

## Temperaturverhältnisse in Gewässern im Hinblick auf deren Selbstreinigung

Von Dozent Dr. techn. W. Kresser, Wien

### 1. Zusammenhang zwischen Wassertemperatur und Selbstreinigungskraft

Die Kenntnis der Temperaturverhältnisse in den stehenden und fließenden Gewässern ist in mehrfacher Hinsicht sehr wichtig und erfordert daher eine stetige Kontrolle und Erweiterung. Ursprünglich waren daran fast nur die Fachleute der Siedlungswasserwirtschaft interessiert, denn die ausreichende Versorgung mit gutem Trink- und Nutzwasser war stets die erste und größte Sorge jeder menschlichen Siedlungsgemeinschaft. Später kamen noch viele andere praktische, aber auch wissenschaftliche Gesichtspunkte dazu, von denen aus die örtliche und zeitliche Temperaturverteilung in den Bächen, Strömen und Seen immer mehr an Interesse und an Bedeutung gewann. In neuerer Zeit endlich ist dieser Frage auch vom Standpunkt der Wasserbiologie und Abwasserreinigung aus ein erhöhtes Augenmerk zuzuwenden, also von einem Standpunkt aus, der immer mehr in den Vordergrund rückt und in manchen Dingen eine totale Umstellung des wasserwirtschaftlichen Denkens erfordert. Es soll nun versucht werden, aus dieser Perspektive heraus das an sich rein hydrographische Thema der Temperaturverhältnisse der Gewässer etwas näher zu behandeln.

Vorerst sei auf die Wechselbeziehung zwischen Wassertemperatur und Selbstreinigungskraft der Gewässer hingewiesen. Bekanntlich versteht man unter letzterer die Fähigkeit des Wassers, sich von selbst der Schmutzstoffe zu entledigen. Diese glückliche Tatsache spielt ja eine große Rolle, denn ohne eine derartige Selbstreinigung wären die meisten unserer Flüsse schon längst zu übelriechenden Kloaken geworden. So aber kann man an Hand einer chemischen Analyse bereits wenige Flußkilometer unterhalb der Einleitung von fäulnisfähigen Abwässern einen Abbau der organischen Stoffe feststellen, der zum überwiegenden Teil auf biologischen und nur zum kleineren Teil auf physikalisch-chemischen Vorgängen beruht. Vor allem sind die Millionen kleiner und allerkleinster Lebewesen pflanzlicher und tierischer Art an diesem Abbau beteiligt. Von den pflanzlichen Organismen sind es besonders die niedersten Formen, die Bakterien, die Algen und die Pilze, welche die Reinigung bewirken und ihrerseits wieder

die Grundlage für das Gedeihen der tierischen Lebewesen, der sogenannten Bakterienfresser bilden. Diese dienen wiederum den Fischen zur Nahrung, womit der biologische Prozeß abgeschlossen ist.

Selbstverständlich sind die einzelnen Organismengruppen von den Bakterien und Algen über die Urtierchen und Rädertierchen bis zu den kleinen Krebsen, Insekten und Fischen bei einem im biologischen Gleichgewicht befindlichen Flusse genau aufeinander abgestimmt und je nach der Verschmutzung überwiegen entsprechende Arten der Abwasserflora und -fauna. Die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts und damit das Funktionieren des Selbstreinigungsprozesses ist jedoch von bestimmten Bedingungen abhängig. Von größter Bedeutung ist dabei zweifellos der Umstand, ob den Organismen genügend Ansatzmöglichkeiten und genügend Sauerstoff zur Verfügung stehen. Das sind aber Fragen, die fast vollständig in das Gebiet der Biochemie oder Biologie fallen und die daher hier auch nicht berührt werden sollen. Dagegen ist der Hydrologe wohl berufen, bei der Untersuchung des Einflusses der Wassertemperatur auf die biologische Selbstreinigung mitzuwirken, denn die Beobachtung der Gewässertemperaturen gehört zum Aufgabenbereich des hydrographischen Dienstes, der somit einen Teil des erforderlichen Untersuchungsmaterials zur Verfügung stellt.

Es ist wohl bezeichnend für die Komplikation der biologischen Prozesse, daß die Meinungen namhafter Fachleute über den Einfluß der Wassertemperatur auf den Selbstreinigungsvorgang noch vielfach sehr auseinandergehen. Das mag teilweise auch daran liegen, daß langjährige, systematische Untersuchungen darüber bis heute noch ausstehen und daher ein abschließendes Urteil derzeit gar nicht möglich ist. Lediglich bei der künstlichen biologischen Abwasserreinigung kann über die Bedeutung des Faktors Wassertemperatur auf Grund der vorliegenden Versuche in Laboratorien eine gewisse Aussage gemacht werden.

Durch die von verschiedenen Seiten durchgeführten Laboratoriumsversuche wollte man vor allem feststellen, wie sich die Bakterien bei verschiedenen Wassertemperaturen entwickeln und wie sich dazu der Sauerstoffverbrauch verhält, da anzunehmen war, daß der Selbstreinigungsvorgang wesentlich davon abhängt. Leider waren die Versuchsergebnisse zum Teil sehr widerspruchsvoll, so daß selbst hier von einer klaren Abhängigkeit des Selbstreinigungsprozesses von der Wassertemperatur nicht die Rede sein kann. Das ist bei der verschiedenartigen Zusammensetzung des Abwassers leicht erklärlich, denn jeder Versuch erstreckt sich genau genommen ja nur auf ein ganz bestimmtes Abwasser. Daher ist es wahrscheinlich, daß sich der Einfluß der Wassertemperatur je nach der Beschaffenheit des Abwassers verschiedentlich auswirkt. Der Abbau der

Phenole wird beispielsweise durch niedrige Temperaturen sehr gehemmt und auf die biologische Oxydation des anorganischen Stickstoffes ist der verzögernde Einfluß der Kälte noch größer. Eine Erscheinung, die dagegen bei allen Versuchen im gleichen Sinne auffallend hervortrat, war die starke Vergrößerung der Keimzahlen mit abnehmender Temperatur. Geht man dabei von der Keimzahlfläche, also vom Produkt aus Keimzahl und Zeit, aus, die sich für einen quantitativen Vergleich besser eignet, so zeigte sich, daß dieselbe bei einer Wassertemperatur von  $10^{\circ}$  C 4- bis 8 mal so groß ist als bei einer Temperatur von  $37^{\circ}$  C. Als theoretische Erklärung für einen derart starken Einfluß der Temperatur auf den Bakteriengehalt des Wassers kann man geltend machen, daß infolge Herabsetzung des Stoffwechsels des einzelnen Bakteriums im kalten Wasser eine größere Individuenzahl von der gleichen Nahrungsmenge leben kann als unter sonst gleichen Verhältnissen bei höherer Temperatur.

Man sollte nun annehmen können, daß sich bei der Selbstreinigung in natürlichen Gewässern der Einfluß der Wassertemperatur viel eindeutiger und stärker bemerkbar macht als bei der künstlichen biologischen Abwasserreinigung. Nach der Ansicht namhafter Fachleute gilt für den Vorgang der natürlichen Selbstreinigung wie auch für die Beeinflussung des biochemischen Sauerstoffbedarfes (BSB) durch Temperatur und Zeit nämlich die mathematische Beziehung

$$X_t = S_0 (1 - 10^{-kt}).$$

Darin bedeutet  $X_t$  den in der Zeit  $t$  verbrauchten Sauerstoff,  $S_0$  den ursprünglich vollen BSB,  $t$  die Zeit in Tagen und  $k$  eine von der Temperatur abhängige Konstante, die untenstehende Werte annimmt.

Temperatur	k
$0^{\circ}$	0,0399
$5^{\circ}$	0,0502
$10^{\circ}$	0,0632
$20^{\circ}$	0,1000
$30^{\circ}$	0,1583

Die Gültigkeit dieses Gesetzes, das ungefähr der van't Hoff'schen Regel entspricht, würde also bedeuten, daß ein Abbauvorgang, der sich bei  $20^{\circ}$  in 10 Tagen vollzieht, bei  $0^{\circ}$  fast genau 25 Tage, bei  $10^{\circ}$  ca. 16 und bei  $30^{\circ}$  beinahe 7 Tage dauert.

Dieser gesetzmäßigen Verzögerung des natürlichen Selbstreinigungsprozesses bei tieferen Temperaturen steht jedoch andererseits eine Be-

schleunigung infolge der weit höheren Keimzahlen gegenüber, wodurch ein gewisser Ausgleich auftritt. Wie stark diese Zunahme sein kann, ist aus Abbildung 1 zu entnehmen, in der für einige natürliche Gewässer die durchschnittlichen Keimzahlen der einzelnen Monate in Abhängigkeit von der Wassertemperatur aufgetragen sind. Besonders kraß sticht die Vermehrung der Keimzahlen in den Wintermonaten bei der Lea oberhalb von London, aber auch bei der Themse hervor. Ebenso auffallend und bezeichnend ist die starke Streuung der Werte für fast alle Gewässer,

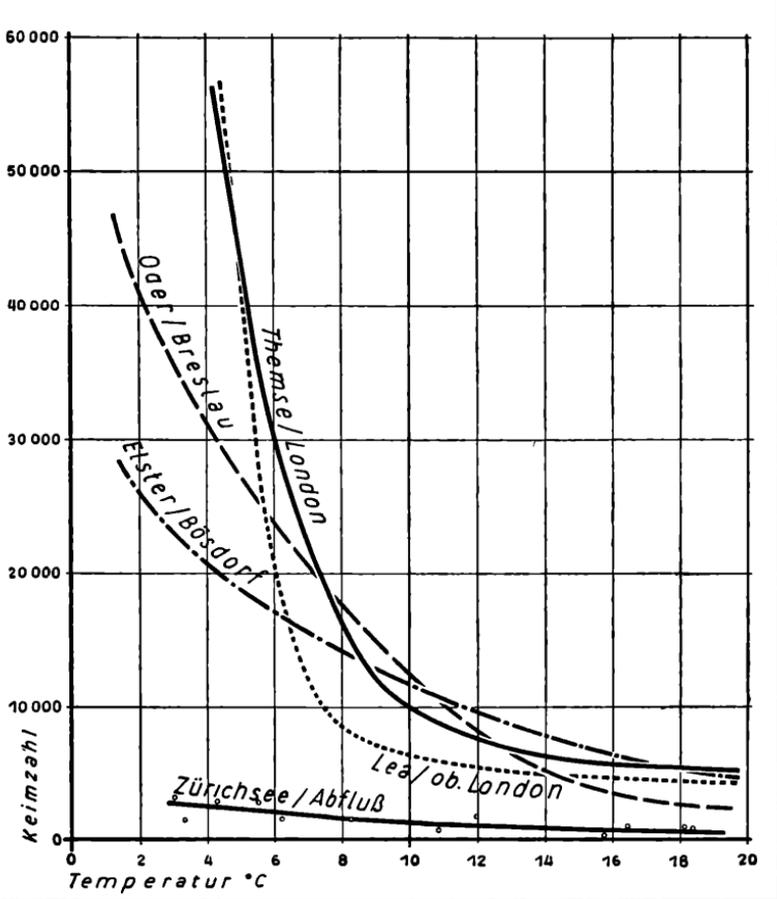


Abb. 1. Zusammenhang zwischen Keimzahl und Wassertemperatur

während beim Zürichsee-Abfluß ein ziemlich strammer Zusammenhang besteht.

Trotz der deutlichen und beinahe gesetzmäßigen Abhängigkeit gewisser Faktoren und Teilvorgänge der biologischen Abwasserreinigung von der Wassertemperatur ist in der Gesamtwirkung durchaus kein eindeutiger und klarer Zusammenhang zwischen Temperatur und Abbauvorgang in den Gewässern zu beobachten. Der Grund liegt darin, daß sich unter natürlichen Verhältnissen die Mikroorganismen der Temperatur weitgehend anpassen können, bzw. eine gewisse Verschiebung in der Zusammensetzung der Organismenwelt eintritt. Da bei Laboratoriumsversuchen eine derartige Anpassung der Bakterien in der kurzen Versuchszeit nicht möglich ist, erklären sich nun auch gewisse Widersprüche in den Beobachtungen und auch in den Ansichten einzelner Forscher.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, daß sich bei einem einer regelmäßigen Abwasserlast unterworfenen Gewässer der Temperatureinfluß auf den Selbstreinigungsvorgang nicht so stark bemerkbar macht, als a priori zu erwarten wäre, da die Anpassung der Mikroorganismen an die Temperatur und die Wasserbeschaffenheit schon erfolgt ist. Sobald aber eine Störung der Regelverhältnisse eintritt, beispielsweise durch eine stoßweise starke Verunreinigung, ist eine derartige Anpassung nicht gegeben und der Temperatureinfluß kann unter Umständen recht beachtlich sein, sofern er nicht durch andere Faktoren überdeckt wird. Das kann sich bei niederen Wassertemperaturen insbesondere am Anfang sehr unangenehm bemerkbar machen, da bei kaltem Wasser eine längere Anlaufzeit besteht, innerhalb welcher die Bakterienentwicklung sehr gering ist und daher mit einer bedeutenden Verzögerung des ganzen Abbauvorganges gerechnet werden muß. Bei Seen und Teichen, ebenso bei Bächen und Flüssen der Güteklasse 1, die nicht durch Abwässer verunreinigt sind, bedeutet eine plötzliche Verunreinigung im Winter daher eine doppelte Gefahr, da in solchen Gewässern die Ernährungsmöglichkeit der Bakterien und somit auch ihre Zahl in der kalten Jahreszeit an sich schon gering ist. Bei Gewässern dagegen, in die laufend und in erheblichem Maße Abwässer eingeleitet werden, bestehen für die Bakterien während des Jahres fast immer dieselben Lebensbedingungen, weshalb der Temperatureinfluß stark gedämpft wird. Man ersieht daraus, daß es praktisch unmöglich ist, eine allgemeine Gesetzmäßigkeit für den Zusammenhang zwischen Wassertemperatur und natürlicher Selbstreinigung anzugeben. Der Grad der Abhängigkeit wird vielmehr durch die örtlichen Verhältnisse bestimmt und kann verschieden groß sein. Jedenfalls aber handelt es sich bei der Wassertemperatur um einen bedeutungsvollen Faktor im Zusammenspiel der den Abbauvorgang bestimmenden Kräfte.

## 2. Thermische Charakteristika einiger österreichischer Gewässer

Die ältesten Angaben über die Temperatur in natürlichen Gewässern liegen von der Newa bei Leningrad vor, wo bereits im Jahre 1734 einige Zeit hindurch tägliche Beobachtungen angestellt wurden. Erst ein Jahrhundert später begann man an der Rhône und Saône mit Temperaturmessungen und kurz danach auch in der Moldau bei Prag. Waren es bis dahin durchwegs einzelne Naturforscher, die aus eigenem Antrieb diese Beobachtungen vornahmen, so änderte sich das mit dem Jahre 1876. In diesem Jahre begannen nämlich auf Anordnung des damaligen Kriegsministeriums an mehreren größeren Flüssen der österreichisch-ungarischen Monarchie regelmäßige Wasserstands- und Wassertemperaturbeobachtungen, die dann später vom Hydrographischen Dienst übernommen und ausgebaut wurden. Es liegen somit von einer Reihe österreichischer Gewässer langjährige und geschlossene Meßreihen vor, die einen guten Einblick in die Wasserthermik gestatten. Heute sind es ungefähr 90 Meßstationen, an denen die Wassertemperatur täglich erhoben und in den Hydrographischen Jahrbüchern veröffentlicht wird.

Im folgenden sollen nun unter Außerachtlassung allgemeiner Erklärungen die wichtigsten Gesetzmäßigkeiten hinsichtlich der zeitlichen und örtlichen Verteilung der Wassertemperaturen in aller Kürze erläutert werden, wobei es zweckmäßig erscheint, wegen des verschiedenen Verhaltens zwischen fließenden und stehenden Gewässern zu unterscheiden. Aus räumlichen Gründen ist es jedoch nur möglich, mittlere Werte für mehrere ausgewählte Meßstellen in Österreich wiederzugeben, weshalb der näher Interessierte auf die Hydrographischen Jahrbücher verwiesen werden muß. Die wesentlichen thermischen Charakteristika werden auch durch einige Diagramme veranschaulicht.

### a) Fließende Gewässer

Wie die vorangegangenen Ausführungen zeigen, ist im Hinblick auf die Selbstreinigung der Gewässer vor allem der zeitliche Temperaturgang von Interesse und hier wiederum in erster Linie die jährliche Schwankung. Diese ist naturgemäß verschieden groß, je nachdem, ob es sich um den Oberlauf, Mittellauf oder Unterlauf eines Gewässers handelt, wenn auch die Ganglinie überall den bekannten, für unsere Breiten charakteristischen Verlauf mit den tiefsten Temperaturen im Jänner und den höchsten im Juli oder August zeigt. Während aber die Minima an den verschiedenen Meßstellen eines Flußlaufes nur wenig voneinander abweichen, da ihnen bei 0° ja eine natürliche Grenze gesetzt ist, nehmen die Maxima mit

Tabelle 1  
**Monats- und Jahresmittel der Temperaturen einiger Gewässer**

Fluß	Meßstelle	Seehöhe der Meßstelle	Fläche des Einzugs- gebietes	Jahresmittel der Temperaturen												
				I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Rhein	Brugg	430	6120	2,5	3,1	5,4	7,3	9,1	10,7	12,3	12,9	11,5	8,5	5,5	3,3	7,7
Inn	Magerbach	655	5119	0,8	1,3	3,3	5,8	7,5	8,9	9,9	10,0	8,9	6,4	3,1	1,2	5,6
Inn	Kufstein	476	9505	1,0	1,4	4,1	6,6	8,5	10,4	11,8	11,9	10,6	7,5	4,1	1,5	6,6
Inn	Schärding	300	25664	1,9	2,3	4,9	7,8	10,8	12,6	14,1	14,1	12,5	9,2	5,3	2,7	8,2
Sill	Innsbruck	569	860	2,2	2,8	4,0	6,2	7,3	8,7	9,7	9,7	8,5	6,1	3,7	2,0	5,9
Salzach	Salzburg	417	4410	2,1	2,4	4,8	6,5	9,0	11,0	12,2	12,4	10,6	7,9	4,8	2,7	7,3
Salzach	Oberndorf	390	6105	2,1	2,6	4,6	7,1	9,4	11,3	12,9	12,4	11,2	8,6	5,4	3,3	7,6
Donau	Linz	251	79490	1,4	1,9	5,0	8,9	12,6	14,7	16,3	16,1	13,9	10,0	5,3	2,4	9,0
Donau	Wien	157	101700	1,6	2,0	4,9	8,7	12,5	15,1	16,7	16,7	14,3	9,3	5,6	2,7	9,2
Traun	Wels	312	3500	3,8	3,9	5,0	6,5	9,4	12,6	14,6	15,0	13,3	10,3	7,2	5,2	6,8
Enns	Röthelbrücke	630	2116	1,3	1,4	3,1	4,9	6,7	8,5	10,0	10,4	8,2	5,5	2,1	1,5	5,3
Enns	Steyr	285	5000	2,0	2,8	5,1	7,4	9,3	11,7	13,2	13,3	12,0	8,8	5,6	3,0	7,8

Ybbs	Amstetten	267	1098	2,3	2,2	3,8	8,2	10,3	(12,9)	16,4	16,6	15,5	9,1	6,9	3,9	9,0
Kamp	Stiefern	218	1493	0,5	1,5	2,7	8,2	12,3	16,8	18,5	18,8	15,9	6,6	5,7	0,8	9,0
Fischa	Fischamend	152	535	4,5	4,9	6,8	9,1	12,0	13,8	14,6	14,3	12,3	9,8	6,9	5,5	9,5
March	Hohenau	148	24138	0,5	0,7	2,5	9,2	14,2	18,0	19,4	21,0	17,4	11,9	5,3	1,6	10,2
Thaya	Lundenburg	149	12422	1,6	2,1	5,7	11,2	17,7	21,7	22,2	22,4	18,5	11,9	6,7	3,0	12,0
Schwarza	Gloggnitz	436	472	2,2	2,7	4,8	6,3	8,3	10,4	11,0	11,5	9,6	7,4	5,3	4,2	7,0
Mur	St. Georgen	709	2342	0,3	0,7	3,0	4,9	7,8	10,4	11,7	11,7	9,7	6,1	2,7	1,0	5,8
Mur	Graz	345	7025	1,2	2,0	5,1	7,5	10,4	13,1	14,2	14,3	11,6	8,2	4,7	2,8	7,9
Mur	Radkersburg	205	10172	0,8	1,6	5,6	8,4	11,4	14,6	15,9	15,9	12,8	8,9	5,1	2,5	8,6
Mürz	Diemlach	490	1100	1,8	2,7	4,3	5,8	8,4	11,0	12,6	12,4	11,0	8,0	5,0	3,2	7,2
Kainach	Wildon	292	853	1,5	1,9	4,6	7,9	12,3	15,4	16,1	15,3	12,2	8,9	5,4	2,6	8,7
Sulm	Leibnitz	265	1098	0,8	1,5	4,6	8,6	13,1	16,2	17,6	16,4	13,1	9,4	5,1	2,1	9,0
Drau	Villach	487	5266	0,9	1,6	4,2	7,3	9,4	11,1	12,6	12,8	11,2	8,2	4,6	1,9	7,2
Drau	Völkermarkt	376	10517	1,2	1,9	4,8	7,8	10,4	12,2	14,2	14,3	12,3	8,9	5,3	2,6	8,0
Möll	Möllbrücke	557	1096	1,0	1,5	3,6	5,9	7,5	8,7	10,0	10,1	9,2	7,0	3,8	1,9	5,8
Lieser	Spittal	573	1036	1,2	1,5	3,2	5,4	7,5	9,9	11,6	12,3	11,2	8,5	5,1	2,4	6,7
Gail	Nötsch	553	936	1,6	2,3	4,3	6,5	8,5	11,0	13,1	13,0	11,7	8,4	5,2	2,8	7,4

Tabelle 1  
**Monats- und Jahresmittel der Temperaturen einiger Gewässer**

Fluß	Meßstelle	Seehöhe der Meßstelle	Fläche des Einzugsgebietes	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
Rhein	Brugg	430	6120	2,5	3,1	5,4	7,3	9,1	10,7	12,3	12,9	11,5	8,5	5,5	3,3	7,7
Inn	Magerbach	655	5119	0,8	1,3	3,3	5,8	7,5	8,9	9,9	10,0	8,9	6,4	3,1	1,2	5,6
Inn	Kufstein	476	9505	1,0	1,4	4,1	6,6	8,5	10,4	11,8	11,9	10,6	7,5	4,1	1,5	6,6
Inn	Schärding	300	25664	1,9	2,3	4,9	7,8	10,8	12,6	14,1	14,1	12,5	9,2	5,3	2,7	8,2
Sill	Innsbruck	569	860	2,2	2,8	4,0	6,2	7,3	8,7	9,7	9,7	8,5	6,1	3,7	2,0	5,9
Salzach	Salzburg	417	4410	2,1	2,4	4,8	6,5	9,0	11,0	12,2	12,4	10,6	7,9	4,8	2,7	7,3
Salzach	Oberndorf	390	6105	2,1	2,6	4,6	7,1	9,4	11,3	12,9	12,4	11,2	8,6	5,4	3,3	7,6
Donau	Linz	251	79490	1,4	1,9	5,0	8,9	12,6	14,7	16,3	16,1	13,9	10,0	5,3	2,4	9,0
Donau	Wien	157	101700	1,6	2,0	4,9	8,7	12,5	15,1	16,7	16,7	14,3	9,3	5,6	2,7	9,2
Traun	Wels	312	3500	3,8	3,9	5,0	6,5	9,4	12,6	14,6	15,0	13,3	10,3	7,2	5,2	6,8
Enns	Röthelbrücke	630	2116	1,3	1,4	3,1	4,9	6,7	8,5	10,0	10,4	8,2	5,5	2,1	1,5	5,3
Enns	Steyr	285	5000	2,0	2,8	5,1	7,4	9,3	11,7	13,2	13,3	12,0	8,8	5,6	3,0	7,8

Ybbs	Amstetten	267	1098	2,3	2,2	3,8	8,2	10,3	(12,9)	16,4	16,6	15,5	9,1	6,9	3,9	9,0
Kamp	Stiefern	218	1493	0,5	1,5	2,7	8,2	12,3	16,8	18,5	18,8	15,9	6,6	5,7	0,8	9,0
Fischa	Fischamend	152	535	4,5	4,9	6,8	9,1	12,0	13,8	14,6	14,3	12,3	9,8	6,9	5,5	9,5
March	Hohenau	148	24138	0,5	0,7	2,5	9,2	14,2	18,0	19,4	21,0	17,4	11,9	5,3	1,6	10,2
Thaya	Lundenburg	149	12422	1,6	2,1	5,7	11,2	17,7	21,7	22,2	22,4	18,5	11,9	6,7	3,0	12,0
Schwarza	Gloggnitz	436	472	2,2	2,7	4,8	6,3	8,3	10,4	11,0	11,5	9,6	7,4	5,3	4,2	7,0
Mur	St. Georgen	709	2342	0,3	0,7	3,0	4,9	7,8	10,4	11,7	11,7	9,7	6,1	2,7	1,0	5,8
Mur	Graz	345	7025	1,2	2,0	5,1	7,5	10,4	13,1	14,2	14,3	11,6	8,2	4,7	2,8	7,9
Mur	Radkersburg	205	10172	0,8	1,6	5,6	8,4	11,4	14,6	15,9	15,9	12,8	8,9	5,1	2,5	8,6
Mürz	Diemlach	490	1100	1,8	2,7	4,3	5,8	8,4	11,0	12,6	12,4	11,0	8,0	5,0	3,2	7,2
Kainach	Wildon	292	853	1,5	1,9	4,6	7,9	12,3	15,4	16,1	15,3	12,2	8,9	5,4	2,6	8,7
Sulm	Leibnitz	265	1098	0,8	1,5	4,6	8,6	13,1	16,2	17,6	16,4	13,1	9,4	5,1	2,1	9,0
Drau	Villach	487	5266	0,9	1,6	4,2	7,3	9,4	11,1	12,6	12,8	11,2	8,2	4,6	1,9	7,2
Drau	Völkermarkt	376	10517	1,2	1,9	4,8	7,8	10,4	12,2	14,2	14,3	12,3	8,9	5,3	2,6	8,0
Möll	Möllbrücke	557	1096	1,0	1,5	3,6	5,9	7,5	8,7	10,0	10,1	9,2	7,0	3,8	1,9	5,8
Lieser	Spittal	573	1036	1,2	1,5	3,2	5,4	7,5	9,9	11,6	12,3	11,2	8,5	5,1	2,4	6,7
Gail	Nötsch	553	936	1,6	2,3	4,3	6,5	8,5	11,0	13,1	13,0	11,7	8,4	5,2	2,8	7,4

zunehmender Entfernung vom Quellursprung zu. Wegen der hohen Sommerwerte ist die Temperaturdifferenz Sommer — Winter in den mündungsnahen Flußstrecken daher oft doppelt so groß wie im obersten Lauf. In der Tabelle 1 sind von einigen Meßstellen an Gewässern, die vom Standpunkt des Abwassertechnikers aus besonders interessieren, die durchschnittlichen Monats- und Jahresmittel der Wassertemperaturen angegeben. Selbstverständlich treten oft auch innerhalb der einzelnen Monate größere Schwankungen auf, die in den angegebenen Mittelwerten ebenso wenig zum Ausdruck kommen wie die Extremwerte. Von diesen wären vor allem die Maxima zu erwähnen, die bis zu  $6^0$  über dem höchsten Monatsmittel liegen und unter Umständen längere Zeit anhalten können. Ab-

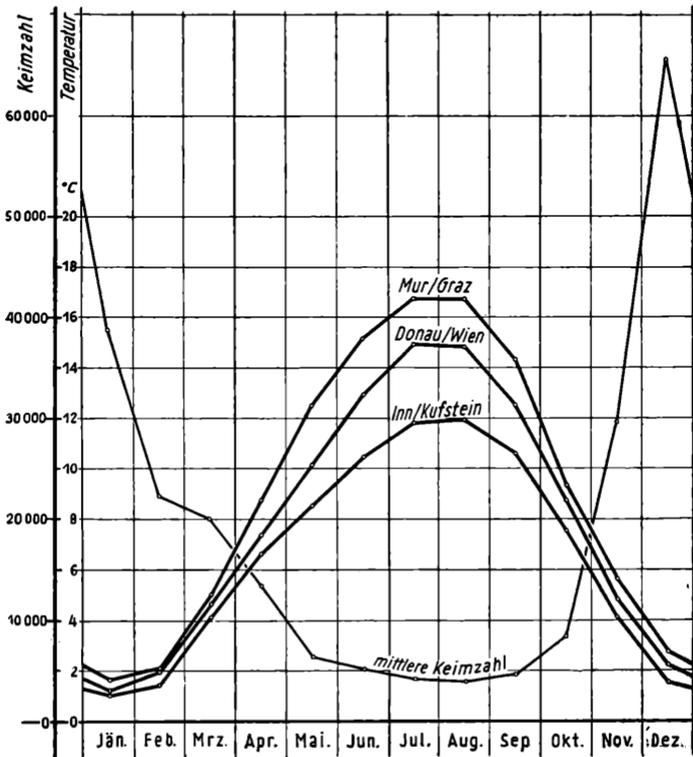
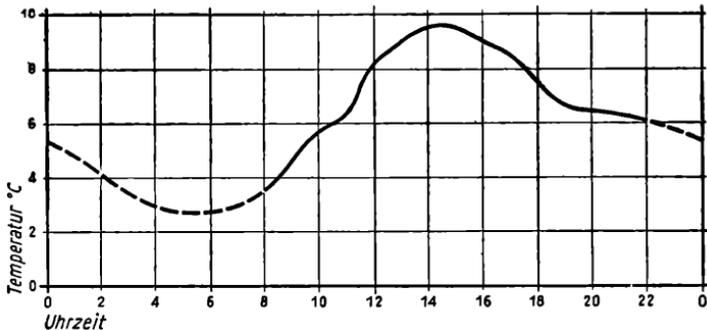


Abb. 2. Mittlerer Jahresgang der Temperatur in einigen Gewässern

bildung 2 zeigt für einige wichtige Gewässerstellen, beispielsweise für die Mur bei Graz, den geglätteten Jahrgang der Temperatur, wobei als Ergänzung noch die durchschnittliche, auf Grund der Messungen an anderen Gewässern wahrscheinliche Keimzahl mitaufgetragen wurde.

Neben dem jährlichen ist in den meisten Gewässern auch ein deutlicher täglicher Temperaturgang zu beobachten, der allerdings örtlich sehr verschieden ist, da er von mehreren Faktoren abhängt. Die größten Schwankungen im Tagesverlauf treten bei sonnigem Wetter im Frühjahr und Sommer auf, doch kann die Amplitude unter gewissen Verhältnissen auch im Winter einen höheren Betrag erreichen. Den stärksten Einfluß auf die Tagesschwankung hat zweifellos die Wasserführung, da die Umweltinflüsse bei einer kleineren Durchflußmenge stärker zur Geltung kommen als bei einer größeren. Die Amplitude des täglichen Temperatunganges ist daher in der Regel im Oberlauf der Flüsse bedeutend größer als im Unterlauf, doch hängt dieses Verhältnis wie auch die Variationsbreite selbst nicht unwesentlich davon ab, inwieweit das Flußbett durch Berge, hohe Böschungen oder Ufervegetation gegen die direkte Sonnenbestrahlung abgeschirmt wird. Besonders große Schwankungen treten bei Gebirgsbächen mit vergletschertem Einzugsgebiet auf, wo die Amplitude an Sommertagen  $6-8^{\circ}\text{C}$  ausmachen kann, wie das in Abbildung 3 dargestellte Diagramm für den Jambach in Galtür zeigt. Im Unterlauf der Flüsse beträgt der Unterschied zwischen dem in der Früh auftretenden Temperaturminimum und dem Maximum am Spätnachmittag im Durchschnitt nur noch 1 bis  $2^{\circ}$ , höchstens aber 3 bis  $4^{\circ}$  und dürfte demnach ohne merklichen Einfluß auf die Lebewelt und damit auf die Selbstreinigung der Gewässer sein.



*Abb. 3. Tagesgang der Wassertemperatur  
des Jambaches am 30. August 1906*

Was nun die örtlichen Temperaturunterschiede in einem fließenden Gewässer anbelangt, so kann nur bezüglich der Längsrichtung von solchen gesprochen werden, da in den einzelnen Punkten eines bestimmten Querschnittes infolge der stetigen turbulenten Durchmischung die Wassertemperatur praktisch konstant ist. Entlang dem Flußlauf erfolgt jedoch eine bedeutende Änderung derselben, und zwar wächst sie außer der Frostzeit natürlich gegen die Mündung zu je nach Gewässer verschieden stark an, bis sich annähernd ein thermisches Gleichgewicht zwischen Fluß und Umgebung einstellt. Dieses wird um so rascher erreicht, je freier das Flußbett liegt, je geringer die Wasserführung und die Fließgeschwindigkeit und je größer der Temperaturunterschied zwischen Wasserkörper und Umgebung ist. Von den österreichischen Wasserläufen erreicht mit Ausnahme vielleicht der March kein einziger das thermische Gleichgewicht, denn alle münden schon nach kurzem Lauf in den Vorfluter ein, während die Donau auf der langen Strecke bis zur Staatsgrenze große Gebirgsflüsse aufnimmt, welche die Wassertemperatur herunterdrücken. Besonders deutlich ist die Temperaturzunahme in der Richtung zur Mündung bei der Mur ausgeprägt. Bis auf die Frostmonate Dezember bis Februar ist von März bis November auf der ganzen Flußstrecke zwischen St. Michael und Radkersburg ein stetiger Temperaturanstieg zu verzeichnen, der im Juli sogar  $8,7^{\circ}$  ausmacht. In Abbildung 4 ist das Temperatur-Längsprofil

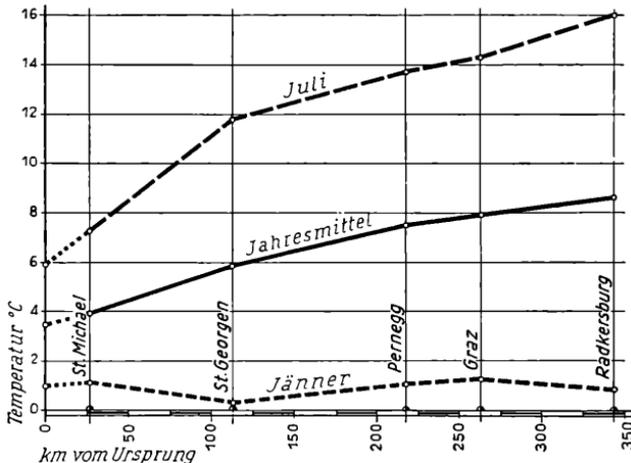


Abb. 4. Temperatur-Längsprofil der Mur im Jänner, Juli und Jahresdurchschnitt

der Mur im Jänner, im Juli und im Jahresdurchschnitt dargestellt und man sieht daraus klar, daß selbst das Jahresmittel der Wassertemperatur bei Radkersburg um mehr als das Doppelte über dem entsprechenden Wert in St. Michael liegt, während für den Frostmonat Jänner die erwähnte Annahme gilt.

### b) Stehende Gewässer

Im Gegensatz zu den Bächen und Flüssen fehlt bei den stehenden Gewässern die Durchmischung fast vollständig, so daß sich Temperaturunterschiede erst in längeren Zeiträumen ausgleichen können. Aus diesem Grunde tritt als wesentliches Charakteristikum der Seen eine thermische Schichtung des Wassers ein, die sehr beträchtlich sein kann und in der Regel eine große Beständigkeit aufweist. Im Hinblick auf den Fachkreis, für den diese Ausführungen bestimmt sind, soll hier nur auf den jahreszeitlichen Verlauf der vertikalen Temperaturverteilung in Seen etwas eingegangen werden, aber nicht auf den tageszeitlichen Gang, also auf die Ausbildung eines oberflächennahen Temperaturgefälles während des Tages und dessen Aufhebung während der Nacht. Die großräumige Isothermie im Frühjahr und Herbst und die verschiedene Temperaturschichtung im Sommer und Winter ist jedoch gerade für den Abwasserfachmann von Wichtigkeit, da viele biologische Erscheinungen von großer Tragweite eng damit verknüpft sind.

Der Grund für die thermische Schichtung des Wassers in stehenden Gewässern ist die hauptsächlich von der Oberfläche ausgehende Wärmeströmung. Im Sommer wird dem Seewasser infolge Absorption der einfallenden Strahlung durch die obersten Schichten von oben her ständig Wärme zugeführt, wodurch ein nach der Tiefe gerichteter Temperaturabfall erzeugt wird. Da hierbei spezifisch leichteres Wasser über schwereres zu liegen kommt, herrscht eine stabile, direkte Temperaturschichtung, die nur mit größerem Energieaufwand, wie z. B. durch starke Winde oder durch außerordentlichen Hochwasserzufluß zerstört werden kann. Die Temperatur nimmt unter normalen Verhältnissen bis zu einer gewissen Tiefe rasch ab, um von da an weit langsamer zu fallen. In dieser Tiefe erfolgt die stärkste, fast sprunghafte Änderung der Wassertemperatur, weshalb von einer „Sprungschicht“ gesprochen wird. Diese unterliegt örtlich wie zeitlich ganz außerordentlichen Schwankungen; so kann sie wenige Meter, zuweilen nur wenige Dezimeter dick sein, sie kann endlich mehr gegen die Oberfläche zu oder mehr gegen den Grund zu liegen oder sie kann in Unterabteilungen zerfallen, die durch Schichten geringeren Temperaturgefälles voneinander getrennt sind wie beispielsweise im Hallstätter See.

Mit dem Fortschreiten des Jahres wird die Wärmeabgabe an die Seeoberfläche geringer und die Sprungschicht sinkt immer tiefer, bis sie endlich den Boden erreicht und gänzlich verschwindet. Es tritt dann, wenn auch genau genommen nicht lange, der Fall vollständiger Isothermie ein, wobei die Temperatur des ganzen Wasserkörpers nur wenige Zehntel Grad über oder unter  $4^{\circ}$  liegt. Kühlt nun mit Einbruch des Winters durch noch stärkere Abnahme der Lufttemperatur das Wasser der obersten Schichten noch weiter ab, so bleibt das wärmere Wasser, weil es jetzt schwerer ist als das kühlere, unten und es tritt eine inverse oder indirekte Schichtung auf. Aber selbst im Winter fehlt die Sprungschicht keineswegs, wenn sie auch absolut genommen nur wenig über  $1$  bis  $2^{\circ}$  hinausgeht. Nach einer Übergangszeit im Frühjahr mit annähernd gleicher Temperatur im ganzen See tritt mit kräftiger werdender Sonnenstrahlung dann wieder langsam die direkte Schichtung ein, womit der jährliche Temperaturkreislauf abgeschlossen ist.

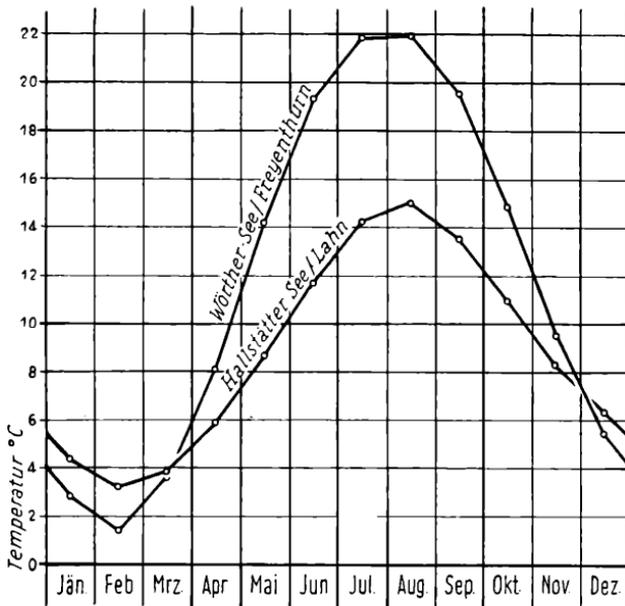


Abb. 5. Mittlerer Jahresgang der Oberflächentemperatur des Würther Sees und Hallstätter Sees

Es ist wohl einleuchtend, daß der Wärmezustand eines Sees, also seine Temperaturverhältnisse von mehreren Faktoren, von der geographischen Lage, der Umgebung, der Gestalt, dem Wasserhaushalt usw. abhängen. Die Variationsmöglichkeit der Faktoren erzeugt ein so ungemein buntes Bild, daß sich kaum zwei Binnenseen thermisch gleichen, wenn auch eine schematische Einteilung nach bestimmten Typen möglich ist. Aus diesem Grund kann auch nicht auf alle Eigenheiten unserer Gewässer im einzelnen eingegangen werden oder auf die mannigfaltigen zeitlichen und örtlichen Ausnahmemöglichkeiten von dem skizzierten Normalfall der Temperaturverteilungen und auf deren Ursachen.

Zur Illustration der beschriebenen charakteristischen Gesetzmäßigkeiten ist in Abbildung 5 der jährliche Gang der Oberflächentemperatur eines

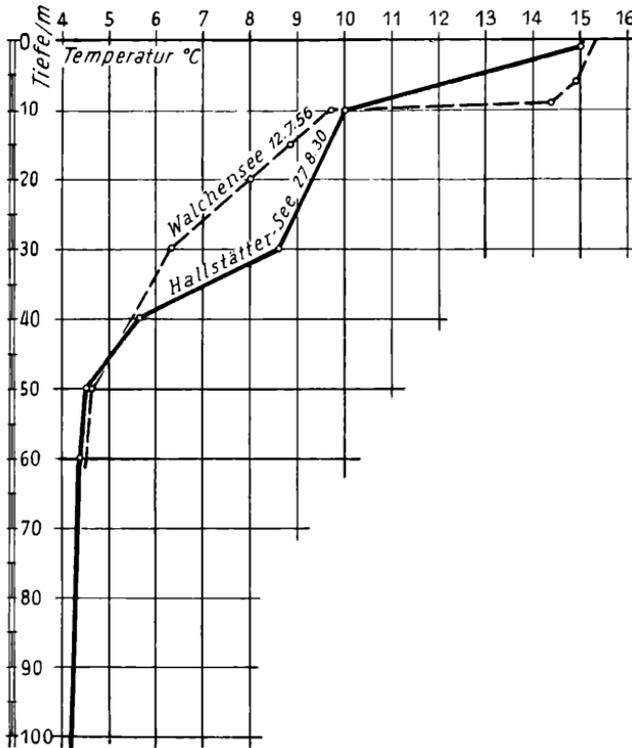


Abb. 6. Vertikale, sommerliche Temperaturverteilung im Hallstätter See und Walchensee

der wärmsten und eines der kältesten Seen, nämlich des Wörthersees und des Hallstätter Sees dargestellt. In Abbildung 6 ist für einen Sommertag die vertikale Temperaturverteilung des letzteren mit den deutlich erkennbaren zwei Sprungschichten im Vergleich zur entsprechenden Verteilung im Walchensee aufgetragen, wodurch die grundverschiedene Thermik der beiden Seen klar zum Ausdruck kommt.

Ohne Zweifel bildet die Temperatur und deren zeitliche und örtliche Verteilung ein sehr bedeutungsvolles Umweltsmerkmal für die in den Seen lebenden Pflanzen und Tiere. Daher besteht eine enge Beziehung zwischen den thermischen Gesetzmäßigkeiten und dem biologischen Geschehen eines Sees, d. h. seine Reaktion auf bestimmte Verunreinigungen oder Abwasserbelastungen wird durch die Wassertemperatur beeinflusst. Leider liegen darüber noch zu wenig Unterlagen für eine bindende Aussage vor, doch wäre es angesichts des besorgniserregenden Zustandes mancher unserer Seen angebracht, sich endlich eingehender damit zu befassen.

### 3. Auswirkung der Wasserkraftbauten auf die Gewässertemperaturen

Die sprunghafte Entwicklung der Energiewirtschaft in den letzten Jahrzehnten war zwangsläufig mit einem bedeutenden Eingriff in den natürlichen Wasserhaushalt verbunden. Es erhebt sich daher von verschiedenen Gesichtspunkten aus auch die Frage nach den Auswirkungen der Wasserkraftanlagen auf die Gewässertemperaturen. Der Einfluß von Laufkraftwerken mit geringen Speichermöglichkeiten kann dabei als unwesentlich bezeichnet werden, denn hier wird nach den bisherigen Erfahrungen lediglich im unmittelbaren Oberwasserbereich eine gewisse Änderung des natürlichen Temperaturbildes erfolgen. Jedoch bei Wasserkraftbauten mit künstlichen Stauseen und größeren Ausgleichsbecken in einem Flußlauf ist die Frage nicht leicht zu beantworten. Vor allem wirkt sich der betrübliche Umstand erschwerend aus, daß bisher fast nirgends entsprechend lange vor dem Bau der Sperren mit systematischen und umfangreichen Temperaturmessungen begonnen wurde, um die Auswirkung der Speicher, wenn auch nur an einzelnen Gewässerstellen, genau angeben zu können. Immerhin erlauben die bisherigen Untersuchungen einige grundsätzliche Aussagen und eine bestimmte größenordnungsmäßige Abschätzung der zu erwartenden Temperaturänderungen.

Von größtem Wert sind in dieser Hinsicht die Messungen der Bayerischen Wasserkraftwerke A. G. am mittleren Lech. Hier werden auf einer Flußlänge von 124 km seit einigen Jahren an sieben Meßstellen täglich die Wassertemperaturen erhoben, und zwar hauptsächlich, um im Hinblick

auf die Vereisung Aufschluß über das Ausmaß der in den Speichern erwarteten Erwärmung und deren Auswirkung im Unterlauf zu erhalten. Wenn auch den bisherigen Messungen wegen ihrer kurzen Dauer und mangels entsprechender Erhebungen aus früherer Zeit mehr relative Bedeutung zukommt, so geben sie doch wertvolle Anhaltspunkte. Beispielsweise wurde die eingangs erwähnte Erfahrung erneut bestätigt, daß sich kleine Stauhaltungen auf den Temperaturhaushalt nicht auswirken, wohl aber große Staubecken. So ist zwischen Oberwasser und Unterwasser des großen Lechspeichers Roßhaupten (mit einer Länge von 10 km und einer Wasserfläche von 15,5 km<sup>2</sup> bei Höchststau) zeitweise ein großer Temperaturunterschied festzustellen, der im August und September bis zu 7<sup>0</sup> C beträgt. Selbstverständlich bezieht sich dieser Unterschied nicht auf alle Stellen des Oberwassers, denn das Speicherbecken selbst hat keineswegs homogene Temperaturverhältnisse, jedoch auch keine Schichtung wie in den natürlichen Seen. Die vertikale Temperaturverteilung im Speicher ist vielmehr sowohl zeitlich wie örtlich sehr verschieden und besonders stark von seiner Tiefe und Form sowie vom Wetter abhängig. Im Durchschnitt kann durch die Zwischenschaltung des Großspeichers Roßhaupten eine kräftige Temperaturzunahme, und zwar im Mittel von 3 bis 4<sup>0</sup> während der Sommermonate Juni bis September festgestellt werden, während der Einfluß im Winter kaum mehr spürbar ist. Immerhin genügt selbst die sehr geringe Erwärmung in den Frostmonaten zur Verminderung der Vereisungsgefahr. Unterhalb des Speichers nehmen die Wassertemperaturen auffallend rasch ab und bereits nach wenigen Kilometern ist wieder das natürliche, von der Luft und der Witterung stark abhängige Temperaturbild eines gewöhnlichen fließenden Gewässers erreicht. Erst durch die weiter flußabwärts liegende Kraftwerkskette tritt eine neuerliche, allerdings nur langsame Erhöhung der Wassertemperaturen ein. Je nach Form und Lage des Stausees und der Entnahmetiefe kann auch eine Erniedrigung der Wassertemperatur unterhalb der Sperre eintreten, wie beispielsweise am Kamp, wo unterhalb des letzten Kraftwerkes Thurnberg-Wegscheid im Hochsommer eine zeitweise Abkühlung um ca. 1—2<sup>0</sup> zu verzeichnen ist.

Die bisherigen Beobachtungen zeigen eindeutig, daß durch größere Stauhaltungen eine wesentliche Dämpfung der im natürlichen Flußlauf auftretenden Temperaturschwankungen erfolgt. Bei ausgedehnten Stauseen stellt sich ein eigener Wärmehaushalt ein, der von der Lage und Form des Beckens und von der Bewirtschaftung wesentlich bestimmt wird. Der Einfluß der Speicher nimmt jedoch flußabwärts verhältnismäßig rasch ab, eine Erscheinung, die sich übereinstimmend an mehreren Flüssen zeigte.

Nach dem heutigen Stand der Kenntnisse und Erfahrungen ist es kaum möglich, die Thermik eines geplanten Speichers näher vorzubestimmen,

selbst wenn man die Betriebsdaten kennt. Es greifen hier eine Reihe von Faktoren ineinander, die in ihrer kaum abschätzbaren Gesamtwirkung schließlich den eigenen Wärmehaushalt ergeben, den jedes stehende natürliche oder künstliche Gewässer besitzt. Die Änderungen der ursprünglichen Temperaturverhältnisse eines Flusses durch Wasserkraftanlagen dürften auf sein Selbstreinigungsvermögen jedoch von verschwindendem Einfluß sein gegenüber den schwerwiegenden Folgen, die aus der totalen Umänderung des gesamten pflanzlichen und tierischen Lebensraumes zu erwarten sind. Inwieweit der Wassertemperatur dabei die Rolle eines Indikators zukommt, wird vielleicht die Zukunft ergeben; eine Voraussage darüber ist heute noch unmöglich.

#### Literaturhinweis

- <sup>1</sup> Archiv der Hydrographischen Landesabteilung Niederösterreich.
- <sup>2</sup> O. Eckel, Temperatur der Gewässer, unveröffentlichtes Manuskript.
- <sup>3</sup> A. E. Forster, Die Temperatur fließender Gewässer Mitteleuropas, Wien 1894.
- <sup>4</sup> J. Frohnholzer, Wassertemperaturen 1953 und 1954 am mittleren Lech, Die Wasserwirtschaft, 45. Jg., H. 9.
- <sup>5</sup> W. Halbfuß, Grundzüge einer vergleichenden Seenkunde, Berlin 1923.
- <sup>6</sup> Jahrbücher des Hydrographischen Zentralbüros im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.
- <sup>7</sup> H. Liebmann, Die biologische Selbstreinigung in fließenden Gewässern, Westfäl. Ärzteblatt, 5. Jg., Nr. 11. — Über das Wesen der natürlichen Selbstreinigung, Mikrokosmos, 42. Jg., H. 11.
- <sup>8</sup> F. Morton, Thermik und Sauerstoffverteilung im Hallstätter See, Archiv für Hydrobiologie 1931—1934.
- <sup>9</sup> O. Schindler, Limnologische Untersuchungen im Walchensee in den Jahren 1950—1956, Archiv für Fischereiwissenschaft, 7. Jg., H. 2.
- <sup>10</sup> K. Viehl, Der Einfluß der Temperatur auf die Selbstreinigung des Wassers unter besonderer Berücksichtigung der bakteriologischen Verhältnisse, Zeitschrift f. Hygiene u. Infektionskrankheiten, 122. Bd., H. 1.

#### DISKUSSION

Lanser:

Bei sämtlichen Hochgebirgsspeichern wird das Betriebswasser in einer erheblichen Tiefe unter dem Stauspiegel entnommen, weil eben von der Tiefe der Entnahmeanlage die Mächtigkeit des nutzbaren Speicherraumes abhängt. Hingegen liegt bei Flußstauen die Entnahmetiefe nur wenige Meter unter dem Spiegel und außerdem erfolgt ja bei Flußstauen immer dann, wenn der Zufluß die Ausbaufäche der Anlage übersteigt, auch eine Abgabe des Wassers über das Wehr, so daß auch Oberflächenwasser rinnt. Das ist ein Umstand, der den Wärmehaushalt der Flußstauseen ganz unübersichtlich werden läßt. Es wird sich also bei Gebirgssstauseen, die freilich für die Abwasserfragen weniger wichtig sind, eher eine Aussage machen lassen als bei Flußstauseen, bei denen sich

diese beiden genannten Umstände, nämlich geringe Tiefe der Entnahme und die Möglichkeit eines Abzuges des Oberflächenwassers in ihrer Auswirkung in ganz unübersichtlicher Weise vermischen.

#### Kresser

Es spielt hier natürlich eine Reihe von Faktoren eine Rolle, doch können wir meist nur die Gesamtwirkung der einzelnen Faktoren feststellen. Zweifellos aber lassen sich bestimmte dominierende Einflüsse erkennen; so weist beispielsweise ein Fluß in seinem Unterlauf in der Regel eine stärkere Besonnung auf, was mit einer Temperaturzunahme verbunden ist. Ueberdies ist dort auch die Umgebung viel wärmer als im Gebirge und dieser Einfluß dürfte wohl stärker sein als der energetische. Hinsichtlich der Stauseen habe ich bereits darauf hingewiesen, daß selbstverständlich nur eine überschlägige Prognose über deren Thermik möglich ist und sogar diese nur dann, wenn man über die Bewirtschaftung und die Betriebsdaten genau Auskunft weiß.

#### Rudolf

Ich möchte darauf hinweisen, daß natürlich krasse Unterschiede bestehen zwischen Walchensee und Hallstättersee, die wahrscheinlich auch mit der Wasserkraftnutzung des Walchensees zusammenhängen. Es sind am Achensee genau dieselben Verhältnisse, d. h. die Sprungschicht liegt ungefähr bei 10 m und dort findet auch die Entnahme des Wassers statt.

#### Liepolt

Die Thermik hängt sehr von der Lage des betreffenden Sees ab. Starker Temperaturabfall von mehreren Graden in 1 m — man spricht dann in der Limnologie von Sprungschichten, wenn das Wasser bei 1 m Tiefenabfall um 1° oder mehr abnimmt — tritt meistens dort auf, wo Seen im Gebirge eingebettet liegen und zur Zeit der Homothermie kein genügender Windangriff erfolgt, so daß die Strahlung die Oberflächenschichten sehr schnell erwärmen kann. So können scharf ausgeprägte Epilimnien entstehen.

Um noch einmal den Faktor Temperatur in seiner Bedeutung hervorzuheben, könnte man auch manchenorts von einer Temperaturbewirtschaftung sprechen. Wir Limnologen haben es leider nicht in der Hand, zu bestimmen, ob das warme oder das kalte gestaute Wasser zum Abfluß kommen soll, je nach dem vom biologischen Standpunkt aus gewünschten Temperaturregime. Es erweist sich immer wieder, daß besonders in abwasserbelasteten Flüssen temperaturbedingte Kalamitäten auftreten. Man könnte durch Ablassen kalten Wassers solche Kalamitäten verhindern. Man könnte aber auch bei stehenden Gewässern, wie z. B. beim Zellersee, daran denken, das kalte Tiefenwasser zum Abfluß zu bringen. Beim Zellersee besteht nur die eine Schwierigkeit, daß sich seine tiefste Zone verhältnismäßig weit entfernt vom Ablauf befindet. Es bedürfte einer Ableitung von etwa 1½ km; dadurch würden auch die Kosten für eine solche Anlage verhältnismäßig hoch sein. Weiters beträgt das Gefälle zur Salzach nur wenige Meter. Es dürfte aber ohne weiteres möglich sein, in ähnlich gelagerten Fällen durch geringfügige Anstauung des Seebeckens die erforderliche Energie zum Abfließen des Sees von unten her durch eine Heberleitung zu gewinnen. Das hätte den Vorteil, daß das wärmere Badewasser im See verbliebe und das kalte, manchmal sauerstofflose schwefelwasserstoffhaltige Tiefenwasser zum Abfluß käme.

# 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: 1957

Band/Volume: [1957](#)

Autor(en)/Author(s): Kresser Werner

Artikel/Article: [Temperaturverhältnisse in Gewässern im Hinblick auf deren Selbstreinigung 52-69](#)