

ÖSTERREICH'S FISCHEREI

ZEITSCHRIFT FÜR DIE GESAMTE WIRTSCHAFTS- UND SPORTFISCHEREI,
FÜR GEWÄSSERKUNDLICHE UND FISCHEREIWISSENSCHAFTLICHE FRAGEN

12. Jahrgang

August/September 1959

Heft 8,9

(Aus dem Bundesinstitut für Gewässerforschung und Fischereiwirtschaft, Scharfling a. Mondsee.)

DR. W. EINSELE:

Die Strömungsgeschwindigkeit als beherrschender Faktor bei der Gestaltung der Gewässer

(Mit besonderer Berücksichtigung der hydroelektrischen Stautypen)

I.

Einleitung

Man unterscheidet gemeinhin stehende und fließende Gewässer. Die im Zuge der hydroelektrischen Ausnutzung von Gewässern entstandenen *Stau*e gehören teils der einen, teils der anderen Gruppe an. Zu den *Fließgewässern* gehören die *Stau*e aller sogenannten „Laufwerke“; in unserem Land also die *Stau*e an der Enns, der Donau und am Inn. Wenn man sich hydrographisch und biologisch korrekt ausdrücken möchte, so darf man sie nicht als Seen bezeichnen. Das „Warum“ wird weiter unten kurz besprochen werden.¹⁾

Den *Seen* vergleichbar sind jene *Stau*e, die als Talsperren oder richtiger als „Speicherstau“e bezeichnet werden. Beispiele dafür sind die Kapruner-*Stau*e, auch der geplante Ennstau bei Kastenreith wird ein Speicherstau, das heißt ein echter (wenn auch technischer) See werden. Es sei in diesem Zusammenhang ausdrücklich darauf hingewiesen, daß auch die meisten natürlichen Seen ähnlich wie Speicherstau angelegt wurden: Beim natürlichen See bediente sich die Natur zum Bau der Staumauer meist eines Gletschers. Gletscher pflegen an ihrer „Tor“-Seite große Gesteinsschutthügel (Endmoränen) aufzuhäufen. Diese natürlichen Wälle riegelten die „Gletscherwannen“ ab. Die nach dem Abschmelzen des Eises freiwerdenden Rieströge füllten sich mit Wasser und wurden so zu Seen. — Es besteht jedenfalls auch für die „reine“ Wissenschaft kein Grund, an den

Speicherstauen, nur weil sie technische Gewässer sind, wenig Interesse zu zeigen. Ganz im Gegenteil: Der Mensch führt hier, in menschlichen Zeitspannen, etwas vor, wozu die Natur Jahrtausende brauchte. M. a. W. die Technik bietet der Wissenschaft mit den Speicherstauen die Möglichkeit, das Werden der Lebensgemeinschaften eines Sees, ideal zeitgerafft, zu studieren.

Worin nun unterscheiden sich Speicherstau = *Stauseen*, von Laufstauen = \pm stark verlangsamten Flüssen? Biologisch in erster Linie dadurch, daß die Freiwasserzone der *Stauseen* (wie jene der natürlichen Seen) mit tierischem Plankton (hier ist vor allem das Krebsplankton gemeint) bevölkert ist. Die *Freiwasserzone* der Laufstau hingegen hat (abgesehen von den Fischen!) praktisch kein tierisches Leben aufzuweisen. Die Böden hingegen können hier reich mit Würmern, Insektenlarven und gewissen kleinen Muscheln (alle gute Fischnährtiere) besiedelt sein.

Woher kommt dieser Unterschied und wie kann es erklärt werden? Das entscheidende Moment ist in den *verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten* zu suchen; über deren

¹⁾ Ausführlich behandelt wurde es in der Schrift „Flußbiologie, Kraftwerke und Fischerei“ Ztschr. „Österreichs Fischerei“, 1957. Sonderheft. — Der vorliegende Aufsatz ist eine Ergänzung und weitere Verallgemeinerung der Hauptprinzipien jener Schrift.

Wesen und Wirkungen müssen wir zunächst einiges Allgemeine sagen.

Wenn — dies sei vorausgeschickt — eine *Geschwindigkeit* entscheidet, so muß diese gleichzeitig ein Moment sein, das beiden Gewässergruppen — den Seen und Flüssen — „eignet“, denn von einer Geschwindigkeit kann es, zunächst jedenfalls, nur ein Mehr oder Weniger geben: Eine wesentliche Aufgabe des folgenden Aufsatzes wird es denn auch sein, in der Strömungsgeschwindigkeit den allen Gewässern gemeinsamen „Klammerbegriff“ zu postulieren.

II.

Die Familie der Strömungsgeschwindigkeiten

Denkbar und naturmöglich sind alle Geschwindigkeiten von Null angefangen über weniger als 0,01, 0,1, 1, 2, 3 mm/sek ansteigend bis zu 99 cm/sek und weiter fortlaufend bis zu mehreren m/sek: Die „*Familie der Strömungsgeschwindigkeiten*“ hat, m. a. W. Tausende von Mitgliedern, die einen kontinuierlichen, der Größe nach fortlaufend ansteigenden Verband bilden. Ähnlich jedoch wie bei der Familie der elektromagnetischen Wellen, lassen sich auch bei der Familie der Strömungsgeschwindigkeiten bestimmte Gebiete abgrenzen, innerhalb welcher sich qualitativ sehr verschiedene, scharf charakterisierbare, biologisch-ökologische Verhältnisse und Zustände herausbilden. So z. B. markiert die Strömungsgeschwindigkeit ± 20 cm/sek eine einschneidende Grenze. Bei dieser Geschwindigkeit nämlich erlahmt die „Schleppkraft“ des fließenden Wassers so stark, daß Flüsse und auch die Untergebiete vieler Laufstauae auch ihr feinstes Material abzusetzen beginnen. Dazu gehören die organischen Teilchen, die am Boden des Untergebietes von Laufstauen zur Ursache einer enormen Entfaltung tierischen Bodenlebens werden können. Bei Geschwindigkeiten von etwa 10 cm/sek oder unterhalb) wird diese „Fazies“ absolut herrschend. An die so entstandene „*Schlickzone*“ schließt in Laufstauen nach oben (Bereich der Geschwindigkeiten zwischen etwa 20 u. 40 cm/sek) die Sandzone an, welche im striktesten Gegensatz zu jener außerordentlich arm an tierischem und pflanzlichem Leben ist. Es folgen

bei den höheren Geschwindigkeiten (von 0,5 bis 1,5 m/sek) die Bereiche des feinen und größeren Schotters, bis wir schließlich, bei Geschwindigkeiten gegen 2 m/sek, in ein Gebiet kommen, in welchem der grobkiesige Boden unruhig wird. Diese Gebiete sind jedoch keineswegs lebensfeindlich oder fischereiwirtschaftlich wertlos. Sind es doch die Gebiete, in welchen die oft gewaltigen Schwärme der eigentlichen Süßwasser-Wanderfische, der Näslinge, zu Hause sind. An niederem *tierischem* Leben sind diese Flußgebiete arm, hingegen produzieren sie in der Regel große Mengen Algenaufwuchs auf den Steinen und dieser Aufwuchs ist es, der den „weidenden Wanderfischen“ als Nahrung dient. Soweit wir wissen, vollzieht sich die Wiederbildung von Aufwuchs unter günstigen Bedingungen in verhältnismäßig kurzer Zeit (wenigen Wochen). Nehmen wir an, der Aufwuchsüberzug sei 1 mm dick und werde pro Jahr fünfmal erneuert, so ergibt sich pro m² eine Menge von 5 kg, oder pro ha von 50.000 kg! Selbst ein Bruchteil davon ist, auch wenn der Nährwert dieses Algen gemüses niedrig veranschlagt wird, noch eine respektable Nahrungsmenge.

Wir können an dieser Stelle nicht näher auf die umfangreiche Frage: Strömung, Bodenablagerung und Besiedlung eingehen. Eine spezielle Teilfrage soll uns jedoch noch eingehender beschäftigen, nämlich das Gebiet der *Strömungsgeschwindigkeiten von 3 cm/sek abwärts: In diesem Bereich fallen biologische Entscheidungen großen Ausmaßes*. In der oben zitierten Schrift „Flußbiologie usw.“ wurde er noch nicht behandelt.

Beginnen wir mit den Strömungsgeschwindigkeiten unter 1 cm/sek: Untersuchungen haben gezeigt, daß bei solchen Geschwindigkeiten die Bewegungen des Krebsplanktons, jedenfalls der größeren Tiere, nicht sichtbar beeinflußt werden. Steigt hingegen die Geschwindigkeit auf oder über 1 cm/sek, so kann sich das Krebsplankton nicht mehr voll gegen die Strömung halten; es macht zwar noch etwa normal große Schwimmsprünge, wird aber gleichzeitig (in Richtung der Strömung) unaufhaltsam abwärts gedrängt. Die „Verdriftungsgeschwindigkeit“ bleibt, wie ohne weiteres einleuchtet, zunächst noch unter der

Strömungsgeschwindigkeit des Wassers; bei einer Strömungsgeschwindigkeit von etwa 3 cm/sek erreicht die Verdriftungsgeschwindigkeit jedoch den gleichen Wert. Mit anderen Worten, es sind dann beim Krebsplankton keine freien Ortsbewegungen mehr wahrnehmbar. Makroskopisch unterscheidet sich nun seine Verdriftung nicht mehr von der Verdriftung toter organischer Partikel. (Sehr wahrscheinlich fällt die kritische Grenze von 3 cm/sek zusammen mit der Geschwindigkeit, welche Krebsplankter in *stillem* Wasser erreichen können.)

Die Folgerung hieraus: Ein See im limnologischen Sinn des Wortes wird sich in einer wassererfüllten (genügend tiefen!) Wanne immer dann entwickeln, wenn die *einseitig* gerichteten Strömungsgeschwindigkeiten in seinem Wasserkörper unter 1 cm/sek bleiben. Höhere Geschwindigkeiten sind kurzzeitig „zulässig“ (vgl. weiter unten!).

Weiterhin: Stau erwerben erst dann das Recht, „See“ genannt zu werden, wenn sie

den gleichen Bedingungen genügen! Nach unseren Untersuchungen entwickeln sich in Gewässern mit so geringer Strömungsgeschwindigkeit (in der limnologischen Praxis sollte das Mittel bei etwa 0,5 cm/sek liegen) stets auch eine sommerliche Schichtung (falls sie nicht zu flach sind). Als Beispiel eines solchen technischen Sees sei der *Rannastau* angeführt, in dessen 15–25 m tiefen unterem Gebiet sich ein eutropher See mit reichlich Krebsplankton entwickelte. Im Bereich von etwa 20 m Tiefe kommt es in den bodennahen Schichten zu totalem Sauerstoffschwund. (Abb. 1.)

Der Rannastau ist im Mittel 200 m breit, seine Wände sind steile, sein Querschnitt trapezförmig. Zur Berechnung der Querschnittflächen darf man als Breite (mittlere Breite des Trapezes) 120 m annehmen. Bei den Tiefen 5, 10, 15, 20 m errechnen sich somit Querschnittflächen von 600, 1200, 1800, 3600 m². Da der mittlere Zufluß aufgerundet 4 m³/sek beträgt, ergeben sich an den oben

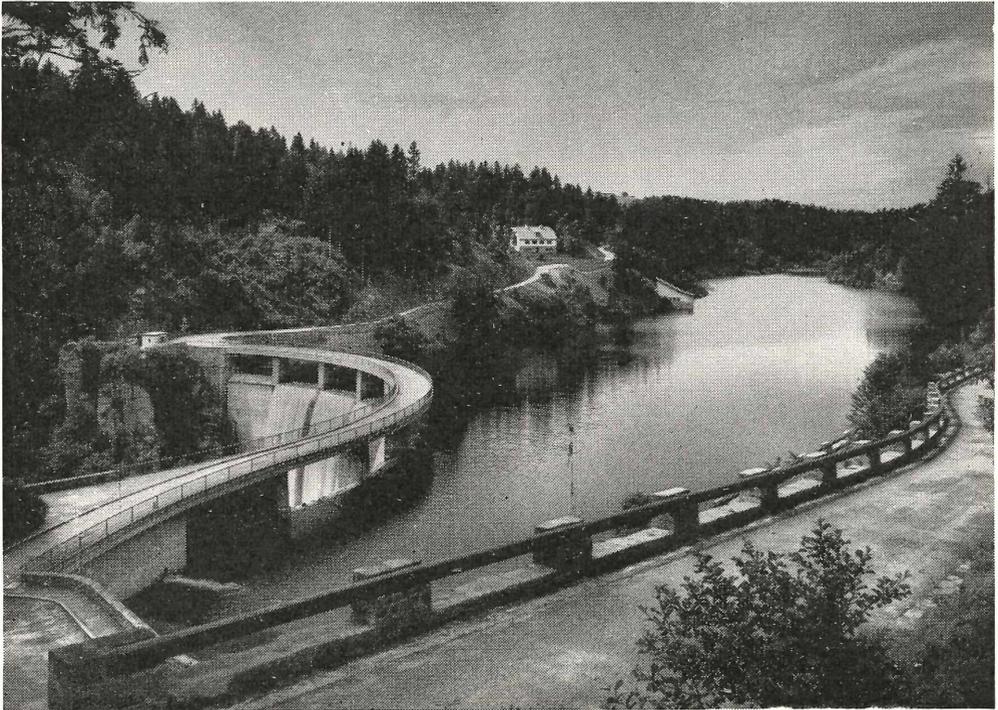


Photo: Oberösterr. Kraftwerke AG.

Abb. 1: Rannastau, westliches Mühlviertel, Oberösterreich.

angeführten Querschnittflächen (Berechnung s. weiter unten!) Strömungsgeschwindigkeiten von 1,5, 0,8, 0,4 und 0,2 cm/sek. Man sieht, daß die Geschwindigkeiten im unteren Teil des Rannastaus in den Bereich fallen, in welchem sich Krebsplankton ohne Schwierigkeiten behaupten kann — und hier findet es sich auch (und zwar massenhaft)!

Die Beobachtungen über die Abhängigkeit der Bewegungen des Krebsplanktons von der Strömung wurden in 10 m langen und 60 cm tiefen Trögen durchgeführt. Die Tröge waren mit einer beiderseits offenen Mittelwand versehen. Mittels Unterwasserdüsen wurden verschieden starke, entsprechend dem Bau der Tröge sich schließende Strömungen erzeugt (s. d. Abb.). Zu den Versuchen benutzt wurde jeweils frisch aus dem Mondsee gefangenes Plankton.

Eine eingehende *physiologische Analyse des Strömungsverhaltens des Crustaceenplank-*

tons fehlt noch; sie müßte sich auf die verschiedenen Arten, und innerhalb dieser, auf die verschiedenen Entwicklungsstadien erstrecken: Interessante und wichtige Ergebnisse sind zu erwarten, denn sicher werden sich z. B. die Nauplien oder die Copepodite anders als die erwachsenen Krebse verhalten.

Ehe wir „limnologisch“ fortfahren, sei hier für jene, welche sich eingehender für unsere Frage interessieren, ein Abschnitt über die Berechnung und Messung von Strömungsgeschwindigkeiten eingefügt.

III.

Messung und Berechnung der Strömungsgeschwindigkeiten

In jedem gegebenen Gerinne ist, wie ohne weiteres einleuchtet, die Strömungsgeschwindigkeit umso größer, je größer die Wassermenge ist, die pro Sekunde zufließt. Ande-



Photo: Dr. Wemsen

Abb. 2: In der Mitte des Vordergrundes ein Trog mit Längswand, wie er zu den Strömungsversuchen mit Krebsplankton benutzt wurde.

rerseits ist, bei gegebener Wassermenge/sek die Strömungsgeschwindigkeit umso geringer, je größer der durchströmte Querschnitt ist.

Besonders einfach ist die Berechnungsformel, wenn man die Wassermenge pro Sekunde in cbm und den Querschnitt in m² angibt. Die Geschwindigkeit in m/sek ist dann einfach gleich der Wassermenge in cbm/sek, geteilt durch den Querschnitt. Nennen wir die Geschwindigkeit v, die Wasserführung/sek Q und den Querschnitt F, so lautet die Berechnungsformel:

$$v \text{ (in m)} = \frac{Q \text{ (in m}^3\text{)}}{F \text{ (in m}^2\text{)}} \text{ —}$$

Meistens ist es erwünschter, die Geschwindigkeit in cm/sek zu erhalten. Man muß dann im Zähler mit 100 multiplizieren.

Die Formel zur Berechnung für v in cm lautet mithin:

$$v \text{ (in cm)} = \frac{Q \text{ (in m}^3\text{)} \times 100}{F \text{ (in m}^2\text{)}} \text{ —}$$

Wird Q in Liter/sek eingesetzt, so ergibt sich, wie auf der Hand liegt, v unmittelbar in mm.

Formel:

$$v \text{ (in mm)} = \frac{Q \text{ (in Litern)}}{F \text{ (in m}^2\text{)}} \text{ —}$$

Die Messung der Strömungsgeschwindigkeit kann mit dem hydrometrischen Flügel erfolgen; doch muß sie dann mindestens 10 cm/sek betragen. In vielen Fällen wird man Schwimmer benutzen. Bei Versuchen im Becken leisten Farblösungswölkchen gute Dienste. Sie haben den Vorteil, daß man solche Marken mittels Pipette an den verschiedensten Orten des Querschnitts anbringen kann. Falls man die Strömungsgeschwindigkeit mittels Driftkörpern mißt, muß man beachten, daß sie an der Wasseroberfläche um etwa ein Viertel größer ist als die mittlere Geschwindigkeit, bezogen auf den Gesamtquerschnitt.

IV.

Allgemeine Limnologie der Strömung

Die hier vorgebrachten Untersuchungen und Prinzipien sind bis dato mit der ökologischen Wirklichkeit noch nicht umfassend konfrontiert worden. Einige Überlegungen werden

jedoch zeigen, welche Möglichkeiten sich bei ihrer Anwendung eröffnen und welche allgemeinen Aussagen jetzt schon gemacht werden können.

Hinsichtlich der Frage: See oder Fluß sahen wir, daß sie entschieden wird durch die Strömungsgeschwindigkeit, d. h. durch das Verhältnis von Wasserführung: Gewässerquerschnitt. Die Querschnitte nun sind für ein gegebenes Gewässer einigermaßen gleichbleibende Größen, die es durchfließenden Wassermengen hingegen wechseln im großen Ausmaß. Mit ihnen ändert sich die Strömungsgeschwindigkeit.

Die Mittelwasserführung der Traun bei Ebensee z. B. beträgt 60 m³/sek (Niederwasser etwa 15 m³/sek). Bei dem letzten Hochwasser im August 1959 stieg ihre Wasserführung auf über 1000 cbm/sek.

Welche Bedeutung nun haben diese verschiedenen Wasserführungen für die Biologie des Traunsees? Nehmen wir vereinfachend an, der Traunsee sei 2,5 km breit und die von der zufließenden Traun betroffene Zone sei (im Sommer!) 10 m tief. F ergibt sich dann zu 25.000 m² und die Strömungsgeschwindigkeit bei Mittelwasser:

$$v = \frac{60 \times 100}{25.000} = \frac{6.000}{25.000} = 0,24 \text{ cm/sek}$$

Für das heurige August-Hochwasser hingegen errechnet sich:

$$v = \frac{1000 \times 100}{25.000} = 4 \text{ cm/sek (!)}$$

Unabhängig davon nun, wie genau die Voraussetzungen bezüglich des angenommenen Querschnittes zutreffen — sicher ist, daß Hochwässer der Traun im Traunsee einseitig gerichtete Strömungsgeschwindigkeiten erzeugen, gegen welche sich das Krebsplankton nicht zu halten vermag. (Gefährdet ist es besonders, wenigstens zu gewissen Zeitperioden, bei Nacht nach vollzogener Vertikalwanderung.)

So klar und wissenschaftlich befriedigend nun die Dinge bei physiologischer Betrachtung liegen mögen, so komplex werden sie in der wirklichen Natur: Im oben betrachteten Fall,

wie in jedem verwandten, spielt die Zeit eine wesentliche Rolle: Ein Wasserkörper, der eine Geschwindigkeit von 1 cm/sek hat, bewegt sich pro Tag nur um rund 1 km weiter. Man sieht sofort: *Die biologische Katastrophe, welche ein Hochwasser für einen See bedeuten kann, wird umso verheerender sein, je kürzer dessen Längsachse ist.*

Bei einer mittleren Geschwindigkeit des Traunsee-Epilimnions, in Richtung Seeausfluß, von 3 cm/sek würde es immerhin, da der See 16 km lang ist, fast eine Woche dauern, bis das gesamte Epilimnion hinausgedrängt wäre. So lange pflegen Hochwässer nicht anzuhalten. Mit bedeutenden Verlusten muß indessen auch bei kürzer andauernden Hochwässern gerechnet werden.

Stellt man ähnliche Überlegungen für den Hallstätter See an, der nur etwa halb so lang und halb so breit ist, wie der Traunsee, so ergeben sich noch viel ungünstigere Prognosen, während das Plankton des Attersees (doppelt so breit wie der Traunsee, Zufluß nur etwa ein Viertel so groß wie die Traun) auch bei extremem Hochwasser nie gefährdet ist.

Bemerkte sei hier noch, daß windbewirkte, in ihrer Richtung aber wechselnde Strömungen mit Geschwindigkeiten von mehreren cm/sek in Seen etwas ganz Normales sind. Sie führen in der Regel zu keinen nennenswerten Planktonverlusten, wohl aber zu \pm bedeutenden Verdriftungen (sowohl Verdünnungen als Anhäufungen).

Unsere Betrachtungen zeigen, daß, ähnlich wie in der ökologischen Pflanzengeographie, die Existenzfrage nicht durch die mittleren Verhältnisse, sondern durch die Extreme entschieden wird — im Falle des Zooplanktons in Seen und Stauseen, der wesentlichen Rolle des Zeitfaktors wegen, nicht gerade durch die äußersten Extreme (da diese meistens von zu kurzer Dauer sind), wohl aber durch die sozusagen mittleren.

Wie kompliziert die Dinge am natürlichen Standort liegen können, bei anscheinend völlig eindeutigen physikalisch-hydrographischen Gegebenheiten, zeigt folgender Hinweis: Je

glatter ein Flußboden ist, umso zuverlässiger darf man annehmen, daß auch die Strömungsgeschwindigkeiten in Bodennähe ähnlich wie im freien Wasser sind. Dies trifft etwa für Laufstau in deren Sand- und Schlickzone zu. In der Schotterzone hingegen sind am Boden die Strömungsverhältnisse zwischen den Steinen ganz andere als an deren Oberfläche. Die Forellen legen bekanntlich ihre Eier in solchen Gebieten ab. Da sie aber schon bei den geringsten Erschütterungen zu Grunde gehen würden, müssen sie dort (die Querschnittsströmung mag leicht eine Geschwindigkeit von 1 m/sek erreichen) unter dem Kies so geschützt sein, daß sie noch nicht einmal von Geschwindigkeiten von 1 cm/sek erreicht werden.

Auch Seen können, wie wir sahen, als strömende Gewässer mit minimalen bis geringen Strömungsgeschwindigkeiten begriffen werden — Geschwindigkeiten, die im Bereich von einigen mm/sek liegen und die Entfaltung und das dauernde Verbleiben von Zooplankton gestatten. Diese Auffassung mag zunächst einigermaßen gesucht und künstlich erscheinen. Es darf aber daran erinnert werden, daß wir auch im Falle des Grundwassers von Strömen und Strömungen sprechen, d. h., daß wir mit dem Begriff des Grundwassers den Begriff der Strömung fest verbinden. Mit Recht: Fließt doch das Grundwasser einseitig gerichtet, in bestimmten Betten. Wie aber steht es mit seinen Geschwindigkeiten? Meist betragen sie Bruchteile von Millimetern pro Sekunde, das sind wenige Meter pro Tag; 10 bis 20 m/Tag sind schon hohe Werte: Bei einem Grundwasserstrom z. B., der sich pro Tag einen Meter weiterbewegt, ergibt sich als Geschwindigkeit/sek 0,01 mm, also ein Wert, der sehr weit unter jenen liegt, die selbst durch einen nur mittelgroßen Zufluß im Epilimnion eines Sees hervorgerufen werden. Das Gleiche gilt auch für Grundwasser mit „hohen“ Strömungsgeschwindigkeiten, denn auch diese betragen höchstens einige Zehntel mm/sek.

*

Bei den „Erfolgen“ der Einwirkung wechselnder Zuflußmengen in Seen spielen zahlreiche Momente eine Rolle. Nicht zum wenig-

sten auch die Beckengestalt. In den Buchten z. B. werden leichte Rückströmungen bzw. Strömungsruhe vorherrschen. Dadurch wird das Crustaceenplankton nicht nur vor dem Verdriftetwerden geschützt, es kommt dort sogar nicht selten zu erheblichen Ansammlungen. Dies konnte im Mondsee wiederholt nachgewiesen werden.

Die Strömungen ändern sich sicher nicht nur mit den wechselnden Wasserführungen der Zuflüsse, sie ändern sich ebenso bei gegebener Zuflußmenge, mit der Jahreszeit, d. h. mit der Mächtigkeit der homothermen Zonen bzw. der Einschichtungstiefe des von außen kommenden Wassers. — Bei den Hochwässern ist der Wasserstand zu Beginn, d. h. die „primäre“ Aufnahme-Kapazität eines Sees, wichtig. Die Bedeutung seiner Länge und des Zeitfaktors wurde bereits hervorgehoben. Das Hypolimnion vor allem tiefer Seen wird im übrigen von den ganzen Fließerscheinungen während der Stagnationszeit kaum berührt.

Einige praktische Konsequenzen: In manchen Fällen werden die *Erbauer von Speicherstauen* sicher Rücksicht nehmen können auf die Wünsche der Biologie und der Fischerei. Soll ein Speicherstau fischereiwirtschaftlich wie ein See behandelt werden (und das wäre wünschenswert!), so wäre es wesentlich, daß die in ihm entstehenden Strömungen wenigstens in seinem Untergebiet 0,5 cm/sek nicht überschreiten.

Auch bei Laufstauen kann dafür gesorgt werden, daß es Gebiete gibt, in welchen sich Plankton entwickelt (und welches damit für das Aufkommen der Brut bestimmter Fischarten bedeutungsvoll ist). Wir meinen Altwässer (d. h. deren Erhaltung!) oder andere relative Stillwassergebiete, die durch Längsleitwerke geschaffen werden. In solchen Stillwassergebieten sollte die Wasserzufuhr von oben so geregelt werden, daß dem Krebsplankton keine Verdriftungsgefahr droht.

V.

Noch einiges zur Frage der oberen Grenzgeschwindigkeiten

Eine Strömungsgeschwindigkeit von zwei Meter ist in der freien Natur eine, zu-

mindest auf längere Dauer, unübersteigbare Grenze. Warum? Weil bei dieser Geschwindigkeit ein Fluß sein Bett anzugreifen, d. h. zu erweitern beginnt. Den Schlepp- und Stoßkräften, die sich bei Strömungsgeschwindigkeiten von über 2 m/sek entwickeln, sind die normalen natürlichen Flußufer und Flußsohlen nicht gewachsen. Die Erweiterung eines Flußbettes hält so lange an, bis dessen Querschnitt so groß geworden ist, daß er in Harmonie ist mit dem Strömungsgesetz, das, wie wiederholt sei, eine obere Grenze im Gebiet von 2 m/sek „vorschreibt“ Hochwässer verletzen, wenn man so sagen darf, dieses Gesetz, jedoch nur vorübergehend.

Auch der Mensch hat oft genug schwer dagegen gesündigt und Flüssen bei Regulierungen und Begrädnungen vorübergehend zu hohe Strömungsgeschwindigkeiten aufgezwungen. Sohleneintiefungen, verbunden mit Senkungen des Grundwasserspiegels. Versteppung des Landes, waren die Folge. Um dem vorzubeugen, griff man zum letzten, scheußlichsten Mittel: Man zwängte den Fluß in betonierte Kanäle. Vom Standpunkt der Fischerei (aber auch der Naturpflege) gesehen, ist dies die schlechteste Art, Flüsse zu verbauen. Seit längere Zeit schon bemüht man sich darum, „natürliche“ Hochwasserschutzformen zu finden, z. B. indem man die Querschnitte hinreichend groß macht, oder indem man Steilstrecken durch „*Rampensperren*“ ihre Gefährlichkeit nimmt. (Näheres dazu vgl. S. 80.)

Übrigens kommen im Gebirge nicht selten natürliche „Kanäle“ vor, nämlich, wenn Bäche mit großem Gefälle ihre Betten total ausräumen und über den „reinen“ Felsböden dahinströmen. Zu solchen Zuständen braucht es, auch wenn die Strömungsvoraussetzungen gegeben sind, jedoch nicht immer zu kommen. Bei stark geschiefeführenden Bächen z. B. kann das nachdrängende Geschiebe bei fallendem Hochwasser die Flußböden wieder eindecken.

Oben rechts: DER VETTERBACH BEI THALGAU (IM ÖSTLICHEN TEIL DES LANDES SALZBURG) Photo: Dr. Brushek

Beispiel eines Baches der oberen Forellenregion. Im Bach grobe Blöcke. In Bachbetten dieser Art wird die Strömungsgeschwindigkeit sehr stark herabgesetzt. (Gegenüber einem glatten Betonkanal mit gleichem Gefälle auf $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{5}$; siehe dazu die Tabelle der Rauheits-Beiwerte Seite 84.)

Mitte: RAMPENSPERRE IM PAHNHUBERBACH BEI WARTBERG AN DER OBER-ÖSTERREICHISCHEN KREMS. Photo: Dr. Benda

Erst bei näherem Zusehen bemerkt man, daß in dieses Bachbett von Menschenhand eingegriffen worden ist. Tatsächlich handelt es sich um die Verbauung (mittels sogenannter Rampensperre) einer Strecke mit so starkem Gefälle, daß bei Hochwasser fortlaufend Uferausbrüche erfolgten. Die hier durchgeführte wünschbare naturnahe Verbauung setzt die Strömungsgeschwindigkeit gegenüber einem glatten Gerinne auf $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ herab.

Unten: DIE VERBAUTE ENNS BEI RADSTADT

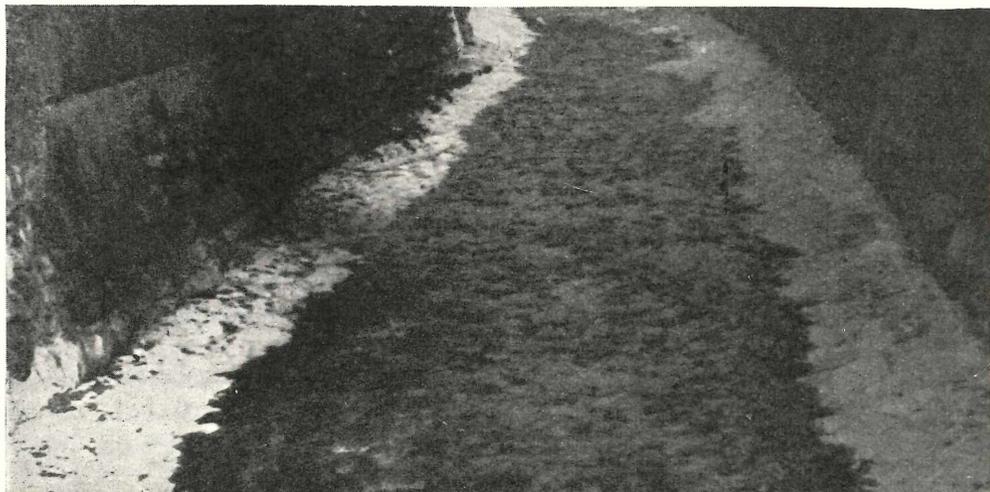
Die Natur wurde dem Regulierungszweck geopfert. Photo: Dr. Brushek

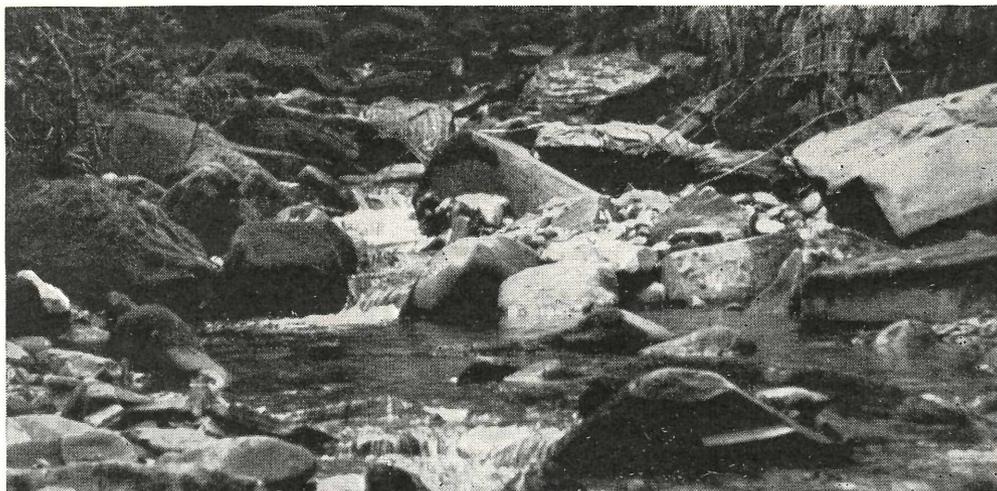
Links unten: DER UNTERSTE TEIL DES LANGBATHBACHES BEIM DURCHGANG DURCH DAS STÄDTCHEN EBENSEE Photo: Dr. W. Einsele

Auch hier wurde das Flußbett in einen Kanal verwandelt. In Fällen wie diesem (in welchen es sich um den vollen Hochwasserschutz einer Siedlung handelt) müssen solche Verbauungen — wie es sich von selbst versteht — hingenommen werden. Die Bachsohle ist, was auf der Abbildung nicht so ohne weiteres zu sehen ist, mit unregelmäßigen Natursteinplatten gepflastert. Der Anblick eines so gestalteten Kanals ist im übrigen wesentlich erträglicher als der einer glatten Betonrinne.

Im abgebildeten Kanal sind die Strömungsgeschwindigkeiten bei höheren Wasserführungen des Langbathbaches, welche den Geschiebetrieb in Gang bringen, so groß (ungefähr 3 m), daß die Bachsohle frei von jeglichen Ablagerungen bleibt. Lediglich am Rande finden sich schmale Schotterstreifen.

Der Langbathbach mündet in die Traun und führt zunächst dieser sein Geschiebe zu. Bei höheren Wasserführungen wird es dann durch die Traun dem nur wenige hundert Meter entfernten Traunsee zugeführt.

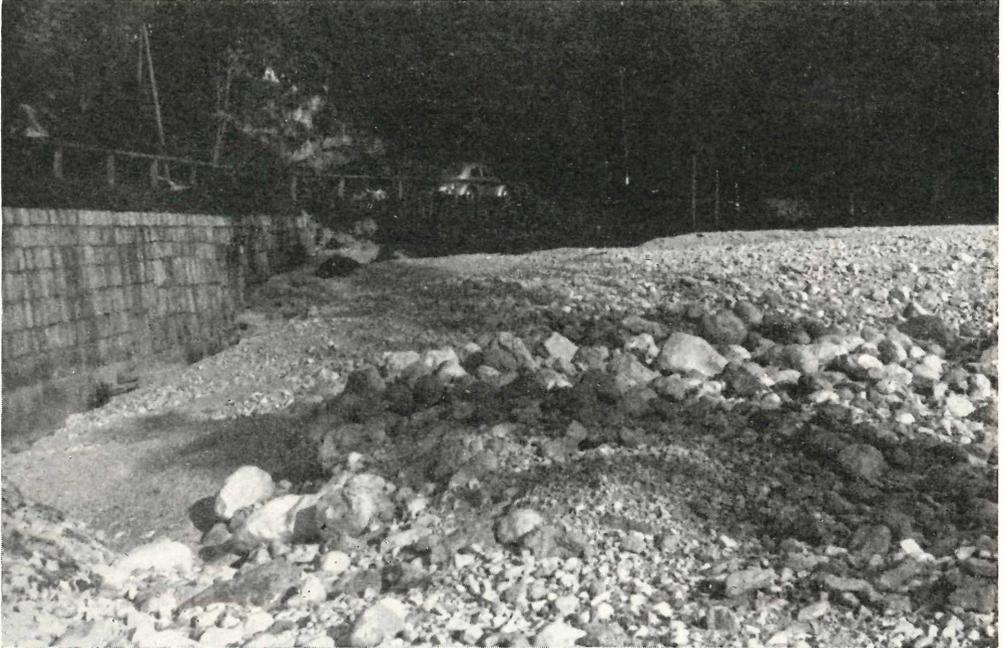




Oft mag man auch (vor allem bei Niederwasser) in Bächen geringere Strömungsgeschwindigkeiten finden als der Beschaffenheit des Sediments entspricht. (Dieses ist tatsächlich gröber als es sein „sollte“). Die Erklärung ist einfach: 1. Bei Niederwasser verringert sich bei gleichbleibendem Gefälle die Strömungsgeschwindigkeit. 2. Die Bäche führen dann in der Regel weder Geschiebe noch Geschiebe und die Sedimentation jeglicher Art ruht praktisch vollständig.

*

Um die weiter unten folgende „große“ Tabelle voll verstehen zu können, ist es notwendig, noch ein weiteres sehr wesentliches Phänomen der Fließgewässer-Hydrographie zu beleuchten — nämlich die Wirkungen des Flußgefälles und der Wasserführungen (bzw. der Flußquerschnitte) auf die Strömungsgeschwindigkeit. Wie wir sehen werden, können die hierher gehörigen Effekte bewirken, daß kleine Gebirgsbäche und große Ströme in die gleiche Strömungsgeschwindigkeitsrubrik eingeordnet werden müssen.



MITTELGEBIET DES WEISSENBACHES (ZUBRINGER ZUM ATTERSEE) DREI WOCHEN NACH DEM KATASTROPHALEN HOCHWASSER MITTE AUGUST 1959.

Dem aufmerksamen Beobachter fällt vor allem auf, daß sich hier auf engem Raum die verschiedensten Feinheits- bzw. Grobheitsgrade von Flußablagerungen vorfinden. Es ist kaum ein Bild denkbar, das die prägende und sortierende Kraft des fließenden Wassers besser illustrieren könnte. Aus den einzelnen Ablagerungen, die sozusagen die zurückgelassenen Ausweise der Hochwasserströmungen darstellen, kann man die ehemaligen Strömungsgeschwindigkeiten leicht rekonstruieren: Das grobe Geschiebe im Mittelgrund weist auf Strömungsgeschwindigkeiten von gegen 2 m hin, an anderen, höher gelegenen Stellen war die Strömungsgeschwindigkeit bzw. die Schleppkraft des Weißenbaches abgestuft geringer gewesen (siehe dazu Tabelle S. 86.)

Die Steinmauer, welche die Straße schützt, hat den Gewalten der Fluten standgehalten. Man kann sicher sagen, daß ohne diese Mauer die Straße unterspült und weggerissen worden wäre.

Photo: Dr. W. Einsele



DER WEISSENBACH EIN STÜCK WEITER OBERHALB

Die Blöcke auf der rechten Bildseite sind kein im Zuge der Hochwassereinwirkung herangebrachtes Geschiebe. Vielmehr handelt es sich um eine Blockschüttung, welche bei der Verbauung des Weißenbaches an dieser Stelle die Rolle des Uferschutzes übernehmen sollte. Mit einigen Verlusten (d. h. mit einigem Durcheinandergeraten des Schutzsteinwurfes) konnte dieser seine Rolle tatsächlich auch erfolgreich durchstehen.

Besonders aufschlußreich und bemerkenswert an diesem Bild sind die Sandablagerungen im Vordergrund: Sie beweisen, daß die grobe Blockschüttung die Schleppkräfte des Wassers stark reduzierte; man kann sogar ungefähr sagen, um wieviel: Der Sand wurde bei einer Strömungsgeschwindigkeit von etwa 40 cm/sek. abgelagert. Durch die Blockschüttung war eine Bremsung der Geschwindigkeit auf etwa $\frac{1}{3}$ erfolgt. Sie dürfte mithin oberhalb der Schüttung an der linken Bachseite (Gleithang) zur Zeit der Sandablagerung 1,2 m/sek betragen haben. Vorher muß sie höher (gegen 2 m/sek) gewesen sein, da sonst die Blockschüttung nicht in — wenn auch nur geringfügige — Bewegung geraten wäre.

Photo: Dr. W. Einsele

VI.

Die Strömungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Wasserführung und dem Gefälle

Die Hydrographen haben schon lange gefunden, daß die Strömungsgeschwindigkeit eines Fließgewässers nicht nur — wie es sich von selbst versteht — vom Gefälle, sondern sehr stark auch vom Querschnitt eines Flusses abhängt. Kleine Gerinne entwickeln bei gleichem Gefälle viel geringere Geschwindig-

keiten als große. Die Donau z. B. hat auf österreichischem Boden ein Gefälle von nur 40 cm/km. Die mittlere Wasserführung liegt bei etwa 2000 m³/sek. Unter diesen Voraussetzungen wird eine Strömungsgeschwindigkeit von gegen 2 m/sek erreicht. Beim gleichen Gefälle würde ein kleiner 2 m breiter und 30 cm tiefer Bach nur eine Geschwindigkeit von $\frac{1}{4}$ m/sek haben und auch ein 20 m breiter und 60 cm tiefer Fluß würde es nur auf eine Geschwindigkeit von 0,5 m/sek bringen.

Bei großen Strömen kann es im übrigen gar kein Gefälle geben, was über etwa 0,5 m/km hinausgeht, weil dann Strömungsgeschwindigkeiten erreicht würden, welche Uferanbrüche und Sohlen-Eintiefungen, und damit eine Vergrößerung des Flußquerschnittes zwangsläufig bewirken würden.

*

Es ist bisweilen versucht worden, die sogenannten *fischereilichen Regionen* auf die Strömungsgeschwindigkeit zu basieren. Ein solches Beginnen ist völlig aussichtslos, da sich die Strömungsgeschwindigkeiten eines Flusses flußabwärts keineswegs gleichsinnig ändern: Folgt man einem langen Fluß von der Quelle bis zu seiner Mündung ins Meer, so pflegt er, bei einem Gefälle von mehreren Prozenten, mit einer Geschwindigkeit von 1 bis 2 m/sek zu beginnen. Talabwärts gehen die Geschwindigkeiten dann

meist zurück auf 0,6 bis 1 m. Wird der Fluß noch mächtiger (etwa in der unteren Äschenregion), so steigt die Geschwindigkeit, bei zunehmendem Flußquerschnitt und sich stetig vermindern dem Gefälle, wieder an und erreicht in der Barbenregion ihr Maximum. (Beispiele: österreichische Donau und österreichischer Inn!). Im Unterlauf der großen Ströme, oft auch bei kleinen, nimmt dann die Strömungsgeschwindigkeit wieder ab. Im Gebiet der Mündung der großen Flüsse ins Meer ist sie bei minimalem Gefälle in der Regel sehr nieder.

Wir können an dieser Stelle nicht weiter auf diese die Ökologie der Strömungsgeschwindigkeiten recht komplizierenden Verhältnisse eingehen. In der folgenden Tabelle sei jedoch an drei angenommenen Fällen anschaulich gemacht, wie sich die Faktoren Gefälle und Flußquerschnitt auf die Strömungsgeschwindigkeit auswirken.

Tabelle 1

Beispiele der Auswirkung des Flußgefälles und des Flußquerschnittes auf die sich herausbildenden Strömungsgeschwindigkeiten

Gefälle (in Meter pro km)	Fall 1		Fall 2		Fall 3	
	Flußbreite 200 m Flußtiefe 4 m		Flußbreite 20 m Flußtiefe 0,5 m		Flußbreite 2 m Flußtiefe 0,25 m	
	v (in m)	Q (in m ³)	v (in m)	Q (in m ³)	v (in m)	Q (in m ³)
0,5 (= 0,5 ‰)	1,5	1200	0,5	5	0,25	0,125
1,0 (= 1 ‰)	(2,5	2000)	0,6	6	0,35	0,175
2,0 (= 2 ‰)	—	—	0,8	8	0,50	0,250
5,0 (= 5 ‰)	—	—	1,3	13	0,70	0,350
10,0 (= 10 ‰)	—	—	1,8	18	1,00	0,500
(= 1 ‰)						

Zur Tabelle: Bei den nach der Strickler'schen Formel errechneten Geschwindigkeiten der Tabelle sind die Wirkungen der Beschaffenheit der Bettwandungen bereits einkalkuliert: Bei angenommen *glattem* Betongerinne würden etwa die dreifachen Geschwindigkeiten herauskommen. In den diesbezüglichen Tabellen der Hydrographen findet man bezogen auf Zementglattstrich oder gehobeltes Holz

oder glatten Fels = 1, als „Rauhigkeitsbeiwerte“:

Für Felsblöcke sehr grob	= 0,15—0,20
Felsblöcke, mittel	= 0,20—0,28
kopfgroße Steine	= 0,25—0,30
Kies grob	= 0,35
Kies mittel	= 0,40
Feiner Kies, Sand	= 0,50

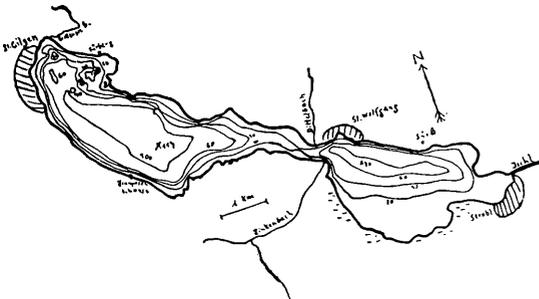
VII.

Zusammenfassung, abschließende kritische
Anmerkungen

Es wird kaum jemand bestreiten, daß die Zusammenfassung aller Gewässer unter dem Oberbegriff der Strömungsgeschwindigkeit *formaltheoretisch* sehr zu befriedigen vermag. Dies vielleicht umso mehr, als die Grenzen des Reiches der Strömungsgeschwindigkeiten durchaus natürlich sind — beginnend mit dem abflußlosen See und endend mit den Gebirgsbächen und den Wasserfällen. Auch sind sie *innerhalb* dieser Grenzen in der Natur lückenlos gegeben: Ihr System ist ebenso abgerundet wie vollständig.

Was mögliche Widerstände anlangt, die sich der „Definition“ von Fluß und See mittels desselben Oberbegriffs entgegenstellen mögen: Es gibt Gewässer, welche die beiden Typen in *einer* morphologischen Einheit umfassen: Speicherstau, die in langgestreckten Tälern mit steilen Wänden angelegt werden, sind solche Gewässer. In ihrem oberen Teil sind sie Fließgewässer, d. h. schichtunglos und ohne Zooplankton; der Mittelteil zeigt Übergangscharakter und im unteren Teil entwickelt sich ein See, d. h. ein geschichtetes „stehendes Gewässer“, dessen Freiwasserzone von Zooplankton erfüllt ist! (Beispiel: der S. 75 beschriebene Rannastau.)

Ein weiteres, man ist versucht zu sagen sensationelles Beispiel ist der Wolfgangsee: Der jährlich rund 7000 m³ Geschiebe einbringende Zinkenbach hat im Lauf der letzten 10.000 Jahre seinen Mittelteil so stark verengt und verflacht (Restbreite gegenwärtig etwa 250, restliche mittlere Tiefe etwa 10 m), daß dort die Querschnittsfläche nur noch rund 2500 m² beträgt (vgl. die neben-



stehende Skizze). Würde der Wolfgangsee von der Traun durchflossen, so wäre seine etwa 1 km lange See-Enge bereits jetzt ein — Potamoplankton führender (!) — Fluß: In längstens 300 weiteren Jahren wird der Querschnitt der See-Enge sich auf jeden Fall so stark verringert haben, daß die seeeigenen Zuflüsse ausreichen werden, solche Zustände zu schaffen.

Es versteht sich eigentlich von selbst, daß das hier Vorgebrachte zum nicht geringen Teil als Idee und Anregung zu werten ist. — So vollständig künftige physiologische Untersuchungen das Strömungsverhalten des Zooplanktons aufklären mögen — die Ökologie dieser Erscheinungen wird schon deshalb immer weitgehend problematisch bleiben, weil es unmöglich ist, die Strömungsgeschwindigkeiten in einem See fortlaufend und an genügend Punkten zu *messen*. Sie aus den zufließenden Wassermengen und aus dem Seequerschnitt zu berechnen, ist immer eine unsichere Sache, weil man ja nicht wissen kann (ohne Messung!), wo genau das einem See zufließende Wasser sich in diesem weiterbewegen wird. Sicher kann man nur soviel sagen — es war weiter oben davon schon die Rede —, daß die in Betracht kommenden Querschnitte sich vor allem jahreszeitlich stark verändern: Im Winter bei aufgehobener Schichtung sind sie sicher am größten, am kleinsten hingegen im Frühsommer, bei stabilem aber noch dünnem Epilimnion.

Vielleicht wird es sogar so kommen, daß man, wenn die Physiologie der uns beschäftigenden Phänomene einmal genau bekannt ist, die Strömungsgeschwindigkeiten aus der Planktonverbreitung erschließen wird!

Wenn hier versucht wurde, dem See den Fluß unterzuordnen, so hat dies seine Entsprechung auch in der großen Naturordnung. Die bewirkende Schicksalskraft des Sees ist ein zugehöriger Fluß. Der See ist vergänglich, wenn auch in erdgeschichtlichen Zeitdimensionen — *der Fluß aber bleibt!*

Als kurze „Zusammenfassung“ folgt eine Übersichtstabelle, in welcher die Familie der Strömungsgeschwindigkeiten und die zugehörigen Gewässer in systematischer Abfolge einander zugeordnet sind.

Tabelle 2: Die Familie der Strömungsgeschwindigkeiten

und die diesen zugeordneten Gewässer. (Es gelten hier nur jene Strömungen, welche einseitig gerichtet sind und durch fließendes oder zufließendes Wasser hervorgerufen werden.)

Geschwindigkeitsbereich	Gewässergruppe	Biologisch-hydrographische Charakteristik	
Null	Abflußlose Seen; Himmelsteiche.	Reich des Planktons Gebiete der Feinst-Sedimente (lichtgrau — tonig bis schwarz — schlammig)	Wenn sie genügend tief sind, so bilden diese Gewässer im Sommer die für Seen typische vertikale Dreizonengliederung (Schichtung) aus.
0,01—0,5 mm/sek	Grundwasserströme; Schwach durchflossene Seen und Teiche.		
0,5—2 mm/sek	Seen mit mäßigen Zuflüssen; Seen im Winter; Speicherstau und Talsperren.		
2—10 mm/sek	Kräftig bis stark durchflossene Seen; Talsperren, Speicherstau und Teiche.	Grenze der Krebsplanktonentfaltung	
1—3 cm/sek	Seen bei Hochwasser; Innengebiet von Fluß-Seen; staumauerferne Teile von rinnenförmigen Speichern.	Hauptbereich der Zooplanktonverdriftungen	
3—20 cm/sek	Untergebiet vieler Laufstau-; Mündungsgebiet von Niederungsflüssen; Kleine Niederungsbäche; Mühlbäche.	Schlickzone der Laufstau. Sedimentation großer Mengen organischen Detritus. Sehr reiche Bodentierwelt (Tubifex, Pisidien, Chironomiden) in Mengen bis zu mehreren tausend kg/ha Grenze der Schlick- und Tonsedimentation; Kritische Grenze der Schleppkraft des fließenden Wassers (siehe Text auf Seite 74.)	
20—40 cm/sek	Niederungsgerinne; Sandzone von Laufstauen.	Arm an Pflanzen und Tieren.	
40—60 cm/sek	Übergangszonen Grobsand bis Feinkies;	Insektenlarven, insbesondere Chironomiden zunehmend.	
60—120 cm/sek	a) Forellen- und Äschen-gewässer im Hügel- u. Gebirgsland; b) Flüsse mit geringem Gefälle, aber relativ großem Querschnitt (Barbenregion).	Gebiet der kleinen, mittleren und gut faustgroßen Kiese. Tierwelt: Eintags-, Köcher- und Steinfliegenlarven vorwiegend.	

1.20—2 m/sek	a) Gebirgsbäche; b) Mittellauf der großen Ströme.	Sediment: Grobkies, größere Steine. Im <i>Gebirgsbadgebiet</i> : Blöcke. Strömungsliebende Insektenlarven. <i>Am Boden der großen Ströme</i> : Insektenlarven spärlich; Hauptnahrung der Fische (Nasen, Barben); der Aufwuchs auf den Steinen.
2 bis ca. 3 m/sek	a) Gebirgsbäche bei Hochwasser; b) Große Ströme bei H. W.	Auch Grobschotter und Blöcke werden mitgeführt. Uferzerstörungen. Sohleneintiefung.
über 3 m/sek	a) Wasserfälle; b) Flüsse bei Katastrophenhochwasser.	

DR. J. HEMSEN:

D. W. Tucker's neue Theorie über die Laichwanderung des Aales

Seit der Zeit, zu welcher Wissenschaft betrieben wird, können wir es immer wieder erleben, daß neue Hypothesen und Theorien aufgestellt werden und alte, scheinbar gesicherte „Wahrheiten“ im Lichte neuer Forschungsergebnisse umgestoßen und neu aufgebaut, oder zumindest abgewandelt werden müssen. Freilich haben auch die Vertreter der neuen Theorien um die Anerkennung noch lange zu kämpfen, denn bis sämtliche Argumente und Gegenargumente von allen mit einer bestimmten Frage befaßten Wissenschaftlern vorliegen und der Streit ausgefochten ist, können Jahre und Jahrzehnte vergehen.

Eine solche neue Theorie wurde nun von D. W. Tucker vom Britischen Museum über die Laichwanderung des Aales, und zwar des europäischen und des amerikanischen, entwickelt. Wir möchten unsere Leser an dieser höchst interessanten wissenschaftlichen Diskussion durch die der bisherigen Lehrmeinung entgegenstehenden Meinung des britischen Wissenschaftlers teilnehmen lassen. Wer den Aufsatz „Über die Biologie des Aales“ in Heft 4/1958 noch einmal zur Hand nimmt, wird auf der Karte über das Verbreitungsgebiet der Laichplätze feststellen können, daß beide Aalarten in benachbarten, sich überschneidenden Gebieten laichen sollen. Dies wurde von dem Dänen Johannes Schmidt in mehreren Forschungsreisen festgestellt, indem er mit Spezialnetzen zahlreiche Aallarven verschiedenen Alters fing.

Das Hauptunterscheidungsmerkmal der beiden Arten besteht in der Zahl der Wirbelkörper und damit auch der Muskelsegmente, die beim amerikanischen Aal im Mittel 107, beim europäischen dagegen 115 beträgt. Tucker stellt nun die Behauptung auf, daß beide Arten ein und dieselbe seien! Bei Forellen wurde im Versuch festgestellt, daß eine Verminderung der Wirbelzahl eintritt, wenn sie in einem bestimmten Entwicklungsstadium höheren Temperaturen ausgesetzt werden, als andere; das Laichgebiet der (bisherigen) amerikanischen Aale weist in den oberen Schichten Temperaturen bis zu 25° C auf, während im Laichgebiet der „Europäer“ niemals Temperaturen über 20° C gemessen wurden, wodurch gewissermaßen das wichtigste Unterscheidungsmerkmal beider Arten als physiologische Entwicklungsdifferenz keine Artentrennung mehr ermöglichen würde.

Der europäische Aal soll also darnach ebenfalls ein Nachkomme der aus amerikanischen Gewässern stammenden Elterntiere sein. Diese sind für ihre relativ kurze Wanderung zum Sargassomeer viel besser ausgerüstet, als die aus Europa stammenden: Sie sind viel größer und schwerer, alle Organe sind funktionsfähig geblieben und sie unterscheiden sich nur geringfügig von den in Flüssen gefangenen Exemplaren, da auch die Laichreife noch nicht so weit fortgeschritten ist. Der europäische Wanderaal ist dagegen kleiner, seine Geschlechtsorgane bereits nahezu fertig ausge-

Im letzten Heft von „Österreichs Fischerei“ (Heft 8/9 August-September 1959) bitten wir folgende Druckfehler zu berichtigen:

Auf Seite 75, 2. Absatz, 2. Zeile, muß es heißen **„steil“** und nicht „steile“

Auf Seite 85, rechte Spalte, vorletzter Absatz, muß es heißen „Wenn hier versucht wurde, den See dem Fluß unterzuordnen. Im gleichen Absatz, 5. Zeile, muß es heißen **„sein“** und nicht „ein zugehöriger Fluß“

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Österreichs Fischerei](#)

Jahr/Year: 1959

Band/Volume: [12](#)

Autor(en)/Author(s): Einsele Wilhelm

Artikel/Article: [Die Strömungsgeschwindigkeit als beherrschender Faktor bei der Gestaltung der Gewässer 73-87](#)