

kann. Für die Zusammensetzung der Organismengemeinschaft an jeder Probenstelle läßt sich dann das „Gewogene Mittel der Saprobienindices  $S''$ “ nach Pantle wie folgt errechnen:

$$\text{Gewogenes Mittel der Saprobienindices } S = \frac{\sum (s \cdot h)}{\sum h}$$

In Abbildung 3 sind für 4 Teilabschnitte der Hohenwartesperre die Gewogenen Mittel der Saprobienindices des Planktons den entsprechenden epilimnischen Sauerstoffwerten an 7 Terminen des Jahres 1954 gegenübergestellt. Da bei einer Verunreinigung mit fäulnisfähigen Abwässern die Sauerstoffverhältnisse oft den ausschlaggebenden Milieufaktor darstellen, ergibt sich vor allem für die zweite Hälfte der Sommerstagnation 1954, in der die entscheidende Saprobisierung der Hohenwartesperre eintrat, eine ausgezeichnete Übereinstimmung der beiden Kurvenscharen.

Besiedlung des Profundals der Hohenwartesperre  
(Mittelwerte)

Termine	Tiere je m <sup>2</sup>	mg je m <sup>2</sup>	kg/ha
27. August 1952	6249	4891	48,9
16. Juni 1953	20350	15980	159,8
2. November 1954	34320	19180	191,8

Tabelle 3

Für die Tierwelt des Bodens, das Benthos, der Hohenwartesperre war bereits seit 1953 infolge der ständigen winterlichen Zuführung einer Restbelastung eine zunehmende Eutrophierung zu beobachten. In Tabelle 3 sind Durchschnittswerte der quantitativen Besiedlung des engeren Profundals zu drei Terminen zusammengestellt (Mittelwerte von Proben aus den verschiedenen Abschnitten der Talesperre). Danach hat sich die Dichte der Besiedlung des engeren Profundals infolge der Eutrophierung von Herbst 1952 bis Herbst 1954 etwa vervierfacht. Natürlich hat sich gleichzeitig auch die Zusammensetzung der Bodentierwelt grundlegend geändert. Die roten Larven der Zuckmücke, die typischen Bewohner des Faulschlammes eutropher Seen, waren 1952 nur vereinzelt im obersten Abschnitt der Hohenwartesperre anzutreffen. In Greiferproben bei der Station

Linkenmühle betrug die Anzahl dieser „*Plumosus*“-Larven auf 225 cm<sup>2</sup> Fläche 1 am 12. Mai 1952, 8 am 16. Juni 1953 und 21 bis 24 im Herbst 1954. Besonders deutlich zeigen die Abbildungen 4 und 5 die bis Herbst 1954 eingetretenen Veränderungen auch im untersten Abschnitt der Hohenwartesperre. In den Bildern sind die Tiere aus zwei Greiferproben auf einer Fläche verteilt, die der Greiferfläche entspricht, so daß die Abbildungen sowohl die Zusammensetzung wie gleichzeitig die Dichte der Bodenbesiedlung demonstrieren. Beide Proben stammen von derselben Station Saaltal, wenige km oberhalb der Sperrmauer Hohenwarte, aus über 50 m Tiefe. Am 12. Mai 1952 befand sich auf der Greiferfläche noch 1 Bachflohkrebs (*Gammarus*) in einer Gesellschaft von Tieren, die einen noch weitgehend



Abb. 4. Greiferprobe aus der Hohenwartesperre bei Saaltal. 55 m. 12. Mai 1952. Auf 225 cm<sup>2</sup>:

5 <i>Tendipediden</i>	10,8 mg
1 <i>Gammarus</i>	8,8 mg
83 <i>Oligochaeten</i>	56,7 mg
3 <i>Pisidium</i>	6,2 mg
<hr/>	
92 Tiere	82,5 mg



Abb. 5. Greiferprobe aus der Hohenwartesperre bei Saaltal. 50,5 m.

2. November 1954. Auf 225 cm<sup>2</sup>:

1531 Oligochaeten	336,2 mg
3 Pisidium	10,3 mg
<hr/>	
1534 Tiere	346,5 mg

oligotrophen Charakter der Tierwelt des Profundals bezeichnen. Die Probe vom 2. November 1954 von praktisch derselben Stelle zeigt jetzt auf der Greiferfläche über 1500 Schlammröhrenwürmer (*Tubifex*) neben 3 kleinen Muscheln (*Pisidium*). Die Eutrophierung war hier schon so weit vorgeschritten, daß jetzt nicht einmal mehr die roten *Plummosus*-Larven ihre Existenzbedingungen fanden.

#### Literatur

1. Entz Béla, 1959: „Chemische Charakterisierung der Gewässer in der Umgebung des Balatonsees (Plattensees) und chemische Verhältnisse des Balatonwassers.“ Ann. Inst. biol. (Tihany) Hung. Acad. Sci. 26, 131—201.

2. Gorham Eville and J. B. Cragg, 1960: „The chemical composition of some bog waters from the Falkland Islands.“ J. Ecol. (Oxford) 48, 175—181.

3. Minder L., 1939: „Der Wäggitalersee“ Schweizer. Z. Hydrol. 8, 143 bis 186.

4. Pantle R., 1956: „Biologische Flußüberwachung“ Wasserwirtschaft 46, Heft 8.

5. Pantle R. und H. Buck, 1955: „Biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse“ Gas- und Wasserfach 96, Heft 18.

6. Schröder Th., 1954: „Ausbreitung und Schichtung der Sulfitablaugen in der Bleilochsperre und Bilanz der Selbstreinigung des Stausees im Jahre 1951“ Wasserwirtschaft — Wassertechnik 4, 7—13 und 57—64.

7. Schröder Th., 1958: „Thermische Verhältnisse in Talsperren“ Gewässer und Abwässer 21, 68—88.

8. Schröder Th., 1959: „Zur Limnologie und Abwasserbiologie von Talsperren. Obere Saale (Thüringen)“ Intern. Revue ges. Hydrobiol. 44, 485—619.

Anschrift des Verfassers: Doz. Dr. habil. Th. Schröder, Leiter der Forschungsstelle für Limnologie der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Jena-Lobeda, Alte Landstraße 3.

#### DISKUSSION

Vogler

Wie ist der derzeitige Stand der Fischereiwirtschaft in diesen Stauseen?

Schröder

Nach dem Kriege hat die Fischerei hohe Erträge gebracht, da die Produktion der Fabrik abgesunken war und genügend Zufluß in den Stauen vorhanden war. Nach 1955 ist die Fischerei eingestellt worden, da sie unrentabel wurde. Die Strecke zwischen den Stauen war praktisch zum Salmonidengewässer geworden.

Urbassek

Woher rührt die starke Trübung in den flachen Stauseen der UdSSR?

Schröder

Diese Trübung ist auf eine starke Vermehrung der Wasserorganismen (Wasserblüte) durch natürliche Düngung zurückzuführen. Natürlich ist auch eine mineralische Trübung mit dabei; sie wird durch den Zustrom der großen Flüsse eingebracht und auch durch den Wellenschlag verursacht.

Cerny

Sie haben die Sauerstoffbilanz und die Permanganatverbrauchs-Bilanz in Tonnen pro Gesamtvolumen dargestellt. Auf wieviele Einzelbestimmungen stützen sich diese Werte?

Schröder

Für eine monatliche Bilanz wurden etwa 100 Einzelmessungen herangezogen. An vier Stellen der Sperre wurden von der Oberfläche bis zum Grund alle zwei Meter Proben genommen.



Derny

Die zulaufende Sulfitablaube dürfte nach meiner Meinung wegen der größeren Dichte in tiefere Schichten fließen und sich nur langsam mit dem Wasser der Sperre vermischen.

Schröder

Die Einsichtung erfolgt in der Sprungschicht in Richtung Staumauer.

Schulte

Welche Rolle spielt das Phytoplankton im Epilimnion für die Sauerstoffproduktion, bzw. für den Abbau der Schmutzstoffe?

Schröder

Ein Phytoplankton ist praktisch nicht da. Diese Erscheinung haben wir in fast allen deutschen Mittelgebirgs-Stauseen, wo fast nur Zooplankton vorkommt. Das Nannoplankton ist noch nicht untersucht worden.

Schlaner

Sie erwähnten, daß in den Talsperren an der Saale zeitweise ein überaus reiches Zooplankton auftritt, daß aber das Phytoplankton als Nahrungsgrundlage für das Zooplankton fehle, daß allerdings nach Nannoplankton noch nicht gesucht worden sei. Eine ähnliche Situation lag lange Zeit für viele österreichische und Schweizer Seen der alpinen Höhenstufe vor. Als die Nahrungsquelle für das Zooplankton des Hochgebirgssees wurde der organische Detritus angesehen. In den letzten Jahren aber hat sich dieses Bild stark geändert. Man fand mit der geeigneten Methode in vielen Fällen das Phytoplankton — fast ausschließlich Nannoplankton — in einer Menge, die ohne weiteres die Ernährung des Zooplanktons gewährleistet. Die richtige Vorstellung von den Wechselbeziehungen zwischen Phytoplankton und Zooplankton erhält man nur, wenn man durch geeignete Fixierung (Jod-Jodkalium-Lösung mit Essigsäurezusatz) auch das Nannoplankton qualitativer und quantitativer Untersuchung zugänglich macht. Außerdem muß die Probenentnahme zu verschiedenen Jahreszeiten durchgeführt werden, da sonst ein kurzzeitiges Phytoplankton-Minimum, das zum Beispiel durch ein eben erst aufgebautes Zooplankton-Maximum verursacht sein kann, falsche Verhältnisse vortäuschen kann.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Wasser und Abwasser](#)

Jahr/Year: 1961

Band/Volume: [1961](#)

Autor(en)/Author(s): Schröder Theodor

Artikel/Article: [Verunreinigung von Staugewässern 153-169](#)