

Gliederung und Morphologie der Stau- und Speicherseen

Otto Lanser

Die Bezeichnung „Limnologie“ kommt vom griechischen Worte „limnos“, das See oder Teich bedeutet. Die Limnologie ist sohin zunächst eine Seenkunde und in der Tat hat die Ausweitung dieser Wissenschaft zu einer Süßwasserkunde schlechthin erst viel später eingesetzt. Das findet seine sachliche Begründung wohl darin, daß manche wichtigen und für das Leben im Wasser wesentlichen Vorgänge und Erscheinungen, wie etwa die Temperaturschichtung, die Umwälzung u. dgl., nur in stehenden Gewässern sich ausbilden.

Wenn also die Limnologie nicht nur ihrer Entstehung nach, sondern auch heute noch zu einem wesentlichen Teile die Lehre von den physikalischen, chemischen und biologischen Vorgängen in stehenden Gewässern ist, dann darf sie auch nicht an den künstlichen Seen und Stauräumen vorbeigehen, deren Zahl und durchschnittliche Größe in den letzten Jahren außerordentlich zugenommen hat und deren Einfluß auf den Gütezustand des gesamten Gewässernetzes daher ständig an Bedeutung gewinnt.

Jede wissenschaftliche Bearbeitung eines Sachgebietes beginnt mit dem Versuch, die beobachteten Gegebenheiten, Vorgänge und Erscheinungen nach irgendeinem Ordnungsmerkmal einzuteilen und zu gliedern. Zuerst wird dieses Ordnungsprinzip notwendigerweise ein mehr äußerliches und formales sein; die fortschreitende wissenschaftliche Erkenntnis prägt sich aber geradezu darin aus, daß es allmählich gelingt, zu Ordnungsmerkmalen überzugehen, die dem Wesen der Sache entsprechen, das heißt also, daß die Einteilung selbst schon eine Erklärung beinhaltet und voraussetzt. Auch die Limnologie der künstlichen Seen wird daher zunächst versuchen müssen, die verschiedenen Arten und Formen solcher Wasseransammlungen zu gliedern und auseinanderzuhalten.

Da es sich um Gebilde auf der Erdoberfläche handelt, die einem wasserwirtschaftlichen Zweck dienen, darf man wohl annehmen, daß mit der Einteilung nach eben diesen wasserwirtschaftlichen Zwecken einerseits und nach landformenkundlichen Gegebenheiten

andererseits auch den limnologischen Gesichtspunkten am besten Rechnung getragen werde.

Versucht man nun, die wasserwirtschaftliche Eigenart eines Speichers oder einer Speichertypen kurz — womöglich durch eine einzige Zahl — zu kennzeichnen, dann bietet sich dafür folgender Begriff an: dividiert man den Staurauminhalt (in m^3) durch die Maßzahl des mittleren Zuflusses (in m^3/s), dann erhält man eine mit der Dimension der Zeit behaftete Zahl, die angibt, wie lange die Füllung des betreffenden Stauraumes mit dem mittleren Zufluß dauern würde. Da aber z. B. Flußstauräume gar nicht ganz geleert werden können, weil der Fluß selbst einen erheblichen Teil davon einnimmt und weil auch die wasser- und energiewirtschaftlichen Bedürfnisse eine vollständige Entleerung gar nicht erlauben oder verlangen, ist es vielleicht zweckmäßiger, diese Zahl als die „mittlere Verweildauer“ des zufließenden Wassers im betreffenden Stauraum aufzufassen. Dieser Begriff läßt sich nicht nur auf alle künstlichen Wasseransammlungen, sondern auch auf natürliche Seen anwenden, wie etwa die folgende Tab. 1 an einigen Beispielen zeigt.

TABELLE 1

NAME	WASSERVOLUMEN $10^6 m^3$	MITTL. ZUFLUSS m^3/s	MITTL. VERWEILDauer
Bodensee	41.000	317	rd 4 Jahre + 1 Monat
Traunsee	2.300	72,6	rd 1 Jahr
Mooserbodensp (ohne Möll)	87,1	1,7	1 Jahr 220 Tage
Mooserboden+Wasser- fallboden (mit Möll)	172,4	7,9	250 Tage
Kastenreith (Enns)	500	150	38,5 Tage
Roßhaupten (Lech)		70	27,5 Tage
Offenstein (Kamp)	73	8,6	98 Tage
Edling (Drau)	83	240	3 Tage 17 Std
Aschach (Donau)	45	1.580	7½ Std
Sadd-el-Ali (Nil)	130.000	2.670	1 Jahr 200 Tage

Tab. 1. Ausmaß der „Verweildauer“ in einigen natürlichen und künstlichen Seen.

Die Aufstellung läßt schon erkennen, zwischen wie verschiedenartigen Werten diese mittlere Verweildauer schwankt; es drängt sich von selbst eine erste grobe Unterteilung der künstlichen Seen auf in solche, bei denen dieser Wert etwa in der Größenordnung von einigen Stunden bis höchstens Tagen liegt und solche, bei denen er mehrere Monate oder selbst Jahre erreicht. Diese beiden — wie wir noch sehen werden — auch im übrigen grundsätzlich verschiedenen Formen sollte man als Stauseen oder Flußstau einerseits und als

Speicherseen andererseits von vorneherein scharf auseinanderhalten.

Ein Stausee entsteht, wenn in einem mehr oder weniger stetig abwärts führenden Gerinne eines fließenden Gewässers ein Abflußhindernis eingebaut wird. Der Fluß ist dann genötigt, vor diesem Hindernis so lange seinen Spiegel anzuheben, bis er es zu überströmen, zu umgehen oder auch durch den gesteigerten Druck zu beiseitigen vermag. Für solche Stauseen — das Wort „See“ ist hier nur mit Vorbehalt zu gebrauchen — ist daher zunächst folgendes kennzeichnend: Da das von oben zufließende Wasser auch wieder abfließen muß, wird der Stausee in seiner ganzen Länge durchströmt. Die Kontinuitätsbedingung verlangt daher, daß in jedem Profil des Stausees in der Zeiteinheit die gleiche Wassermenge durchfließt wenigstens, wenn man von gegenseitigen Phasenverschiebungen in der Ganglinie des Zu- und Abflusses, also von nichtstationären Fließzuständen im Stausee absieht, die naturgemäß mit einem vorübergehenden Steigen oder Fallen des Stauspiegels und mit einer Speicherung oder zusätzlichen Abgabe von Wasser verbunden sind — mit anderen Worten, das Produkt aus benetzter Querschnittsfläche und mittlerer Geschwindigkeit $Q = v_m \cdot F$ muß an jeder Stelle im Längenschnitt des Stausees gleich groß sein. Da nun beim Stauhindernis die Wassertiefe und damit die benetzte Querschnittsfläche naturgemäß größer ist und somit die Geschwindigkeit kleiner als im ungestauten Fluß, wird dort auch weniger Reibung verbraucht als im ursprünglichen Zustand. Spiegel- und Sohlgefälle konvergieren also von der Staustelle an flußaufwärts, d. h., die Wassertiefen und damit im allgemeinen auch die benetzten Querschnitte werden flußaufwärts kleiner. Dies bedingt eine allmähliche Zunahme der Maßzahl der Wassergeschwindigkeit und damit auch wieder eine Verteilung des für den Transport der Wasserteilchen erforderlichen Gefälles. Die Spiegellinie des gestauten Gewässers stellt also eine nach oben konkave Linie dar, die sogenannte Staukurve, die sich flußaufwärts der ursprünglichen Spiegellinie des ungestauten Gewässers asymptotisch nähert und schließlich praktisch wieder in sie übergeht. (Abb. 4).

Ein Beispiel möge diese Ausführungen erläutern. Für das Projekt eines Donaukraftwerkes bei Wolfsthal sind ausführliche Vorarbeiten, darunter natürlich auch Staukurvenberechnungen vorgenommen worden. Ihnen ist folgender Zusammenhang zwischen der benetzten Profilfläche und der mittleren Wassergeschwindigkeit einerseits und der Entfernung von der Staustelle andererseits zu entnehmen (Tab. 2).

Ehe auf die zweite für Flußstau kennzeichnende Tatsache eingegangen wird, sei die Durchströmung bzw. die Frage der Strömungen in Speicherseen und in natürlichen Seen im allgemeinen kurz erörtert. Da ist nun zunächst festzuhalten, daß Speicherseen überhaupt nur zu gewissen Zeiten „durch“strömt werden; wenn ein solcher Speicher z. B. nach Wintersende abgearbeitet ist und nun

TABELLE 2

PROFIL Strom-km ²	WASSERFÖHRUNG m ³ /s			
	MNQ=850		MQ=2.060	
	F (m ²)	v (m/s)	F	v
18737	2.435	0,35	2.435	0,85
1877	3.590	0,24	3.625	0,59
1880	2.705	0,31	2.750	0,75
1885	1.815	0,45	1.905	1,03
1890	1.400	0,59	1.665	1,18
1895	965	0,85	1.345	1,46
1900	675	1,22	1.235	1,59
1901	640	1,28	1.160	1,66

²⁾ Wehrstelle bei Strom-km 18733

Tab. 2. Benetzte Querschnitte und Durchflußgeschwindigkeiten im Stauraum des geplanten Donaukraftwerkes Preßburg-Wolfsthal.

durch die allmählich einsetzende Schneeschmelze wieder aufgefüllt wird, dann steht — wenigstens wenn es sich um alpine Anlagen handelt — das angeschlossene Kraftwerk meist überhaupt still; das Umgekehrte tritt annähernd im Winter ein, wenn der See abgearbeitet wird und der Zufluß auf ein Mindestmaß zurückgeht. In diesen Zeiten kann man also von einer Durchströmung überhaupt nicht, sondern nur von einer Auffüllung oder Entleerung des Sees sprechen. Aber selbst wenn man das Mittel zieht über den Zeitraum eines hydrologischen Jahres, in welchem Zu- und Abfluß sich ja annähernd die Waage halten müssen, so sind doch die auftretenden Strömungen minimal. Zum Beispiel hat der Mooserbodensee etwa in der Mitte seiner Länge, noch ehe er sich vor den beiden Abschlußsperrern verbreitert, von Ufer zu Ufer einen benetzten Querschnitt von etwa 30.000 m². Da der mittlere Zufluß (ohne Möllüberleitung, die aber in keinem Falle den See „durch“strömt) nur etwa 2,1 m³ s beträgt, errechnet sich eine fiktive mittlere Geschwindigkeit von bloß etwa 0,07 mm/s.

Natürlich ist das nur ein Rechnungswert, da in Wirklichkeit nicht der ganze Seequerschnitt gleichmäßig durchströmt wird, sondern so

wie in natürlichen Seen sich gewisse Bewegungsbahnen bilden und zudem der eigentliche Massenausgleich zwischen Zu- und Abfluß durch andere, zum Teil sogar gegenläufige Strömungen, verursacht durch den Wind und ungleichmäßige Erwärmung, überlagert wird. Immerhin zeigt er die außerordentliche Geringfügigkeit der Bewegungen.

Zum Vergleiche sei etwa der Traunsee herangezogen. Ungefähr in der Mitte seiner Länge umfaßt ein durch ihn gelegtes Querprofil eine Fläche von rund 240.000 m². Die Traun führt ihm im Mittel etwa 65 m³/s zu, so daß sich — wieder unter der an sich unzutreffenden Annahme gleichmäßiger Durchströmung — eine Geschwindigkeit von etwa 0,3 mm/s ergibt.

Über die in Binnenseen tatsächlich und nicht nur rechnermäßig auftretenden Strömungen und Geschwindigkeiten weiß man im allgemeinen nicht allzuviel. Sehr gut bekannt ist dank jahrelanger Forschungen der Bodensee. Es zeigt sich, daß der Durchfluß des Rheins in ziemlich scharf abgegrenzten Strömungsbahnen erfolgt, die auch bei verschiedenen Wasserführungen nicht allzu sehr wechseln und kaum tiefer als etwa 30 m, meist nicht einmal so weit, hinabreichen. Die Wassergeschwindigkeiten in diesen Strömungszonen sind nicht ganz unbeträchtlich, sie sinken begreiflicherweise von der Stelle der Einmündung des Rheins in den See allmählich ab, da sie ja durch die ruhende Wassermasse abgebremst werden. Kann man zum Beispiel vor Lindau in 15 m Tiefe noch Stundengeschwindigkeiten von rund 270 m, bei Rheinhochwasser sogar noch wesentlich mehr, bis zu 500 m, feststellen, was sekundlichen Geschwindigkeiten von 75 bzw. 140 mm entspricht, so braucht die Gesamtmasse des Rheins, um aus der Fußacher in die Konstanzer Bucht zu gelangen, etwa 60 Tage, was einer Geschwindigkeit von durchschnittlich nur rund 8,6 mm/s entspricht. Im Jahresdurchschnitt liegen die Werte aber noch niedriger als die angegebenen, die nach dem Vordringen der weichen Schmelzwasser, die der Rhein zur Zeit der Frühjahrsschneeschnmelze in den Bodensee bringt, ermittelt wurden (1).

Ähnliche Untersuchungen sind zum Beispiel am Traunsee gemacht worden; die Ausbreitung und Ausdehnung eines durch trübe Färbung gekennzeichneten Hochwasserzuflusses konnte hier durch Tage hindurch verfolgt werden. Die Stirn dieser Welle legte zum Beispiel in der Zeit vom 22. Jänner 14 Uhr bis 25. Jänner 9 Uhr insgesamt 6,65 km zurück, woraus sich eine mittlere Geschwindigkeit von 2,8 cm/s errechnet (2).

Zur Erzeugung so geringer Wassergeschwindigkeiten, die nicht mehr dem Bereiche der turbulenten, sondern der laminaren Strömung angehören, sind auch nur verschwindend geringe Gefälle erforderlich. Es kann daher in diesen natürlichen Seen ebenso wie in den Speicherseen keine Rede davon sein, daß sich hier etwa eine Staukurve ausbildet. Ihre Oberfläche stellt vielmehr eine Ebene, genauer gesagt einen Ausschnitt aus dem Erdsphäroid dar.

Auf die verschiedenartigen Auswirkungen der so ungleichen Strömungs- und Geschwindigkeitsverhältnisse in Stauseen einerseits und in Speicherseen andererseits sei später noch eingegangen. Vor derhand genüge die Feststellung, daß die künstlichen Speicherseen hinsichtlich der Strömungsverhältnisse durchaus den natürlichen Seen ähneln, ja sie sogar an Unbewegtheit der Wassermasse zum Teil noch übertreffen. Dafür sind sie allerdings in einem anderen Punkte diesen sehr unähnlich, nämlich im Ausmaß der Spiegelschwankungen.

Natürliche Seen wirken schon durch ihr Dasein ausgleichend auf die Wasserführung des sie durchströmenden Gewässers; beispielsweise verhalten sich die extremen Nieder- und Hochwasserführungen im Alpenrhein etwa wie 1 115 (26 zu 3000 m³/s), im Ausfluß aus dem Bodensee bei Stein am Rhein dagegen nur mehr etwa wie 1 11,5 (95 zu 1100 m³/s). Dieser Ausgleich wird durch die natürliche Speicherung bzw. zusätzliche Wasserabgabe erreicht, die jedes Steigen oder Fallen des Seespiegels mit sich bringt. Je größer daher eine Seefläche im Verhältnis zum Wasserreichtum des oder der Zubringer ist oder je größer, anders ausgedrückt, die eingangs besprochene mittlere Verweildauer ist, desto stärker ausgleichend wirkt der See, desto schwächer sind aber auch seine Spiegelschwankungen, da dann schon geringe Hebungen und Senkungen genügen, um ein verhältnismäßig großes Wasservolumen zu speichern oder abzugeben.

Die mittlere Jahresamplitude der Schwankungen des Bodenseespiegels beträgt rund 2,00 m, die extremsten beobachteten Wasserstände liegen nicht ganz 3,50 m auseinander. Der nur schwach durchströmte Wörthersee dagegen erreichte im Jahrzehnt 1950 bis 1959 bloß 85 cm Schwankungshöhe zwischen den extremen Spiegellagen; die mittlere Jahresdifferenz betrug nur 46 cm und selbst die absoluten Extreme seit 1904 bedeuten bloß eine Pegelstandsdifferenz von rund 120 cm.

Ganz anders verhält es sich begreiflicherweise mit den Speicherseen. Ein Wirtschaftsgut zu speichern hat ja nur dann Sinn, wenn

man es zur Zeit des Bedarfes wieder entnimmt, womit natürlich die Entleerung des Speichergefäßes verbunden ist. Das gilt auch von gespeichertem Wasser. Man baut nicht hundert und mehr Meter hohe Talsperren, wenn man nicht zugleich beabsichtigt, das so geschaffene „Gefäß“ zu gegebener Zeit auch wieder zu entleeren, was eben nur durch eine Spiegelabsenkung geschehen kann. Um die kostspieligen Talsperrenbauwerke gut auszunützen, trachtet man begreiflicherweise, diese Absenkung möglichst weit zu treiben, so daß das Maß der Spiegelschwankung nicht weit hinter der Höhe des Sperrenbauwerkes selbst zurückbleibt. (Vergleiche Tabelle 3.)

TABELLE 3

Schwankungsausmaße der Speicher-Wasserstände

NAME DER SPERRE	LAND	BAUART	GESAMTE	SCHWANKUNGS-
			SPERRENHÖHE	HÖHE
			m	m
OTTENSTEIN	N.O.	g	66	16,5
FREIBACH	KÄRNTEN	d		24,2
KASTENREITH (proj.)		gp		
LÜNERSEE *)	VORARLBERG			
MOSERBODEN	SALZBERG.			
WASSERFALLBODEN	SALZBERG.			82
ST. GIUSTINA	ITALIEN		152,5	85
GÜSCHENENALP	SCHWEIZ			92
MAUVUISIN	SCHWEIZ	g		
GRANDE DIXENCE	SCHWEIZ	p	285	194

*) Aufgestauter natürlicher See

Tab. Talsperrenhöhen und Absenkungsausmaße einiger Speicherseen.

Zwar kommen unter Umständen auch an natürlichen Seen Spiegelschwankungen weitaus größeren Ausmaßes vor, als es die oben vom Bodensee und Wörthersee angeführten sind. Der Verfasser erinnert sich zum Beispiel einer Wanderung zum Formarinsee in den Lechtaler Alpen im Herbst 1947, der zumindest in Westtirol sich durch außerordentliche Trockenheit auszeichnete. Damals lag der Spiegel dieses allerdings etwas ungewöhnlichen Sees um 15–20 m unter der normalen Höhe; ungewöhnlich ist dieser See deshalb, weil er keinen oberirdischen Abfluß hat, sondern durch Karstlöcher entwässert und wohl auch gespeist wird, so daß also eine so weitgehende Entleerung eher erklärlich ist. Die vorerwähnten Spiegelschwankungen von Speicherseen übertreffen aber selbst dieses nur an Karstseen mögliche Absenkungsmaß noch bei weitem. Es liegt auf der Hand, daß bei der Entleerung so gewaltiger Wasserkörper die ursprüng-

Zur Erzeugung so geringer Wassergeschwindigkeiten, die nicht mehr dem Bereiche der turbulenten, sondern der laminaren Strömung angehören, sind auch nur verschwindend geringe Gefälle erforderlich. Es kann daher in diesen natürlichen Seen ebenso wie in den Speicherseen keine Rede davon sein, daß sich hier etwa eine Staukurve ausbildet. Ihre Oberfläche stellt vielmehr eine Ebene, genauer gesagt einen Ausschnitt aus dem Erdsphäroid dar.

Auf die verschiedenartigen Auswirkungen der so ungleichen Strömungs- und Geschwindigkeitsverhältnisse in Stauseen einerseits und in Speicherseen andererseits sei später noch eingegangen. Vorderhand genüge die Feststellung, daß die künstlichen Speicherseen hinsichtlich der Strömungsverhältnisse durchaus den natürlichen Seen ähneln, ja sie sogar an Unbewegtheit der Wassermasse zum Teil noch übertreffen. Dafür sind sie allerdings in einem anderen Punkte diesen sehr unähnlich, nämlich im Ausmaß der Spiegelschwankungen.

Natürliche Seen wirken schon durch ihr Dasein ausgleichend auf die Wasserführung des sie durchströmenden Gewässers; beispielsweise verhalten sich die extremen Nieder- und Hochwasserführungen im Alpenrhein etwa wie 1:115 (26 zu 3000 m³/s), im Ausfluß aus dem Bodensee bei Stein am Rhein dagegen nur mehr etwa wie 1:11,5 (95 zu 1100 m³/s). Dieser Ausgleich wird durch die natürliche Speicherung bzw. zusätzliche Wasserabgabe erreicht, die jedes Steigen oder Fallen des Seespiegels mit sich bringt. Je größer daher eine Seefläche im Verhältnis zum Wasserreichtum des oder der Zubringer ist oder je größer, anders ausgedrückt, die eingangs besprochene mittlere Verweildauer ist, desto stärker ausgleichend wirkt der See, desto schwächer sind aber auch seine Spiegelschwankungen, da dann schon geringe Hebungen und Senkungen genügen, um ein verhältnismäßig großes Wasservolumen zu speichern oder abzugeben.

Die mittlere Jahresamplitude der Schwankungen des Bodenseespiegels beträgt rund 2,00 m, die extremsten beobachteten Wasserstände liegen nicht ganz 3,50 m auseinander. Der nur schwach durchströmte Wörthersee dagegen erreichte im Jahrzehnt 1950 bis 1959 bloß 85 cm Schwankungshöhe zwischen den extremen Spiegellagen; die mittlere Jahresdifferenz betrug nur 46 cm und selbst die absoluten Extreme seit 1904 bedeuten bloß eine Pegelstandsdifferenz von rund 120 cm.

Ganz anders verhält es sich begrifflicherweise mit den Speicherseen. Ein Wirtschaftsgut zu speichern hat ja nur dann Sinn, wenn

man es zur Zeit des Bedarfes wieder entnimmt, womit natürlich die Entleerung des Speichergefäßes verbunden ist. Das gilt auch von gespeichertem Wasser. Man baut nicht hundert und mehr Meter hohe Talsperren, wenn man nicht zugleich beabsichtigt, das so geschaffene „Gefäß“ zu gegebener Zeit auch wieder zu entleeren, was eben nur durch eine Spiegelabsenkung geschehen kann. Um die kostspieligen Talsperrenbauwerke gut auszunützen, trachtet man begreiflicherweise, diese Absenkung möglichst weit zu treiben, so daß das Maß der Spiegelschwankung nicht weit hinter der Höhe des Sperrenbauwerkes selbst zurückbleibt. (Vergleiche Tabelle 3.)

TABELLE 3

Schwankungsausmaße der Speicher-Wasserstände

NAME DER SPERRE	LAND	BAUART	GESAMTE	SCHWANKUNGS-
			SPERRENHÖHE	HÖHE
			m	m
OTTENSTEIN	NÖ.	g	66	185
FREIBACH	KÄRNTEN	d		242
KASTENREITH (proj.)		gp		
LÜNERSEE *)	VORARLBERG			
MOSERBODEN	SALZBERG.			
WASSERFALLBODEN	SALZBERG.	g		
ST. GIUSTINA	ITALIEN		152,5	65
GÖSCHEHENALP	SCHWEIZ		155	92
MAUVOISIN	SCHWEIZ	g		
GRANDE DIXENCE	SCHWEIZ	p	285	194

*) Aufgestauter natürlicher See

Tab. Talsperrenhöhen und Absenkungsausmaße einiger Speicherseen.

Zwar kommen unter Umständen auch an natürlichen Seen Spiegelschwankungen weitaus größeren Ausmaßes vor, als es die oben vom Bodensee und Wörthersee angeführten sind. Der Verfasser erinnert sich zum Beispiel einer Wanderung zum Formarinsee in den Lechtaler Alpen im Herbst 1947, der zumindest in Westtirol sich durch außerordentliche Trockenheit auszeichnete. Damals lag der Spiegel dieses allerdings etwas ungewöhnlichen Sees um 15–20 m unter der normalen Höhe; ungewöhnlich ist dieser See deshalb, weil er keinen oberirdischen Abfluß hat, sondern durch Karstlöcher entwässert und wohl auch gespeist wird, so daß also eine so weitgehende Entleerung eher erklärlich ist. Die vorerwähnten Spiegelschwankungen von Speicherseen übertreffen aber selbst dieses nur an Karstseen mögliche Absenkungsmaß noch bei weitem. Es liegt auf der Hand, daß bei der Entleerung so gewaltiger Wasserkörper die ursprüng-

lich in der Zeit der Spiegelruhe vielleicht vorhandene thermische oder chemische Schichtung völlig zerstört wird und daß bei der Wiederauffüllung vollkommen neue Verhältnisse geschaffen werden. Für die Besiedlung eines solchen Speichersees durch tierische Lebewesen ist aber vielleicht noch wichtiger, daß sich an den Böschungen kaum irgendwelche Wasserpflanzen, die als Nahrungssubstrat für Wassertiere dienen könnten, halten können, da nicht einmal Algen so riesige Unterschiede in der physikalischen Beschaffenheit ihres Lebensraumes auszuhalten vermögen wie den Wechsel zwischen einem Wasserdruck von fünfzig, hundert oder noch mehr Metern Wassersäule und dann wieder einer nur sehr geringen Wasserbedeckung oder überhaupt dem Auftauchen an die freie Atmosphäre. Die Nahrungsquellen, die in solchen Seen den höheren Lebewesen zur Verfügung stehen, sind daher sehr gering und damit erleidet wohl auch ihre Selbstreinigungsfähigkeit, so gut im übrigen die Voraussetzungen dafür wären, gegenüber natürlichen Seen ähnlicher Tiefe und Größe eine entscheidende Beeinträchtigung.

Wie steht es nun mit den Wasserspiegelschwankungen in Flußstauen? Es sei noch einmal auf Tabelle 2 verwiesen; sie zeigt, daß in der Nähe der Staustelle die benetzte Querschnittsfläche für die verschiedensten Wasserführungen die gleiche bleibt. Das ergibt sich als selbstverständliche Folge aus der Tatsache, daß das Stauziel ständig gehalten wird; übersteigt die Wasserführung die Schluckfähigkeit der Turbinen, dann wird das überschüssige Wasser über das Wehr abgegeben. Erst wenn eine solche Teilöffnung der Wehrverschlüsse nicht mehr ausreicht, den Überfluß abzuführen und daher das ganze Wehr freigegeben werden muß, wird der Stau abgesenkt und annähernd jener Spiegelverlauf wieder hergestellt, wie er im ursprünglichen Fluß bei der entsprechenden Wasserführung geherrscht hat; annähernd deswegen, weil ja die mehr oder weniger hohen Wehrhöcker und die Wehrpfeiler einen gewissen Anstau des Hochwassers zumindest in Wehrnähe gegenüber dem ursprünglichen Zustand des freien Stromes meist auch noch bei vollständiger Öffnung der Wehrverschlüsse bewirken.

Eine solche Staulegung und vollständige Freigabe des Wehres ist aber ein Ausnahmezustand, der im allgemeinen nur in Zeitabständen von mehreren Jahren sich wiederholt. Der Wasserspiegel des gestauten Stromes ist also zumindest in Wehrnähe außerordentlich konstant, viel konstanter als im freien unbeeinflussten Strom und erst mit zunehmender Entfernung von der Staustelle steigt dann auch die Amplitude der Spiegelschwankungen wieder an, um schließ-

lich stromaufwärts allmählich in die Verhältnisse überzugehen, wie sie am ursprünglichen ungestauten Gewässer geherrscht haben.

Diese natürlichen Spiegelschwankungen zwischen NW und HW sind nun an unseren größeren Fließgewässern recht bedeutend; an der Donau zum Beispiel betrug im Jahrzehnt 1950 — 1959 das mittlere jährliche Schwankungsausmaß in Linz 5,50 m, in Wien-Nußdorf 5,30; die überhaupt beobachteten Extreme der Pegelstände an diesen beiden Stellen liegen bei 9,15 bzw. 8,50 m. Auch an kleineren Gewässern, beispielsweise am Inn bei Innsbruck, ist die mittlere Jahresschwankung meist noch erheblich; sie beträgt hier 3,60 m.

An außereuropäischen Flüssen kommen noch weit größere Schwankungsausmaße vor; fast unglaublich sind diejenigen des Jangtsekiang. Nachdem er das weite Becken von Szetschuan durchflossen hat, muß er sich durch Schluchtenstrecken von rund 600 km Länge zwingen, die seine Hochwassermassen zurückstauen. So kommt es zu ganz ungewöhnlich großen Spiegelschwankungen zwischen Nieder- und Hochwasser; diese betragen zum Beispiel bei Tschungking, das noch in der Ebene von Szetschuan gelegen ist, rund 26 m, bei Whansien, ungefähr in der Mitte der Défilées gar 38 m, um beim Eintritt in die chinesische Tiefebene bei Itschang auf etwa 15 m abzusinken (3).

Zwischen Speicherseen und Flußstauen herrscht also auch hinsichtlich des Ausmaßes der Spiegelschwankungen eine schroffe Gegensätzlichkeit: die ersteren übertreffen in dieser Hinsicht die natürlichen Seen bei weitem, die letzteren, die Flußstau, sind im Gegenteil geradezu dadurch gekennzeichnet, daß in ihren Stauhaltungen die gar nicht unbeträchtlichen natürlichen Wasserstandsschwankungen fast vollständig gedämpft werden.

Eine zuerst wohl von Thienemann ausgesprochene Erkenntnis, daß es sich bei den künstlichen Stauen und Speichern — limnologisch gesehen — um eine neue, durchaus eigenständige Gewässergruppe handelt, wird also durch die vorstehenden Ergebnisse nicht nur bestätigt, sondern noch dahin ergänzt, daß dieser dritte, künstliche Gewässertyp in sich durchaus nicht einheitlich ist, sondern selbst wieder in mindestens zwei Untergruppen zerfällt, die sich durch mehrfache Gegensätzlichkeiten unterscheiden.

Wenn man diese Unterschiede übersichtlich darstellen wollte, käme man etwa zu folgendem Schema, in welchem die vollen Kreise jeweils einen erheblichen, halbvolle einen mäßigen Grad und leere Kreise das Fehlen oder ein sehr geringes Ausmaß der betreffenden Erscheinung andeuten:

	Stärke der Strömung	Ausmaß der Spiegelschwankungen
natürliche Flüsse	●	◐
Flußstau	◐	○
Speicherseen	○	●
natürliche Seen	○	◐

*

Wie zwischen fast allen Gegensätzen gibt es freilich auch hier vermittelnde Zwischenglieder; man kann „hohe“ und „niedere“ Flußstau unterscheiden, wobei es weniger auf die absolute Höhe des Stauwerkes als vielmehr darauf ankommt, ob die durch den Stau vergrößerten Flächen der benetzten Querschnitte im Verhältnis zur Abflußmenge noch klein genug sind, daß in ihnen eine merkliche Strömung erhalten bleibt, die dann eben auch ein merkliches Reibungsgefälle beansprucht, oder ob sie schon so groß werden, daß das Gefälle nur mehr unmerklich, die Oberfläche des Stausees also praktisch eine Ebene und der Wasserspiegellängenschnitt damit eine Horizontale ist, an die sich nur an ihrem flußaufwärtigen Ende, beim Übergang in die ungestaute Flußstrecke, eine kurze Staukurve anschließt.

Ein Beispiel für einen solchen „hohen“ Flußstau bildet die Anlage Edling an der Drau, bei der die Stauhöhe rund 23 m beträgt. Bei einem kubischen Inhalt des Stausees von rund 80 Millionen m³ und einem mittleren Zufluß von 260 m³/s errechnet sich die mittlere Verweildauer zwar bloß zu 3,6 Tagen; immerhin ist der Stausee doch schon so groß (Oberfläche etwa 12 km²) und vor allem so breit und tief, daß die Geschwindigkeit der Durchströmung nur mehr gering ist und daher eine praktisch ebene Spiegelfläche entsteht. Da eine Speicherung von Wasser nur im geringen Ausmaß eines sogenannten „Schwellbetriebes“ stattfindet, der bloß die täglichen Bedarfsspitzen durch erhöhte Wasserabgabe überbrückt und daher die Spiegelschwankungen gering bleiben (1 bis 2 m), ist die Ähnlichkeit mit einem natürlichen, von einem größeren Gewässer durchströmten See, also etwa dem Traunsee (Oberfläche 24,5 km²) groß; von allen künstlichen Wasseransammlungen gleichen also diese „hohen“ Flußstau den natürlichen Seen am meisten.

*

Welches sind nun die hauptsächlichsten limnologischen Eigenschaften und Auswirkungen der verschiedenen Typen künstlicher Wasseransammlungen? Einige Folgen der großen Spiegelschwankungen in Speicherseen haben wir schon berührt. Bei Flußstauen müßte man umgekehrt schließen, daß die Stetigkeit der Spiegellage das Aufkommen einer reichen Ufervegetation begünstige — wenn die anderen Voraussetzungen hiefür gegeben sind — und daß damit auch eine große Zahl von tierischen Lebensformen ein reichliches Nahrungsangebot und auch sonst vorteilhafte Entwicklungsmöglichkeiten vorfinde. Dies würde auch Rückschlüsse auf eine in solchen Flußstrecken eher gesteigerte Selbstreinigungskraft zulassen. Im einzelnen auf diese Fragen einzugehen, übersteige die fachliche Zuständigkeit des Verfassers und den Rahmen des Themas, es sei nur auf dieses, wohl noch durch mancherlei Untersuchungen näher abzuklärende Problem der geänderten Umweltfaktoren in Stauhaltungen mit Nachdruck hingewiesen.

Von größter limnologischer Bedeutung ist aber der Umstand, daß in Flußstauen die Strömungsgeschwindigkeit zwar stetig abnimmt, daß sie aber doch nie wie in den Speicherseen auf Null absinkt, sondern selbst in der Nähe des Stauwerks immer noch einen beträchtlichen Wert behält, der eine Durchmischung und Durchwirbelung des ganzen Wasserkörpers gewährleistet. Eine nennenswerte thermische oder chemische Schichtung ist in Flußstauen daher nicht zu erwarten, ausgenommen etwa ganz schwach durchströmte Nebenarme und Buchten. Mit der allmählichen Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit hängt aber eine wohl noch wesentlich wichtigere und als Umweltfaktor entscheidendere Tatsache zusammen, nämlich die sortierte Ablagerung und Ausfällung der vom Fluß mitgeführten Feststoffe. Die Fähigkeit eines Fließgewässers, einerseits auf seinem Grunde gröberes Geschiebe, andererseits über den ganzen Querschnitt verteilt Feststoffteilchen schwebend weiterzubefördern, hängt ja aufs engste mit der Strömungsgeschwindigkeit an sich und mit der dadurch bewirkten Durchwirbelung zusammen, die immer wieder die schwebenden Feststoffteilchen aufwärts reißt und ihre Ablagerung auf dem Flußgrund verhindert. Die allmähliche Abnahme der Strömungsgeschwindigkeiten in Flußstauen bewirkt demnach auch eine nach Korngrößen sortierte, allmähliche Ablagerung und Ausfällung der Feststoffe, zuerst des gröbereren, dann des feineren Geschiebes und schließlich auch noch eines Teiles der schwebend mitgeführten Teilchen, von denen ein nicht unerheblicher Hundertsatz den ganzen Stauraum hindurchbefördert wird und ihn durch die Turbinen oder das Wehr wieder verläßt (vgl. Abb. 4).

Untersuchungen, die die bayerische Landesstelle für Gewässerkunde um 1930 an dem damals schon weitgehend verlandeten Saalachstausee bei Reichenhall vorgenommen hat, haben gute Aufschlüsse über diese Ablagerungsvorgänge gebracht (4). Die der angeführten Arbeit entnommene Abbildung 1 zeigt zum Beispiel deutlich die allmähliche Abnahme der Korngrößen bei Annäherung an die Wehrstelle, die bei km 20,7 zu denken ist. Während demnach etwa bei km 23,0 noch mehr als 60 % der Ablagerungen aus Korngrößen über 3 mm Durchmesser bis hinauf über 8 cm bestehen, sinkt dieser Anteil bis km 22,0 auf weniger als 20 %, um bei km 21,5 überhaupt zu verschwinden. Korngrößen über 4 cm sind schon etwa ab km 22,3 nicht mehr zu beobachten.

Wasserführung, Beschaffenheit der Sohle, Form und Abmessungen des Querprofils, die Geschiebeführung und schließlich die Ausbildung des Längenprofils, diese Gegebenheiten und Größen stehen an jedem einigermaßen im Gleichgewicht befindlichen Fluß untereinander eben

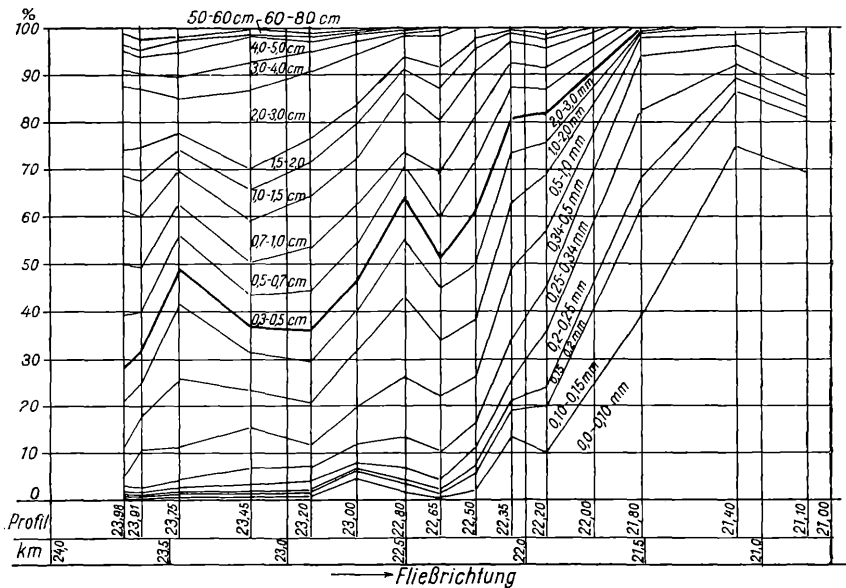


Abb. 1 Geschiebemischungsband der Auflandungen im Saalachstausee bei Reichenhall 1928.

in einem engen, gesetzmäßigen Zusammenhang. Ändert man eine von ihnen — also zum Beispiel das Längenprofil und die benetzten Querschnitte durch den Einbau eines Stauwerks — dann muß man bei gegebener Wasserführung, die ja meist keiner Beeinflussung durch den Menschen unterliegt, auch mit selbsttätigen Anpassungen der anderen Größen an die neuen Verhältnisse rechnen. Der Fluß antwortet auf künstliche Eingriffe zunächst in der Art, daß er das Hindernis zu beseitigen und die Wirkung des Eingriffs aufzuheben sucht; wenn ihm dies nicht gelingt, dann strebt er einem neuen Gleichgewichtszustand zu. Im Falle der Anstauung durch ein Wehr bedeutet dies, daß er im Stauraum unter allmählicher Hebung der Sohle ein neues Gleichgewichtsgefälle aufbaut, bis es ihm schließlich möglich würde, den von oben kommenden Geschiebeanfall durch den Stauraum hindurchzuverfrachten.

Da eine solche Hebung des Längenprofils in den meisten Fällen gänzlich untragbar wäre, bleibt meist nichts anderes übrig, als durch Baggerungen der Sohlehebung entgegenzuwirken. Nur in einzelnen Fällen mag es gelingen, durch eine besondere Betriebsweise, nämlich durch zeitweilige völlige Freigabe des Wehres, wirkungsvolle Stauraumpülungen zu erreichen und die Anlandungen auf diese mehr natürliche Art wieder zu beseitigen oder wenigstens ihr Anwachsen zu verzögern.

Flußstau mit den kennzeichnenden hydraulischen Merkmalen, die im Vorstehenden gezeigt worden sind, sind sohin immer künstliche Bildungen; in der Natur kommen sie nicht vor, da sie teils wegen der raschen Verlandung, teils wegen der Zerstörung der Staukörper zu kurzlebig sind und keinen Bestand haben, ganz abgesehen davon, daß Vorgänge, wie sie etwa in der vorübergehenden Freigabe der Stauwand, also in der Öffnung eines Wehres bei Hochwasser und in der dadurch herbeigeführten Absenkung des Stauzieles bestehen, von der Natur überhaupt nicht nachgebildet werden können.

*

Im Gegensatz zu den Flußstauen, die also — erdgeschichtlich gesehen — sehr kurzlebige Gebilde sind und sich überhaupt nur so lange halten können, als der Mensch durch ständige Eingriffe die Anlandungen immer wieder beseitigt und das Wehr manipuliert, sind die eigentlichen Speicherseen von weitaus größerer Beständigkeit, handelt es sich bei ihnen doch vielfach um Bildungen, die in früheren

geologischen Zeitabschnitten schon einmal bestanden haben und die die Technik nunmehr wieder herstellt. Mit einer solchen Betrachtungsweise begeben wir uns aber auf das Gebiet der Morphologie, der erdgeschichtlich untermauerten Landformenkunde; nach dem Versuch einer wasserwirtschaftlichen und hydraulischen Einteilung und Gliederung künstlicher Wasseransammlungen mag es nun für die Limnologie auch noch wichtig sein, eine Einteilung nach landformenkundlichen Gesichtspunkten anzuschließen, da ja die geographischen Gegebenheiten der Staubecken naturgemäß stark ihre Eigenart als Lebensraum beeinflussen.

Jede Speicherwirtschaft ist zunächst an gewisse topographische Voraussetzungen geknüpft; es müssen im Gelände natürliche Hohlformen zur Verfügung stehen, die die Wassermengen aufzunehmen vermögen. Solche Hohlformen bietet die Natur zunächst in den Seen und man hat in der Tat schon seit eh und je versucht, diese in den Dienst der Wasserwirtschaft zu stellen, indem man ihren Abfluß durch den Einbau von Wehren und Schleusen zu regeln suchte. Die älteste, halb sagenhafte Anlage dieser Art dürfte jene sein, die König Amenemheit III. (1849—1801 v. Chr.) zur Zeit des Mittleren Reiches errichtete. Er ließ die Schleuse anlegen, durch die der Wasserzufluß in den und die Wasserabgabe aus dem künstlich vergrößerten Mörissee in Ägypten geregelt werden konnte.

Zeitlich und örtlich näherliegende Beispiele bieten die sogenannten „Seeklausen“ im Salzkammergut. Bei der beträchtlichen Oberfläche mehrerer seiner Seen (Attersee 46 km², Traunsee 24 km²) genügen schon ein paar Dezimeter Spiegelschwankung, um erhebliche Wassermengen zurückzuhalten oder abzugeben.

Eine weit wirkungsvollere Speicherung kann natürlich dann erzielt werden, wenn man, was freilich nur an hoch gelegenen Seen möglich ist, das Seebecken durch einen Stollen unter seinem natürlichen Spiegel anzapft und damit den ganzen Höhenspielraum zwischen der ursprünglichen Spiegellage und dem Stolleneinlauf als Speicherraum gewinnt. Das wohl bedeutendste Beispiel eines solchen angezapften Natursees bildet der Achensee, der durch einen 4,5 km langen Stollen vom Inntal aus 11 m unter seinem natürlichen Spiegel angebohrt wurde; bei seiner Oberfläche von rund 7,5 km² wurde damit ein Speicherraum von fast 80 Millionen m³ erschlossen, die über eine Rohfallhöhe von rund 400 m abgearbeitet werden können.

Wo Rücksichten auf die Besiedlung und die landwirtschaftliche Nutzung der Ufer dies nicht verbieten, dort liegt es nahe, noch einen Schritt weiterzugehen und einen natürlichen See nicht nur abzusenken,

sondern auch über seine ursprüngliche Lage hinauf aufzustauen, um mehr Höhenspiel und damit mehr Speicherraum zu gewinnen. Hiezu bedarf es nun freilich eines Absperrbauwerkes an der Stelle, wo die tiefste Stelle der Seewanne sich befindet und daher der natürliche Abfluß liegt. Eine ganze Reihe alpiner Speicherkraftwerke bedient sich dieses Speichertyps, zu dem etwa der Spullersee, der Lünzersee, die Seen der Reißbeckgruppe und dergleichen gehören.

Schließlich lassen sich aber Absperrbauwerke, im eigentlichsten Sinne des Wortes Talsperren, unter Umständen auch dort errichten, wo kein See besteht oder wenigstens in der geologischen Gegenwart keiner mehr besteht, woferne nur ein geeignetes trogartiges Tal sich zu einer solchen künstlichen Seewanne eignet und woferne es sich an einer günstigen Engstelle absperrn läßt. „Die alpinen Stauräume halten sich meist an Hohlformen, die schon von Natur aus als Seebecken fungiert haben. Seen und Seebecken nun sind in den Alpen wie in allen anderen ehemals vergletschert gewesenen Gebirgen in der Mehrzahl der Fälle irgendwie glazialer Natur. Der entscheidende Formbestandteil, auf den es dabei ankommt, die Seeschwelle, ist glazial, durch die Tätigkeit der Gletscher entstanden: entweder durch Ausschürfung des Felsgrundes, dann sind es Felschwellen; andererseits durch glaziale Schuttablagerung, Moränenwälle und -Haufwerke, zu denen der vorgehende oder durch längere Zeit stationär gebliebene Gletscher an seiner Stirn den Schutt angehäuft hat. Sehr häufig verbinden sich Fels und Schutt zu einer Schwelle, die im Kern oder Grund aus Fels, oberflächlich aus Schutt besteht“ (5).

Naturgemäß bevorzugt die Technik des Talsperrenbaues solche Taltröge, die durch eine Felsschwelle von der anschließenden Steilstufe getrennt sind, da sich auf einer solchen meist wesentlich günstigere geologische und statische Voraussetzungen für das Aufsetzen eines künstlichen Stauwerkes bieten. Moränenwälle und glaziale Haufwerke bieten dagegen meist erhebliche Schwierigkeiten, da entweder die Tragfähigkeit nicht hinreicht oder die Dichtung des Untergrundes unter einem auf sie aufgesetzten Damm großen Schwierigkeiten begegnet.

Weite Gebiete der Erde, auch erhebliche Teile des heutigen Österreich — zum Beispiel das Mühl- und Waldviertel — waren aber nie vergletschert und verdanken daher ihren heutigen Formenschatz nicht dem Eise; hier bieten die Flußtäler oft eine Möglichkeit zur Anlage künstlicher Seen, wenn sich in ihnen eine zum Bau einer Talsperre geeignete Engstelle findet. In unserem Lande bilden die

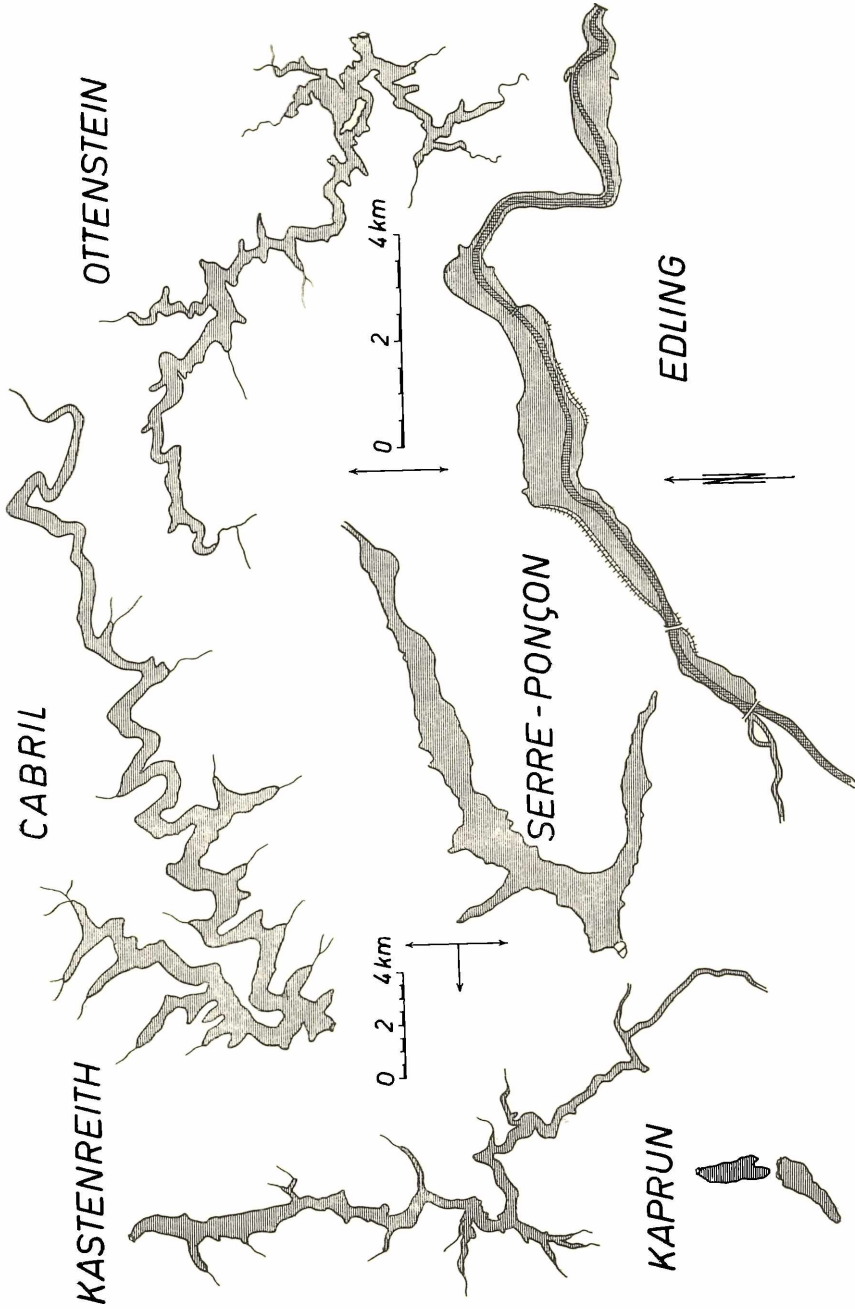


Abb. 2. Grundrisse von Flußtal-Speicherseen

Kampstauseen ein gutes Beispiel für diesen Typus. Er unterscheidet sich übrigens schon durch seinen fjordartigen, vielfach gewundenen und reich verästelten Grundriß von den mehr sackartigen Formen der durch die Gletschertätigkeit gebildeten Speichertröge in den Hochalpen (Abb. 2 und 3).

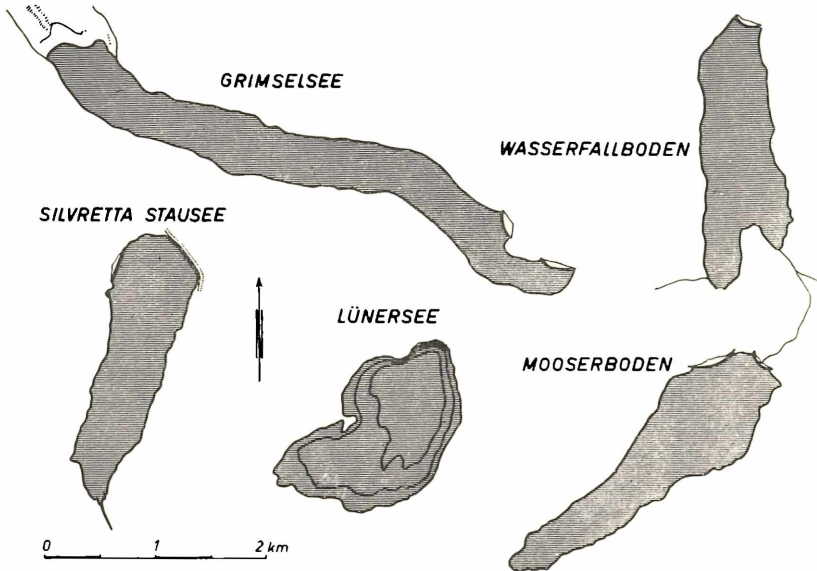


Abb. 3. Grundrisse alpiner Speicherseen.

In außereuropäischen Tafelländern, aber auch zum Beispiel in Spanien, gibt es wohl noch weitere Typen von Speicherseen, nämlich den großer, aber verhältnismäßig flacher Wannen; durch Stauwerke von oft gar nicht sehr bedeutender Höhe lassen sich hier Areale einstauen, die das Ausmaß der größten mitteleuropäischen Seen erreichen. Hiezu sei der Rio Negro in Uruguay als Beispiel angeführt, bei dem es möglich war, durch eine Talsperre mit bloß 27 m Stauhöhe einen See von 1140 km² Oberfläche, also der doppelten Ausdehnung des Bodensees, zu bilden. Sein kubischer Inhalt beträgt freilich bloß rund 9 Milliarden m³ gegenüber rund 40 Milliarden m³ des Bodensees.

Es wäre verlockend, eine solche formenkundliche Betrachtung der zur Anlage von Speichern geeigneten Hohlformen des Geländes und ihrer erdgeschichtlichen Entstehung weiter auszuspinnen, doch überstiege dies den Rahmen unseres Themas; hingegen sei es gestattet, noch ganz kurz einige limnologische Folgerungen anzudeuten, die sich bei einer solchen formenkundlichen Betrachtung aufdrängen.

Zunächst ist es wohl die Temperatur und Temperaturschichtung, die sich weitgehend nach den morphologischen Gegebenheiten richtet. Bei nur oberflächlich regulierten Seen, wie zum Beispiel bei denen des Salzkammergutes, wird sich der Wärmehaushalt kaum von den vollkommen sich selbst überlassenen Seen unterscheiden. Beim Achenseetypus hingegen, bei dem der Abfluß nun nicht mehr aus der wärmeren Oberflächenschichte über eine seichte Seeschwelle hinweg erfolgt, sondern durch den Stollen kälteres, meist wohl schon unter der Sprungschicht gelegenes Wasser abgesaugt wird, ist eher mit einer Wärmezunahme zu rechnen, die, falls damit auch eine Eutrophierung aus Siedlungsabwässern Hand in Hand geht, die Entwicklung einer reicheren Wasserfauna begünstigen müßte.

Der Gehalt an Schwebstoffen in solchen natürlichen Seen wie etwa dem Achensee ist sehr gering und daran ändert sich auch durch die Speicherbewirtschaftung an sich nichts, es wäre denn, daß durch künstliche Beileitungen etwas mehr Feststoffe herangeführt werden, als durch den natürlichen Zufluß allein. Wenn auch alle Seen das erdgeschichtliche Schicksal schließlicher Verlandung oder des Ausrinnens infolge der Durchnagung der Seeschwelle teilen, so übersteigt doch das Zeitmaß dieser Vorgänge hier weitaus alle menschlichen Maßstäbe. Der Achensee, aber auch etwa der Lünensee, der Spullensee und so weiter, würden auch in 10.000, ja wohl in 100.000 Jahren noch als Speicher genutzt werden können, falls man dann noch einen solchen benötigen sollte.

Für das Zeitmaß der Verlandung ist natürlich das Raumgewicht der Ablagerungen wesentlich. Es ist am Grunde natürlicher Seen meist sehr gering; es sind Fälle bekannt, so zum Beispiel im Walchensee, in denen der Schlamm so locker ist, daß Taucher nicht Fuß fassen können und Senkrote metertief einsinken. Messungen an Schlammstammeln, die mehrere Jahre hindurch am Grunde einiger oberbayrischer Seen versenkt blieben, ergaben zum Beispiel Raumgewichte von bloß

0,16 g/cm³ am Starnberger See in 117 m Wassertiefe
und 0,35 g/cm³ am Niedersonthofener See.

der Stau- und Speicherseen

Rechnungsannahmen Durchfluss 2.000 m³/s
 Sohlfälle 0,5‰
 Ungestaute Wassertiefe 5 m
 Stauhöhe 10 m
 Rauigkeitsbeiwert nach Strickler k=32

Ungestautes Profil
 (10-fach überhöht)

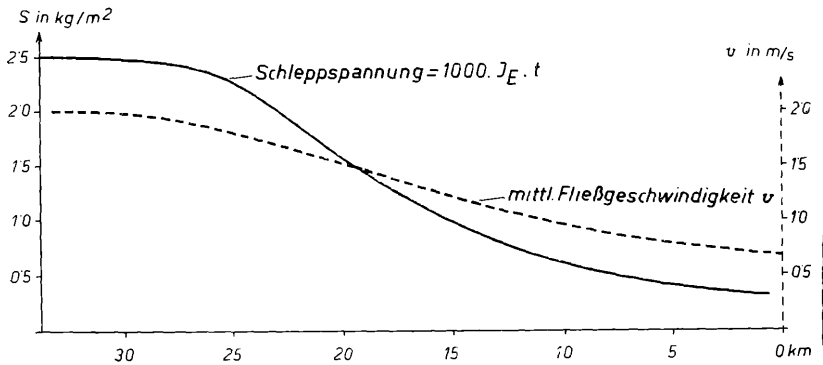
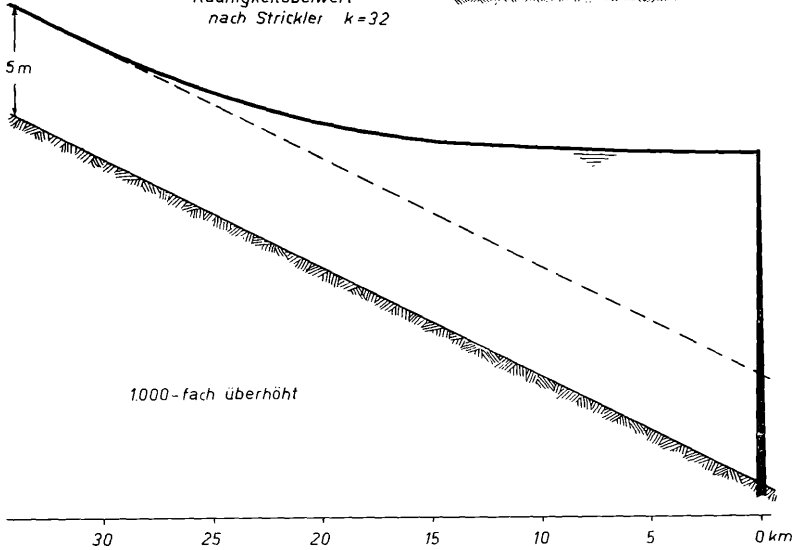
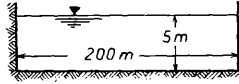


Abb. 4.

Verlauf der Staukurve, der mittleren Fließgeschwindigkeiten und der Schleppkraft (Schleppspannung) in einem idealisierten Stauraum.

Bei tieferem Eindringen in den Seeboden nimmt die Dichte aber rasch zu und erreicht einen Wert von etwa $1,4 \text{ g/cm}^3$. Die Ablagerungen in dieser Tiefe sind mehrere Jahrtausende alt; an der Stelle, an der die Schlammstammkisten versenkt waren, betrug der jährliche Schlammniederschlag beispielsweise:

im Niedersonthofenersee	i. M. $6,1 \text{ kg/m}^2$ Seegrund
im Alpsee	i. M. $4,1 \text{ kg/m}^2$ Seegrund
und im Starnberger See	i. M. $0,51 \text{ kg/m}^2$ Seegrund

Die Äonen lange Lebensdauer dieser Seen wird also auch durch solche exakte Messungen bestätigt. Als Umweltfaktor im Sinne der Limnologie sind daher diese Schwebstoffablagerungen bedeutungslos.

Nicht ganz so günstig sind Lebensdauer und Schlammhaushalt der alpinen künstlichen Speicherseen zu beurteilen. Langjährige Messungen an der Venter Ache haben sehr hohe Schwebstoffspenden ergeben, die auch an anderen Gletscherbächen mit vergleichbarem Einzugsgebiet sich größenordnungsmäßig bestätigt haben. Demnach wird man, bezogen auf 1 km^2 Gletscherareal, aus dem die Schwebstoffe ja zum überwiegenden Teil stammen, mit jährlichen Spenden von mehr als 3000 t Feststoff rechnen müssen (6). Freilich reicht auch das noch bei weitem nicht aus, um große künstliche Speicherseen in kürzeren Zeiträumen als etwa 500 bis 1000 Jahren empfindlich zu verkleinern oder gar zu verlanden, ganz abgesehen davon, daß die überaus feinen Schlammteilchen auch während der Verweildauer im Speichersee keineswegs vollständig ausgefällt werden, sondern zu einem guten Teil ihn durch die Turbinen wieder verlassen. Aber gerade dieser Umstand ist limnologisch bedeutsam: Das Wasser solcher Seen ist trüb, die Sichttiefe und damit die Eindringungstiefe des Lichtes in das Wasser sind gering, was im Verein mit der niedrigen Temperatur die Lebensvoraussetzungen stark beeinträchtigt.

*

Der vorliegende Versuch, die überaus vielfältigen Formen künstlicher Wasseransammlungen, der Stau- und Speicherseen, nach hydraulischen und landformenkundlichen Gesichtspunkten in Typen einzuteilen, mag an sich nicht viel Neues enthalten; vielleicht ist er dennoch als Einleitung zu den Vorträgen des diesjährigen Fortbildungskurses, der ja unter dem Leitwort: „Limnologie der Stau- und Speicherseen“ steht, nicht nutzlos. Der Limnologe, der

ja meist von den beschreibenden Naturwissenschaften, von der Zoologie und Botanik, also im weitesten Sinne von der Biologie herkommt, und der Ingenieur sprechen verschiedene Sprachen, so daß sie einander häufig nicht recht verstehen. Wenn aber beispielsweise ein limnologisches Gutachten, das sich mit den Auswirkungen wasserbaulicher Eingriffe zu befassen hat, die ingenieurmäßigen Gegebenheiten, die hydraulischen Vorgänge und Gesetze nicht genügend berücksichtigt, dann besteht die Gefahr, daß es sich im leeren Raume bewegt und zu falschen Schlüssen führt. Die möglichst klare Kenntnis des Zweckes einer Anlage und damit ihre Einordnung in eine bestimmte Gruppe jener Typen, die sich aus den wasserwirtschaftlichen, hydraulischen und topographischen Gesichtspunkten ergeben, ist daher unerlässlich, um auch in limnologischer Hinsicht ihren Einfluß und ihre Bedeutung beurteilen zu können.

L i t e r a t u r

1. Auerbach, M. „Die Oberflächen- und Tiefenströme Bodensee“ Deutsche Wasserwirtschaft 1939, S. 193.
2. Nach frdl. Mitteilung von Dr. E. H e h e n w a r t e r, Oberöstrerr. Kraftwerke, Linz.
3. Brandl L. „Ergebnisse hydrotechnischer Forschung im Gebiete des Jangtse-kiang“ Abhdlg. d. Geogr. Ges. in Wien, Bd. XV, Heft 2, Wien 1947
4. O e x l e. L.: „Zur Gewässerkunde der bayerischen Saalach“ Mittlg. Nr. 1 zum Jahrbuch für die Gewässerkunde des Deutschen Reiches, Berlin 1940.
5. Klebelsberg, R. v.: „Geologie alpiner Stauräume“ Die Wasserwirtschaft, Wien 1955, S. 202.
6. L a n s e r O.: „Beiträge zur Hydrologie der Gletschergewässer“ Heft 38 der Schriftenreihe des Österr. Wasserwirtschaftsverbandes, Wien 1959.

Anschrift des Verfassers: Ministerialrat Dr. techn. Otto L a n s e r, Abteilungsleiter im Bundes-Ministerium für Land- und Forstwirtschaft in Wien I, Stubenring 1.

D I S K U S S I O N

P e c h l a n e r

Zu Ihrer Vermutung, daß in den Speicherseen, an welchem die Uferzone Schwankungsbereich des Wasserspiegels unbesiedelt bleibt, möchte ich feststellen, daß sich an Hochgebirgsspeichern tatsächlich beobachten ließ, daß die Uferhalde makroskopisch nachweisbare Tierformen nur in unmittelbarer Nähe der Zuflüsse beherbergt. Algen — vor allem Kieselalgen — können sich an der trockenfallenden Uferbank sicher halten, zumal niedriger Wasserstand

im Hochgebirge weitgehend mit der Schneebedeckung zusammenfällt, die Algen darum höchstens kurze Zeit ausgesprochener Trockne mit Hilfe ihrer Dauerstadien überstehen müssen.

R u d o l f

Außer den aufgezeigten Typen gibt es den Typus des kleinen Wochenspeichers des Hoch- beziehungsweise Mitteldruckwerkes, der ein Mittelglied zwischen dem echten Speicher und dem Flußstau darstellt. Infolge des verhältnismäßig großen Durchganges kommt es auch zur Ausbildung einer stärker wahrnehmbaren Durchströmung nicht nur am Rande, sondern auch im mittleren Teil des Speicherbeckens.

ZOBODAT - 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): Lanser Otto

Artikel/Article: [Gliederung und Morphologie der Stau- und Speicherseen 13-34](#)