

# DIE TALSPERREN ÖSTERREICHS

SCHRIFTENREIHE/HERAUSGEGEBEN VON DER  
ÖSTERREICHISCHEN STAUBECKENKOMMISSION  
UND DEM ÖSTERREICHISCHEN WASSERWIRT-  
SCHAFTSVERBAND WIEN · SCHRIFTLITUNG:  
PROF. DR. HERMANN GRENGG

## HEFT 4

*Dozent Dr. K. Stundl  
Hydrochemische Untersuchungen  
an Stauseen*

WIEN 1955 · IM SELBSTVERLAG DES  
ÖSTERREICHISCHEN WASSERWIRTSCHAFTSVERBANDES

# DIE TALSPERREN ÖSTERREICHS

*Dozent Dr. K. Stundl  
Hydrochemische Untersuchungen  
an Stauseen*

WIEN 1955 · IM SELBSTVERLAG DES  
ÖSTERREICHISCHEN WASSERWIRTSCHAFTSVERBANDES

(AUS DEM INSTITUT FÜR BIOCHEMISCHE TECHNOLOGIE UND LE-  
BENSMITTELCHEMIE DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE GRAZ)

## HYDROCHEMISCHE UNTERSUCHUNGEN AN STAUSEEN

Von Dozent Dr. K. Stundl

Die ersten im westfälischen Sauerland errichteten Talsperren, welche die Trinkwasserversorgung des nordrheinischen Industriegebietes und die gleichbleibende Wasserführung der Flüsse sichern sollten, wurden von Anbeginn eingehend erforscht, da die Stauräume als neuentstandene Seen die Möglichkeit zu bieten schienen, den Ablauf der Neubesiedlung eines stehenden Gewässers kennenzulernen (THIENEMANN).

Wie ein neues und zunächst noch organismenarmes Gewässer von pflanzlichen und tierischen Bewohnern besiedelt wird und sich dann langsam die Lebensgemeinschaft des Planktons bildet, die aus den natürlichen Seen bereits bekannt und dort eingehend erforscht war, sollte hier untersucht werden. Die zunächst mit dem Zuflusswasser eingeschwemmten Kleinlebewesen bilden nämlich durchaus nicht die endgültige Organismenbesiedlung des Gewässers, sondern es treten in den Stauseen, durch Wind oder Wasservogel eingeschleppt, bald verschiedene typische Vertreter des Seenplanktons auf, welche das Gewässer zu erfüllen beginnen. So ist die schliessliche Artenzusammensetzung in einem Stausee meist wesentlich verschieden von der anfänglichen. Dies war auch bei der Besiedlung eines kleinen Sees beobachtet worden, der aus einem Braunkohlentagbau durch Auffüllung mit Grundwasser entstand (STUNDL, 1937).

Sehr auffällige Unterschiede der Lebensgemeinschaften (Biocoenosen) und der Besiedlungsdichte zeigen Staue, deren Inhalt im Verhältnis zur Zulaufmenge sehr gross ist und in welchen demgemäss das einfließende Wasser eine längere Aufenthaltszeit hat, gegenüber den rascher durchflossenen Flusstauen. Sehr wesentlich wird die Besiedlung durch die Stauspiegelschwankungen beeinflusst. Deshalb wollte THIENEMANN die

Stauseen als besonderen Typ stehender Gewässer abgegrenzt und betrachtet wissen. Die Besonderheit der Stau ist vor allem bedingt durch die von der wechselnden Stauhöhe hervorgerufenen Spiegelschwankungen. Diese bewirken das zeitweise oft recht lange Trockenliegen der Uferbänke und durch die Einwirkung der Witterungseinflüsse erfolgen hier die Umsetzungen der Mineralstoffe wesentlich anders als im Bodengrund der dauernd vom Wasser überdeckten Uferbereiche eines natürlichen Sees. Dadurch entstehen auch für die Wasserbewohner wesentlich veränderte Nahrungs- und Lebensbedingungen. Ganz besonders gilt dies von Speicherstauseen, deren Inhalt im Laufe des Winters weitgehend abgearbeitet wird und die daher trotz ihrer Grösse viel mehr Ähnlichkeit mit den alljährlich abgelassenen Teichen als mit natürlichen Seen haben. So war der Speicher Pack im Untersuchungszeitraum im Jahre 1952 mehr als fünf Monate und 1953 fast drei Monate hindurch nahezu wasserlos, im Speicher Hierzmann waren die Zeiten verringerter Wasserhaltung bzw. Vollentleerung kürzer, sie betragen im Jahre 1951 nicht ganz ein Monat, 1952 und 1953 etwa je drei Monate. Der Stauraum Salza lag 1950 im Februar und von Juli bis September weitgehend trocken, 1951 war im März und April, 1952 zur gleichen Zeit und 1953 im März der Stauraum fast vollständig leer. Die jährlichen Spiegelschwankungen der Stauseen sind aus den Abbildungen ersichtlich.

Diese kurzen einleitenden Ausführungen sollen darlegen, wieso die Stauseen und zwar vor allem solche, deren Wasserstand stark wechselt, wie dies bei den Speicherstauen der Fall ist, in ihren hydrographischen und biologischen Verhältnissen besondere Eigenarten zeigen, die sich auch, wie aus den verschiedenen Beispielen und aus den Ergebnissen eigener Untersuchungen einiger solcher Stau dargelegt werden soll, sogar für manche technologische Verwendungszwecke des Wassers auswirken können.

Ausser dem mehr theoretisch interessanten Ablauf und Wechsel der Organismenbesiedlung in den Stauseen wurde vielfach auch die Möglichkeit der Ausnutzung des Planktonvorkommens für fischereiwirtschaftliche Zwecke untersucht. In manchen Stauseen, vor allem in jenen, die nicht unmittelbar der Trinkwasserversorgung dienen, bestand die Möglichkeit,

Nutzfische heranzuziehen. Dieser Fischbestand fiel in Stauseen, die nicht von reinen sondern auch mehr oder weniger verunreinigten Zuläufen gespeist wurden, besonders bei längerem Bestand des Stausees und Ausbildung sauerstoffloser Zonen, gelegentlich diesen Folgen der Gewässer- verunreinigung zum Opfer und stellte damit einen zwar nicht vorgesehe- nen, aber umso eindrucksvolleren Indikator für die verminderte Wassergüte dar. Das Verschwinden oder Sterben von Fischen in einem Stau zeigt Veränderungen des Wassercharakters an, welche auch die Verwendbarkeit des Wassers für verschiedenste Nutzungsarten einschränken können.

Aus der Vielzahl derartiger Fälle seien hier nur der Bleilochstau- see der Saale und der Pleissestau bei Rötha erwähnt. Der erstere wurde durch eingeleitete Zellulosefabriksabwässer, die sich in der Stauseetiefe unter Schwefelwasserstoffbildung zersetzten, zu einem Schwefelsee, des- sen Wasser für die meisten Verwendungszwecke unbrauchbar wurde (LIEB- MANN, SCHRAEDER). In ähnlicher Weise wurde durch Einleitung häus- licher und gewerblicher Abwässer der Pleissestau bei Rötha derart ver- unreinigt, dass es zu weitgehender Sauerstoffabnahme und Bildung stei- gender Mengen von aggressiver Kohlensäure kam, deren schädliche Wir- kung auf Betonbauten und eiserne Leitungsrohre nicht ausblieb (MEISS- NER).

Bei entsprechender Wartung und Gestaltung kann aber auch ein Stausee die wichtige Aufgabe erfüllen, verschmutztes abwasserbelaste- tes Flusswasser durch Sedimentation der Feststoffe und biologischen Abbau der Schmutzstoffe zu reinigen. Beispiele dafür sind u.a. die Stau- seen der Ruhr, Hengstey- Harkort- und Baldeneysee (SIERP), der Elster- stausee bei Leipzig (VIEHL) und die vorwiegend zur Schlammabschei- dung dienende Flusskläranlage der Emscher (WIEGMANN u. KNOP).

Auch in Stauen, deren Wasser nicht verunreinigt ist, kann es aber zur Bildung recht beträchtlicher Kohlensäuremengen in den tiefen Schich- ten kommen, was nach dem Vorhergesagten zunächst überrascht. Ver- ständlich wird dies aber bei Berücksichtigung der meist recht bedeutenden Menge organischen Materials, vorwiegend pflanzlichen Ursprungs, welches durch die Zuflüsse in den Stausee gelangt. Fallaub und ver- schiedenste andere Pflanzenreste gelangen so in den Stauraum, sinken

hier zu Boden und verfaulen, wobei u.a. freie Kohlensäure entsteht. Zu diesem von aussen her in den Stausee eingebrachten, allochtonen Material kommen die im Wasser selbst entstehenden autochtonen Anteile des Planktons. Die Kleinlebewesen sinken nach ihrem Absterben in die Tiefe ab und werden hier durch Bakterien zersetzt, wobei gleichfalls Kohlensäure und gelegentlich auch Schwefelwasserstoff gebildet wird.

Als bei einer orientierenden Untersuchung des neu errichteten Speicherstausees Salza im Herbst 1949 in den tieferen Wasserschichten eine starke Sauerstoffabnahme festgestellt wurde, gab dies den Anstoss zu einer in jahreszeitlichen Abständen über mehrere Jahre ausgedehnten Untersuchung des Stausees Salza und der beiden Teigtitschspeicher, um in diesen die Änderungen der hydrochemischen Verhältnisse im Jahreslauf zu erfassen. Diese über Auftrag der Stewag durchgeführten Arbeiten, deren Ergebnisse im folgenden geschildert werden, brachten immerhin einige, vor allem für den Techniker, bemerkenswerte Beobachtungen, welche einer eingehenderen Darstellung wert zu sein schienen.

#### Die untersuchten Speicherstauseen

Ausser den beiden neuerrichteten Speichern Salza (16) und Hierzmann (18) wurde auch der schon länger bestehende, wesentlich seichtere Speicher Pack (10) in die Untersuchung einbezogen. Die Arbeiten an den Stauseen waren nur durch Beistellung von Hilfskräften und Fahrzeugen von seiten der Stewag überhaupt möglich und es sei für die vielfache Hilfeleistung an dieser Stelle bestens gedankt.

Die hydrologischen und technischen Daten der untersuchten Speicherstausee sind ausführlich bereits im Heft I dieser Schriftenreihe zusammengestellt und es wird hier auf diese Zusammenstellung verwiesen.

Die untersuchten Stauseen liegen in geologisch sehr stark von einander verschiedenen Gebieten.

Die Speicher Pack und Hierzmann sind im Gebiet der Koralpe, einem Ausläufer der Zentralalpen gelegen. Das Einzugsgebiet der beiden Stauseen besteht im wesentlichen aus Glimmerschiefer, in dem Übergänge zu Gneisen vorhanden sind. Die Vegetation der Umgebung weist weitgehend auf den sauren Charakter des Bodens hin. Die Ufer und Hö-

henzüge, welche die beiden Stauseen umschliessen, sind vorwiegend mit Nadelwald bestanden, Mischwald befindet sich im Bereich der Hierzmannsperre.

In den Speicher Pack münden Modriach- und Packerwinkelbach, in den Hierzmannstau die Teigitsch.

Der Speicher Salza liegt im Bereich der nördlichen Kalkalpen, ebenso seine Zuflüsse, die Salza sowie der Krungl- und Klausgrabenbach. Im Einzugsgebiet dieses Stausees herrschen Kalk und Dolomit vor, Mergel und vereinzelte Gipsvorkommen treten dagegen zurück.

Die chemischen Verhältnisse der Speicherzuflüsse und die Schwankungsbreite der ausgeführten Untersuchungen gibt die folgende Zusammenstellung wieder.

TABELLE 1

Schwankungsbreiten der Wasserreaktion, des Säurebindungsvermögens, des Kalkgehaltes und der Stickstoff- und Phosphorverbindungen in den Stauseezuläufen im Laufe der Untersuchung.

	pH	SBV	CaOmg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	PO <sub>4</sub> mg/l
Packerwinkelbach	6,7- 7,7	0,48- 0,52	14-32	Spur-0,15	n.n.-0,007	n.n.
Modriachbach	6,5- 7,2	0,28- 0,60	11-37	Spur-0,29	n.n.-0,01	n.n.
Salza	7,6- 8,1	2,68- 3,44	76-104	Spur-0,12	n.n.	n.n.
Krunglbach	7,8- 7,9	3,30- 3,76	106-310	Spur-0,12	n.n.	n.n.
Klausgrabenbach	7,8- 8,0	2,24- 2,76	77-99	Spur-0,13	n.n.	n.n.

Die Unterschiede der Gesteinszusammensetzung des Einzugsgebietes der Speicher bestimmen die chemische Zusammensetzung des Wassers der Stauseezuflüsse und der Stauseen. Wie aus der Tabelle 1 ersichtlich, sind die Zuläufe des Staues Pack kalkarm und ihre Reaktion ganz schwach sauer bis alkalisch. Die Teigitsch selbst wurde nicht untersucht, da sie mit den Verhältnissen des Auslaufs des Packerstau-



TABELLE 3

## Stau Pack

Tiefe m	29.11.1950			4.10.1951			26.7.1953		
	NH <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	PO <sub>4</sub> mg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	PO <sub>4</sub> mg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	PO <sub>4</sub> mg/l
0	0,11	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,13	0,007	n.n.
10	0,10	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,13	0,006	n.n.
20	0,12*)	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,14*)	0,007	n.n.
24	-	-	-	n.n.	n.n.	n.n.	0,20	0,009	n.n.

\*) = 17 m

## Stau Hierzmann

\*) = 15 m

Tiefe	29.11.1950			28.6.1951			26.7.1953		
	NH <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	PO <sub>4</sub> mg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	PO <sub>4</sub> mg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	PO <sub>4</sub> mg/l
0	0,13	n.n.	n.n.	0,10	n.n.	n.n.	0,20	0,009	n.n.
10	0,11	n.n.	n.n.	0,14	n.n.	n.n.	0,13	0,009	n.n.
20	0,13	n.n.	n.n.	0,20	n.n.	n.n.	0,11	0,015	n.n.
30	0,11	n.n.	n.n.	0,11	n.n.	n.n.	0,08	0,014	n.n.
35	0,12	n.n.	n.n.	0,10	n.n.	n.n.	-	-	-
40	-	-	-	0,10	n.n.	n.n.	-	-	-
47	-	-	-	-	-	-	0,09	0,014	n.n.

## Stau Salza

Tiefe	17.6.1950			2.10.1951			31.7.1953		
	NH <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	PO <sub>4</sub> mg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	PO <sub>4</sub> mg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	PO <sub>4</sub> mg/l
0	0,11	n.n.	n.n.	n.n.	0,004	n.n.	0,30	n.n.	n.n.
10	0,13	n.n.	n.n.	n.n.	0,005	n.n.	0,13	n.n.	n.n.
20	0,06	n.n.	0,002	n.n.	0,009	n.n.	0,10	0,006	n.n.
30	0,13	Spur	0,004	0,21	0,007	Spur	0,10	0,007	n.n.
35	-	-	-	0,43	n.n.	0,028	0,14	0,009	0,014
40	0,13*)	Spur	0,008	0,87*)	n.n.	0,035	0,58	0,004	0,04

\*) = 38 m

\*) = 42 m

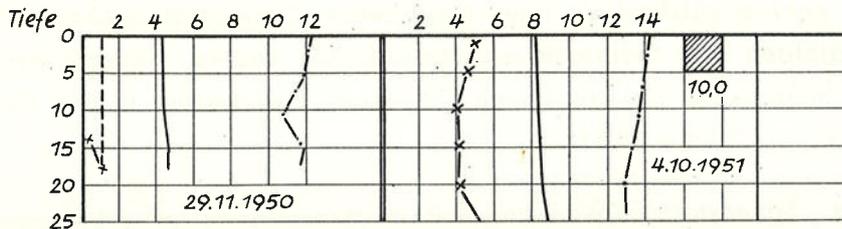
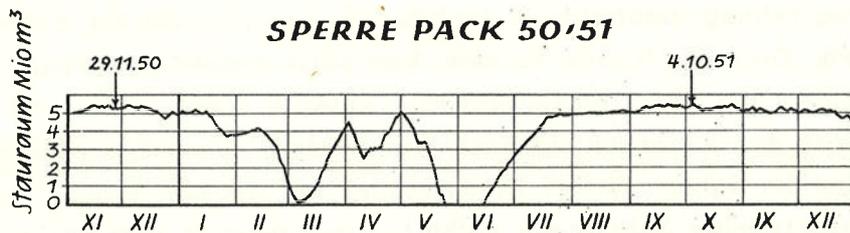
Diese durch die Verschiedenheit der geologischen Verhältnisse des Einzugsgebietes bedingten Unterschiede der chemischen Verhältnisse weisen verhältnismässig geringe jahreszeitliche Schwankungen auf. Ebenso sind die jahreszeitlichen Unterschiede des Gehaltes an Stickstoff- und Phosphorverbindungen in den beiden Teigtischsperren (Pack und Hierzmann) gering. Besonders auffällig ist die fast gleichmässige Verteilung dieser als Pflanzennährstoffe wichtigen Verbindungen in allen Wasserschichten dieser beiden Speicher. Im Salzastau hingegen ist eine deutliche Schichtung der Stickstoff- und Phosphoranteile mit einer Anhäufung in der Sperrentiefe zu beobachten.

Gleichzeitig mit der Anreicherung von Stickstoff- und Phosphorverbindungen in der Tiefenschicht steigt auch der Gehalt an freier Kohlensäure in den Tiefenschichten des Salzastaus, der Sauerstoffgehalt nimmt ab und es kommt gelegentlich am Gewässergrund als Folge von Fäulnisvorgängen zur Bildung von Schwefelwasserstoff.

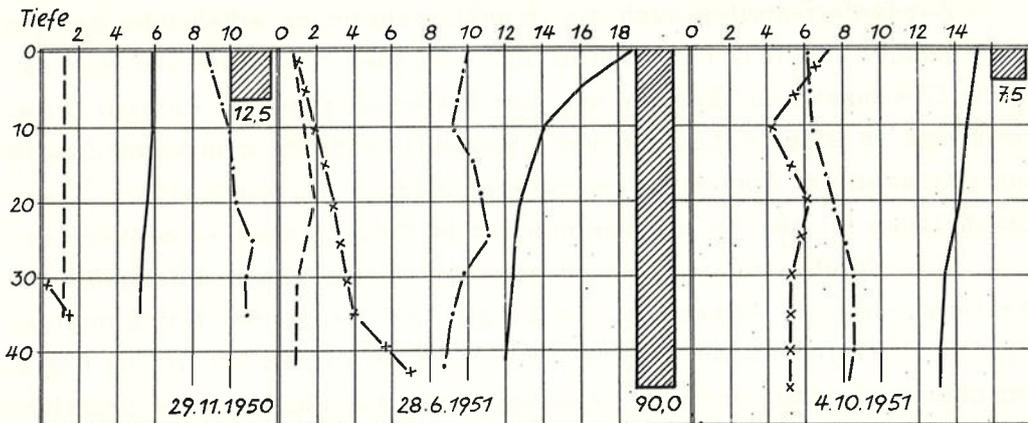
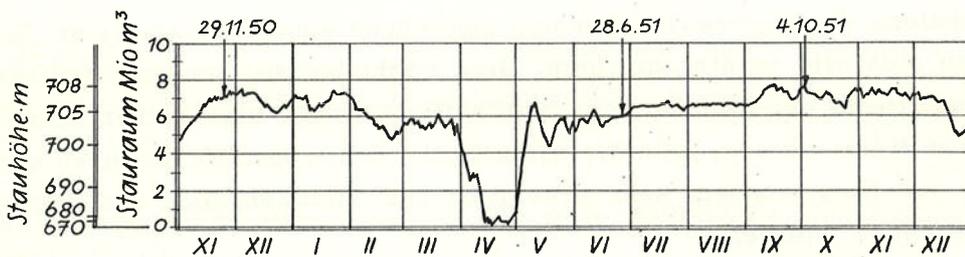
Trotz der geringen Mengen der für die Pflanzenproduktion nötigen Nährstoffe in den Oberflächenschichten, wobei das Phosphat fast immer unter der Erfassbarkeitsgrenze liegt, ist die Planktonproduktion in den Stauseen durchaus nicht gering. Auf die mutmassliche Ursache dieses zunächst überraschenden Befundes soll im Anschluss an die Darstellung der hydrochemischen Verhältnisse noch kurz eingegangen werden.

#### Gelöste Gase. Sauerstoff und Kohlensäure

Sehr auffällige Unterschiede zeigte auch der Gasgehalt der untersuchten Speicher. Von entscheidender Bedeutung für das Leben der tierischen Wasserorganismen ist der Sauerstoff. Seine Abnahme zeigt verstärkte Abbauvorgänge und bakterielle Fäulnisprozesse an. Die bei der ersten orientierenden Untersuchung am 8.9.1949 festgestellte Sauerstoffabnahme gegen die grundnahe Schicht des Salzastausees gab, wie schon erwähnt, den Anlass zur laufenden Untersuchung der Speicherstau, um die Schwankungen des Gasgehaltes und vor allem das Auftreten der freien Kohlensäure zu überprüfen. Die in der Folgezeit alljährlich festgestellte starke Sauerstoffabnahme in der Tiefe des Salzastausees schien zunächst eine Folge der Zersetzung der in der Sperre nach



### HIERZMANN-SPERRE 50/51



Planktonvolumen  
 unter 1m<sup>2</sup> Seefläche  
 --- Ammonium NH<sub>4</sub>-N  
 1 Teilstr.=0,1 mg/e

— Temperatur, 1 Teilstr.=1°  
 - - - Sauerstoff, 1 Teilstr.=1 mg/e  
 x-x- Kohlensäure, 1 Teilstr.=1 mg/e

Fig. 1

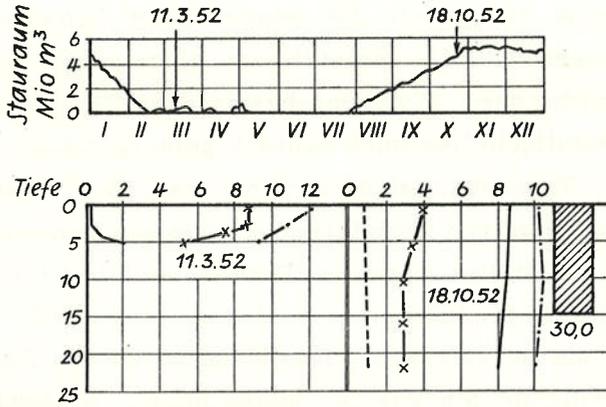
der Fertigstellung verbliebenen faulfähigen Anteile, wie Baumstümpfe, Buschwerk, Gras und Humus zu sein. Man hätte annehmen können, dass nach einiger Zeit, wenn dieses gesamte Material abgebaut sei, die Sauerstoffwerte der Tiefenschicht zunehmen würden, zumal das zufließende Wasser der Salza und des Krunglbaches nur geringe Mengen organischer zersetzlicher Substanzen enthält. Dies geschah aber nicht, sondern es konnte alljährlich eine bedeutende Sauerstoffabnahme in den Tiefenschichten des Salzastausees beobachtet werden, wobei gleichzeitig recht bedeutende Mengen freier Kohlensäure auftraten. In den Kurvenbildern 1-5 ist dies ersichtlich.

Die Sauerstoffabnahme und Kohlensäurebildung ist wohl darauf zurückzuführen, dass, wie schon erwähnt, die Zuläufe der Stauseen zwar nur geringe Mengen von Schwebestoffen enthalten, aber diese durch die Turbulenz des fließenden Wassers schwebend erhaltenen kleinsten Teilchen sich alle im Stau ablagern. Dies macht bei der grossen jährlichen Wasserfracht der Speicher eine beträchtliche Menge organischen zersetzlichen Materials aus, denn die mitgeführten Schwebestoffe bestehen nicht nur aus Sand, sondern sehr wesentlich aus Pflanzenresten und anderen faulfähigen Anteilen.

Ausserdem stellen noch die Planktonlebewesen erhebliche Mengen abbaufähiger Substanz bei, da alle abgestorbenen Kleintiere und Pflanzen in die Gewässertiefe absinken und dort bakteriell abgebaut werden. Dabei kommt es zu einer Anhäufung von Stickstoff- und Phosphorverbindungen bei gleichzeitiger Sauerstoffabnahme und Bildung von Kohlensäure. Diese Erscheinung ist aber im allgemeinen nur im Salzastausee zu beobachten.

Die gleichzeitig mit der chemischen Untersuchung durchgeführten Bestimmungen der Artenzusammensetzung und Menge des Netzplanktons ergaben Rohvolumina von über  $50 \text{ cm}^3$  im Salza- und bis  $90 \text{ cm}^3$  im Hierzmannstausee unter einem  $\text{m}^2$  Wasserfläche. Auf das gesamte Speichervolumen umgerechnet ergibt dies eine beträchtliche Menge abbaufähiger Planktonmasse, die im Laufe des Jahres in jedem der untersuchten Stauseen entsteht. Dazu kommt noch der Anteil des vorwiegend pflanzlichen Kleinplanktons, das wegen seiner Kleinheit durch Planktonnetze nicht

### SPERRE PACK 1952



### HIERZMANN-SPERRE 1952

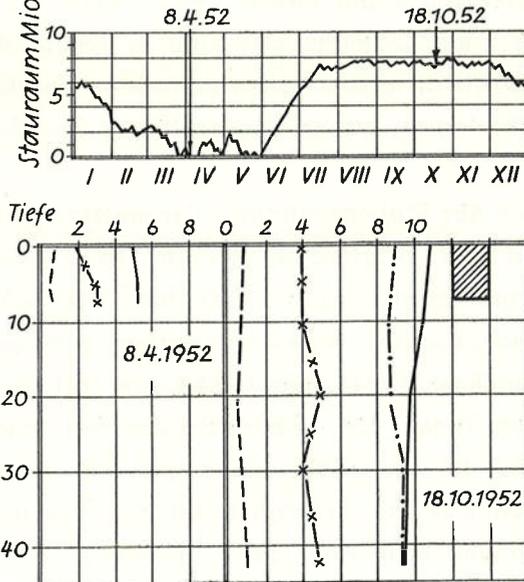


Fig. 2

abgesiebt werden kann und dadurch der Bestimmung entgeht. Dieses Kleinplankton bildet aber, wie verschiedene Untersuchungen ergaben, einen recht beträchtlichen Anteil des Gesamtplanktons. Man kann also eine wesentlich grössere Menge als die angegebenen Rohvolumina als Gesamtplankton annehmen. Die zersetzbaren organischen Anteile werden durch diese abgestorbenen Planktonlebewesen vermehrt und die Verminderung des Sauerstoffgehaltes auch dadurch hervorgerufen.

Da bei den Teigitschspeichern durch den in Grundnähe befindlichen Stauseeablauf das mit zersetzlichem Material angereicherte Tiefenwasser abfließt, entstehen weder im Packer- noch im Hierzmannstausee, obgleich die Planktonproduktion hier ebenso hoch, gelegentlich sogar noch grösser ist als im Salzastau, jemals derart starke Sauerstoffabnahmen in den Tiefenschichten wie im Salzastausee. Während bei den Untersuchungen im Sommer und Herbst im Stau Salza bereits in den Tiefenschichten zwischen 20 und 30 Meter die Sauerstoffabnahme einsetzt und in Grundnähe gelegentlich sogar unter 1 mg/l sinkt, (z.B. am 2.10.1951 in 42 m Tiefe nur 0,5 mg/l Sauerstoff) sind in den beiden anderen Stauseen die Sauerstoffwerte in allen Wasserschichten annähernd gleich hoch und zeigen, wenn überhaupt, nur in unmittelbarer Grundnähe geringfügige Abnahmen.

Die sofort nach der Probenentnahme titrimetrisch bestimmte Kohlensäure war in den beiden Teigitschspeichern (Pack und Hierzmann) fast immer in Mengen von einigen mg/l zu finden. Die Gehaltsunterschiede der einzelnen Tiefenschichten waren wesentlich geringer als in dem Salzastausee, eine Zunahme gegen den Grund hin trat bei manchen Untersuchungen auf, doch lagen die Höchstgehalte nur selten über 6 mg/l, maximal bei 7 mg/l. Im Stau Salza hingegen war freie Kohlensäure in den oberflächennahen Wasserschichten nicht oder nur in geringen Mengen zu finden, in Grundnähe hingegen trat eine starke Zunahme ein und es wurden gelegentlich Mengen bis 16 mg/l ermittelt.

#### Aggressive Kohlensäure

Im Hinblick auf diese immerhin beträchtlichen Kohlensäuremengen in der Tiefe der Salzasperre lag es nahe zu prüfen, ob die vorhandene

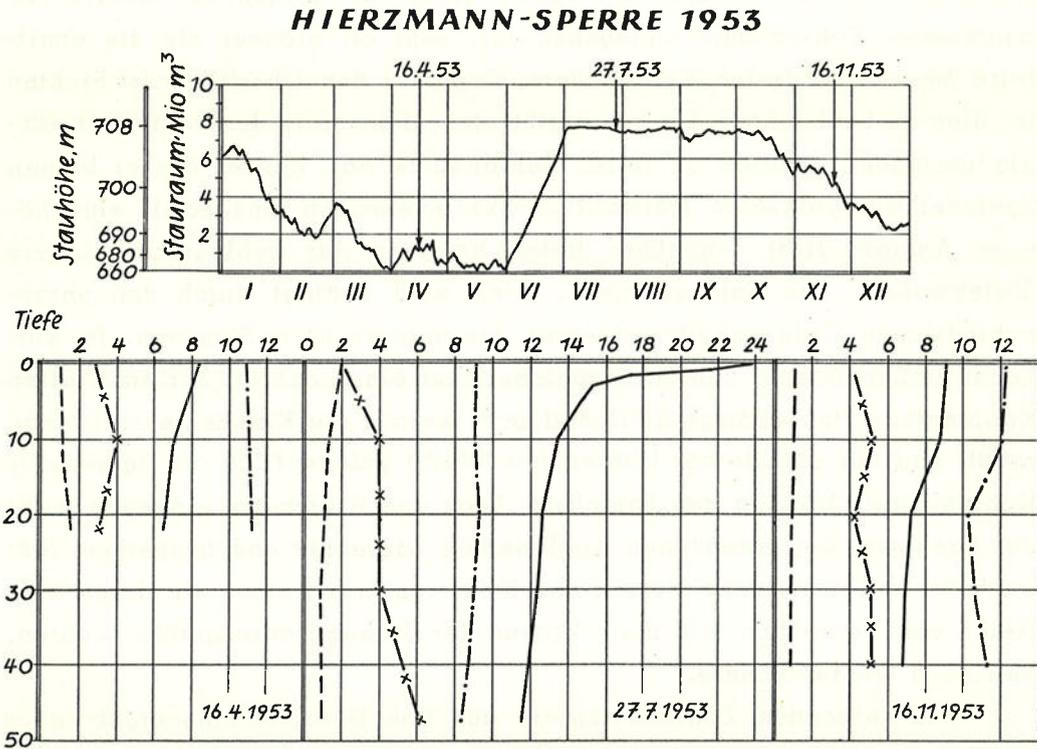
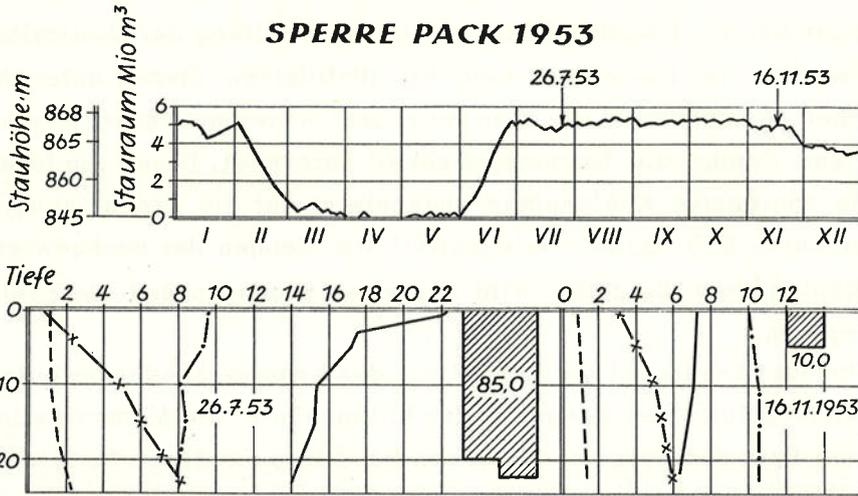


Fig. 3

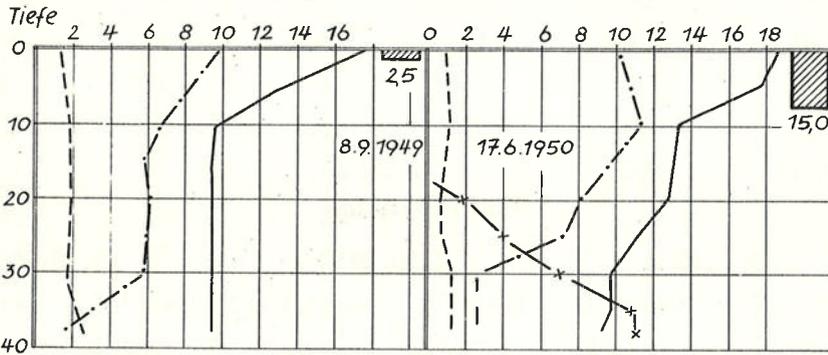
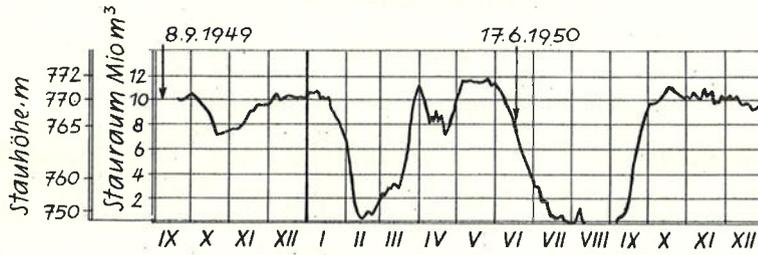
freie Kohlensäure betonlösende Eigenschaften aufweise. Es wurden deshalb sofort bei der Entnahme Proben zur Feststellung der Marmorlöslichkeit angesetzt, im Labor nach vier- bis fünftägigem Stehen unter täglich mehrfachem Umschütteln die Zunahme des Säurebindungsvermögens bestimmt und daraus die Marmorlöslichkeit berechnet. Diese wurde, wie üblich, als aggressive Kohlensäure angegeben. Auf die Erscheinung, dass die aggressive Kohlensäure gelegentlich die Mengen der nachgewiesenen freien Kohlensäure übertrifft, wird später eingegangen und die Erklärung dafür gegeben.

Nun ist aber im Salzastausee trotz der manchmal recht bedeutenden, in der Tiefe gefundenen Mengen freier Kohlensäure, die Marmorlöslichkeit nur gering bzw. überhaupt nicht vorhanden. Die gefundenen Werte entsprechen im Höchstfall einigen Milligramm aggressiver Kohlensäure.

Völlig anders verhält sich das Wasser der Speicher Pack und Hierzmann. Hier ist die Marmorlöslichkeit, die in der folgenden Tabelle als aggressive Kohlensäure angegeben ist, sehr oft grösser als die ermittelte Menge der freien Kohlensäure. Sogar in den Oberflächenschichten ist dies zu beobachten. Daraus ergibt sich, dass trotz des verhältnismässig geringen Gehaltes an freier Kohlensäure das Wasser dieser beiden Speicher ein grösseres Marmorlöslichkeitsvermögen und somit eine höhere Aggressivität gegenüber Beton hat, als das kohlenstoffreichere Tiefenwasser des Salzastausees. Dies wird bedingt durch den unterschiedlichen Calciumkarbonatgehalt der untersuchten Stauseen. Im karbonatreichen Wasser des Salzspeichers ist ein Grossteil der ermittelten Kohlensäure "zugehörige Kohlensäure", welche die Karbonate in Lösung erhält und nur ein kleiner Überschuss bleibt gelegentlich als aggressive Kohlensäure übrig. In den Speichern Pack und Hierzmann hingegen wirkt der Grossteil der gefundenen Kohlensäure aggressiv und ausserdem löst auch das elektrolytarmer Wasser den Kalk aus dem Beton, wie durch eine Reihe von Versuchen, die über Auftrag der Steweag durchgeführt wurden, bewiesen werden konnte.

Die folgenden Zahlenbeispiele aus den Untersuchungsergebnissen in Tabelle 4 zeigen die Unterschiede des Gehaltes an freier und aggressiver Kohlensäure in den untersuchten Stauseen.

### SALZA-SPERRE 1949/50



### SALZA-SPERRE 1951

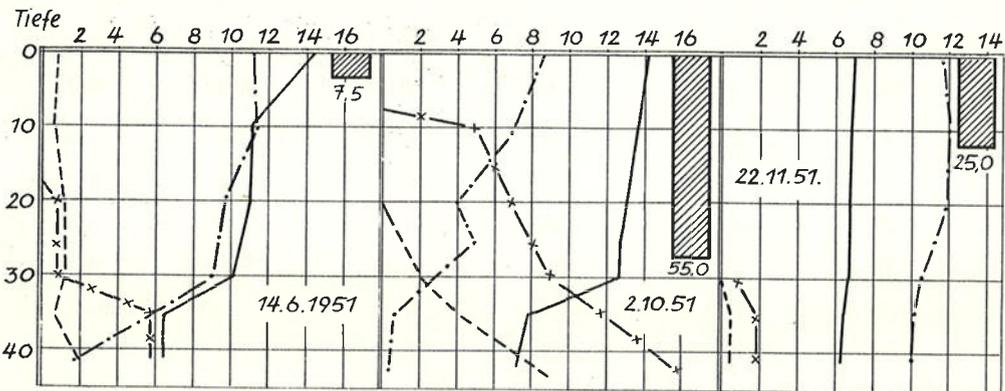
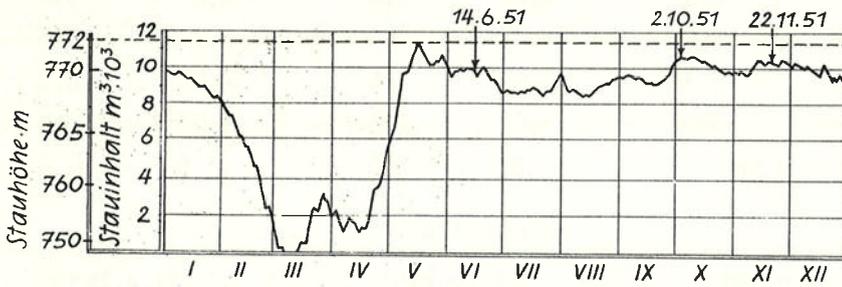


Fig. 4

TABELLE 4

Stau Pack

Freie und aggressive Kohlensäure

4.10.1951			18.10.1952		16.4.1953	
Tiefe	freie CO <sub>2</sub>	aggr. CO <sub>2</sub>	freie CO <sub>2</sub>	aggr. CO <sub>2</sub>	freie CO <sub>2</sub>	aggr. CO <sub>2</sub>
m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
0	5,0	2,6	4,0	6,2	3,0	5,7
10	4,0	3,5	3,0	6,2	4,0	4,8
20	4,0	3,5	3,0*)	3,1	3,0	6,2
24	5,0	2,6	*) = 22 m			

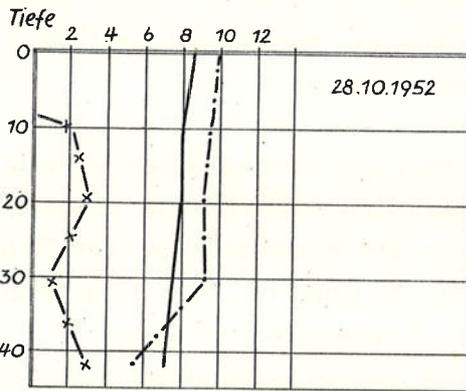
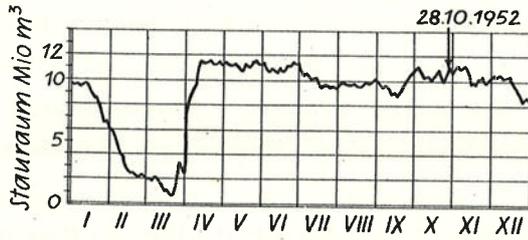
Stau Hierzmann

28.6.1951			4.10.1951		18.10.1952	
Tiefe	freie CO <sub>2</sub>	aggr. CO <sub>2</sub>	freie CO <sub>2</sub>	aggr. CO <sub>2</sub>	freie CO <sub>2</sub>	aggr. CO <sub>2</sub>
m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
0	1,0	4,4	7,0	5,3	4,0	5,0
10	2,0	4,4	4,0	5,3	4,0	3,0
20	3,0	5,3	6,0	5,3	5,0	3,5
30	3,6	5,3	5,0	2,6	4,0	6,2
40	7,0*)	7,9	5,0	2,6	5,0*)	6,6
45	*) = 42 m		5,0	5,3	*) = 43 m	

Stau Salza

14.6.1951			2.10.1951		21.4.1953	
Tiefe	freie CO <sub>2</sub>	aggr. CO <sub>2</sub>	freie CO <sub>2</sub>	aggr. CO <sub>2</sub>	freie CO <sub>2</sub>	aggr. CO <sub>2</sub>
m	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
0	1,0	1,7	n.n.	n.n.	2,0	n.n.
10	-	-	5,0	n.n.	2,0	n.n.
20	1,0	1,7	7,0	n.n.	3,0	n.n.
30	1,0	1,7	9,0	n.n.	9,0*)	n.n.
35	6,0	2,6	12,0	n.n.	*) = 33 m	
40	6,0	2,6	16,0*) =	n.n.		
			*) = 42 m			

# SALZA-SPERRE 1952



# SALZA-SPERRE 1953

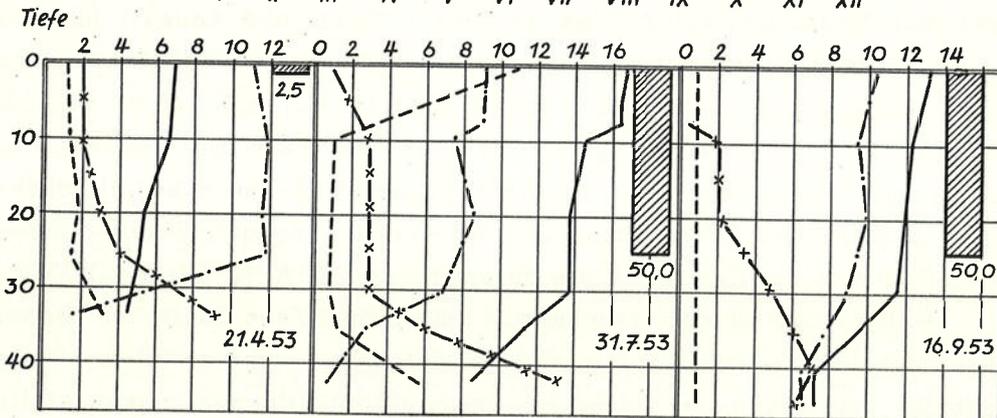
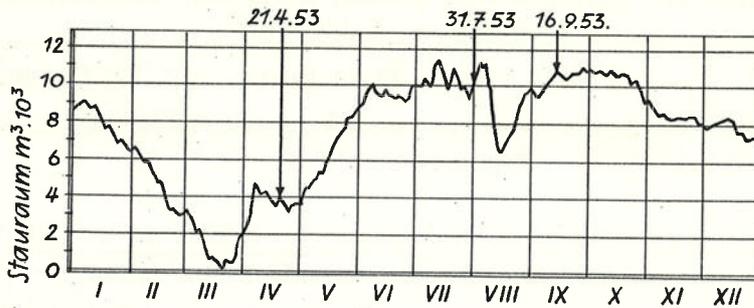


Fig. 5

Da sich nach Tillmanns bei höherem Sauerstoffgehalt die Wirkung der aggressiven Kohlensäure verstärkt, könnte an der stärkeren Marmorlöslichkeit des Wassers der Teigitschspeicher vor allem in den Tiefenschichten auch die schon erwähnte gleichmässige Sauerstoffverteilung mit verhältnismässig hohen Werten in der Gewässertiefe Anteil haben.

Auch aus dem Verhältnis der ermittelten Karbonathärte zur festgestellten freien Kohlensäure ergibt sich deutlich die Aggressivität des Wassers dieser beiden Stauseen.

Es muss dabei noch erwähnt werden, dass auch die Zulaufe des Packer Staues eine merkbare Marmorlöslichkeit zeigten, wie aus der folgenden Tabelle 5 ersichtlich ist. Es war schon eingangs darauf hingewiesen worden, dass die Wasserreaktion der Zulaufbäche des Packer Stausees zeitweise leicht sauer ist. Dies mag neben der Kalkarmut auch die Aggressivität des Bachwassers bewirken.

TABELLE 5

Aggressivität der Zuflüsse des Packer Stausees, ausgedrückt in mg/l aggressiver Kohlensäure.

	4.10.1951	28.11.1951	11.3.1952	16.4.1953
Modriachbach	5,3	1,8	12,3	4,4
Packerwinkelbach	3,5	1,8	4,8	6,2

Die in den beiden Teigitschstauseen beobachteten Schichtungsverhältnisse unterschieden sich übrigens merklich von denen eines Stausees ähnlichen Wassercharakters, dem im Granit, Gneis und Andesit des Südrandes der Böhmisches Masse gelegenen Frainer Stausee. Auch dieser weist gelegentlich leicht saure Wasserreaktion (pH 6,7 - 6,9) auf, das Säurebindungsvermögen beträgt 0,7 - 1,4, und doch war hier besonders im Sommer und Frühherbst eine deutliche Sauerstoffabnahme bei gleichzeitigem Anstieg der Kohlensäure und gelegentlich sogar Schwefelwasserstoffbildung in der Gewässertiefe zu beobachten (HAEMPEL u. STUNDL).

Beim Vergleich der Speicher mit natürlichen Seen ähnlicher Wasserzusammensetzung ergeben sich für den Salzaustau recht auffällige Unterschiede, wie der in der folgenden Übersichtstabelle zusammengestellte

Überblick über die Sauerstoffschichtung des Leopoldsteinersees zeigt.

Dieser ebenfalls im Kalkalpenbereich gelegene, von einem besonders zur Zeit der Schneeschmelze reichlich wasserführenden Bach durchflossene See, dessen Wasserzusammensetzung in Bezug auf Reaktion, Kalk und Karbonatgehalt jener des Salzaspeichers recht ähnlich ist, zeigt wohl auch im Laufe des Sommers Sauerstoffabnahmen in den grundnahen Bereichen, nie aber in einem solchen Ausmass, wie sie im Salzastausee alljährlich zu beobachten war. Es mag nun sein, und das wäre auch die naheliegendste Erklärung für dieses verschiedene Verhalten, dass durch das grössere Einzugsgebiet des Salzastaus und die grosse Jahreswasserfracht in diesen eine weit grössere Menge abbaufähiger Sedimente gelangt als in den Leopoldsteinersee und es deshalb in diesem nicht zu den starken, im Salzastausee gefundenen Sauerstoffabnahmen mit gleichzeitiger Kohlensäurebildung kommt.

TABELLE 6  
Sauerstoffschichtung im Leopoldsteinersee  
Sauerstoff in mg/l

Tiefe	24.5.1949	18.7.1949	28.10.1949
0	10,5	10,6	11,8
5	10,6	10,8	12,0
10	10,4	9,9	11,1
15	10,4	9,6	9,8
20	10,1	10,1	9,1
25	9,8	-	5,4 (26 m)
30	-	7,0	-

Die Planktonproduktion, die als zweite Komponente der abbaufähigen und sauerstoffzehrenden organischen Substanz neben den Schwebstoffen in Betracht kommt, ist im Salza-Stausee und im Leopoldsteinersee nicht wesentlich verschieden. Das Plankton-Rohvolumen unter 1 m<sup>2</sup> Seefläche betrug im Leopoldsteinersee am 18.7.1949 50 cm<sup>3</sup>, am 24.5.1949 5,5 cm<sup>3</sup> (Stundl, 1953), im Salza-Stausee wurden ähnliche Mengen gefunden.

Zu sehr bedeutenden Sauerstoffabnahmen mit reichlicher Kohlensäurebildung kann es aber in Seen mit starkem Durchfluss dann kommen, wenn sie von organisch verunreinigten Zuläufen gespeist werden. Ein bekanntes Beispiel dafür bietet neben einigen Schweizer Seen auch der Untersee des Bodensees (Jaag).

Für einen Vergleich mit den Teigtitschspeichern fehlen in der Steiermark natürliche Seen mit entsprechenden Durchflussverhältnissen und ähnlichem Wassercharakter. Die Ursache der vom Verhalten des Salza-Stausees so stark abweichenden Schichtungsverhältnisse der Teigtitschspeicher ist sicherlich darin gelegen, dass durch den tiefgelagerten Speicherauslauf die mit organischen Substanzen angereicherten Wasseranteile abgeführt werden bevor es zu Zersetzungserscheinungen grösseren Ausmasses kommt. So kann trotz der sicherlich ebenfalls reichlichen Sedimentzufuhr und der erheblichen Planktonmenge in diesen Stauseen eine Sauerstoffabnahme und Kohlensäurebildung wie im Salza-Stausee nicht eintreten. Sobald aber einmal zur Energienutzung der Ablauf der Hauptwassermenge nicht mehr durch den Grundablass, sondern durch den beim Hierzmann-Speicher bereits zum Teil vorhandenen wesentlich oberhalb des Sperrengrundes abzweigenden Stollen erfolgen wird, können sich auch hier ähnliche Schichtungsverhältnisse ausbilden, wie im bereits erwähnten Frainer- und im Salza-Stausee. Es wird dann nötig werden, durch fallweise alljährliche Kontrolluntersuchungen das Ausmass der Kohlensäurebildung und vor allem das Vorhandensein und die Menge aggressiver Kohlensäure festzustellen, um durch Betätigung des Grundablasses diese Wasseranteile rechtzeitig zu entfernen.

#### Biologische Verhältnisse

Die im Zusammenhang mit den hydrochemischen Untersuchungen durchgeführte Mengen- und Artenbestimmung des Planktons zeigte ebenfalls merkliche Unterschiede zwischen den Teigtitsch-Speichern und dem Salza-Stausee.

In den Stauen Pack und Hierzmann besteht das oft recht reichliche Netzplankton fast ausschliesslich aus Kleinkrebsen (Krustazeen, Daphnia, Diaptomus und Cyclops), neben denen andere Organismen kaum vorkommen.

Im Salzastau waren ausser Krustazeen vorwiegend der gleichen Arten wie in den Teigitschstauseen, noch verschiedene Arten von Rädertieren und zeitweise in überaus grossen Mengen Kieselalgen und pflanzliche Geissler zu finden. Fast ausschliesslich aus diesen pflanzlichen Planktonorganismen bestanden die Netzfänge im Herbst 1951. Über die gefundenen Arten und ihre zahlenmässige Verbreitung in den Stauen soll, da dies für die hydrochemischen Verhältnisse der Stauseen weniger Bedeutung hat, an anderer Stelle berichtet werden.

Auffällig ist aber jedenfalls die nach anfänglich geringer Organismenzahl und -menge kurz nach Inbetriebnahme der Stauräume rasch ansteigende Planktonproduktion, deren weitere Entwicklung schon im Hinblick auf die dabei entstehenden abbaufähigen Anteile organischen Materials beachtenswert erscheint. Da die pflanzlichen Planktonorganismen die gelösten Nährstoffe zum Aufbau ihrer Körpersubstanz verwenden und sie weiters die Nahrung der Planktontiere darstellen, kann eine Nährstoffzunahme im Wasser der Staue auch eine Erhöhung der Planktonproduktion und damit eine Vermehrung der abbaufähigen Anteile hervorrufen. In verstärktem Ausmass erfolgt dies überall, wo Zuläufe mit hohem Stickstoff- und Phosphorgehalt in natürliche oder künstliche Seen gelangen. Ein Beispiel dafür stellt die rasch fortschreitende Eutrophierung holsteinerischer Seen durch Einleitung von Drainagewässern der Bodenmelioration dar (OHLE).

### Überblick

Bei der Untersuchung der Speicher hat sich als auffälligste Erscheinung das Vorhandensein von freier und teilweise aggressiv wirkender Kohlensäure, vor allem im Sommer und Frühherbst, ergeben. Im Spätherbst nimmt der Kohlensäuregehalt infolge der bei Abkühlung des Wassers wieder möglich gewordenen Durchmischung der gesamten Wassermasse im Salzastausee wieder ab. Die aggressive Wirkung des Wassers in den Teigitschspeichern ist in allen Wasserschichten ähnlich.

Die Menge des biologischem Abbau zugänglichen Materials wird durch die Zufuhr von Schwebestoffen aus den Zuflüssen und das absterbende Plankton im Stausee vermehrt. Das Ausmass dieser abbaufähigen

Anteile lässt sich sehr schwer abschätzen, da es von zahlreichen Umständen abhängig ist.

Da der Wasserablauf des Salzastaues durch den Druckstollen wesentlich oberhalb der Sperrensohle erfolgt, sammeln sich in der Sperrentiefe, unterhalb des Stolleneinlaufs die abbaufähigen Materialien an und es kommt hier im Salzastau zu bedeutenden Zunahmen der gelösten Salze und Gase. Diese beschränken sich aber hier auf einen verhältnismässig kleinen Teil des gesamten Sperreninhaltes. Dieser kann, wenn die darin festgestellten chemischen Veränderungen ein unerwünschtes Ausmass zeigen, durch den Grundablass ausgelassen und so eine eventuelle Gefahr durch aggressive Wirkung der gebildeten Kohlensäure vermieden werden. Allerdings ist dazu eine fallweise Überprüfung der hydrochemischen Verhältnisse der Sperre nötig. Ausserdem ist beim Ablassen des mit Kohlensäure und anderen Abbauprodukten angereicherten Tiefenwassers zu beachten, dass nicht dadurch Schäden, in erster Linie am Fischbestand, hervorgerufen werden können. Eine ausreichende Verdünnung des Wassers erscheint deshalb geboten. Bei den Teigitschspeichern kann gegen die festgestellte Aggressivität nichts unternommen werden, da diese hier sich auf alle Wasserschichten verteilt und durch die geologischen Verhältnisse bedingt ist.

Ansammlungen von stärker mit organischem zersetzlichem Material angereicherten Wasseranteilen, die dann naturgemäss auch einen höheren Kohlensäuregehalt aufweisen, können durch den Grundablastollen abgelassen werden.

Der Zweck dieser Darstellungen ist, auf derartige Vorgänge und auf den Anteil der daran beteiligten Lebewesen hinzuweisen um zu zeigen, dass auch biologische Beobachtungen an technischen Einrichtungen nützlich sein können.

## LITERATURNACHWEIS

- Haempel O. u. Stundl K., Fischereibiologische Untersuchungen an der Frainer Talsperre, Arch. f. Hydrobiol. 40, 538 (1943)
- Jaag O., Die neuere Entwicklung und der heutige Zustand der Schweizer Seen. Verhandlungen d. Int. Vereinigung f. theor. u. angew. Limnologie 10, 192 (1949)
- Liebmann H., Biologie und Chemismus der Bleilochsperre, Arch. f. Hydrobiol. 33, 1 (1938)
- Meissner B., 12 Jahre chemische und biologische Untersuchungen am Pleisestau, Wasserwirtschaft - Wassertechnik 4, 326 (1954)
- Ohle W., Der Vorgang rasanter Seenalterung in Holstein, Die Naturwissenschaften 40, 153 (1953)
- Schröder Th., Ausbreitung und Schichtung der Sulfitablaugen in der Bleilochsperre und Bilanz der Selbstreinigung des Staus im Jahre 1951. Wasserwirtschaft - Wassertechnik. 4, 7, (1954)
- Sierp F., Die Belastung der Ruhr durch die häuslichen und gewerblichen Abwässer "Vom Wasser" 19, 157, (1952)
- Stundl K., Chemisch-biologische Untersuchung des neuentstandenen Sees bei Neufeld a.d. Leitha. Int. Rev. d. ges. Hydrobiol. u. Hydrograph. 34, 24, 1937
- Stundl K., Untersuchungen zur Hygiene und Biologie des Wassers von Talsperren. Zs. f. Hygiene u. Infektionskrht. 122, 103 (1939).
- Stundl K., Limnologische Untersuchungen an einigen steirischen Seen. Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereines f. Steiermark, 83, 173, (1953)
- Thomas E.A., Über Massnahmen gegen die Eutrophierung unserer Seen und zur Förderung ihrer biologischen Produktionskraft. Schweizerische Fischereizeitung Nr. 7/8, 1944
- Viehl K., Einfluss der Temperatur und der Jahreszeit auf die Reinigungswirkung eines Stausees. "Vom Wasser" XII, 246, (1937)
- Viehl K., Reinigungswirkung eines künstlichen Sees "Die Städtereinigung" Heft 18/19, 1937
- Wiegmann u. Knop E., Der Umbau der Emscherflusskläranlage in den Jahren 1951/53. "Die Wasserwirtschaft" 44, 88, (1953)

