©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

ÖSTERREICHS FISCHEREI

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

3. Jahrgang | Oktober 1960 | Heft 10

Dr. Jens Hemsen, Bundesinstitut für Gewässerforschung und Fischereiwirtschaft, Scharfling:

Fische und Turbinen

Der vorliegende Aufsatz befaßt sich mit einem in den letzten Jahren sehr aktuell gewordenen Thema, das sicher für alle unsere Leser bedeutungsvoll und interessant ist. Wir haben uns daher bemüht, den ganzen Fragenkreis so verständlich wie möglich zu gestalten. Da dieser Aufsatz aber auch für Biologen, Techniker und Sachverständige gedacht ist, war es unerläßlich, sich auch mathematischer Formeln zu bedienen. Die jeweils im Anschluß gebrachten Schlußfolgerungen sind jedoch so allgemeinverständlich gehalten, daß der Zusammenhang des ganzen Aufsatzes auch bei Unkenntnis der Formelsprache (d. h. beim Übergehen der betr. Absätze) nicht verlorengeht.

Die zahlreichen bereits in Betrieb stehenden, im Bau befindlichen, oder geplanten Laufkraftwerke an unseren größeren Flüssen lassen immer wieder bei Fischern die Frage auftauchen, in welchem Zustand Fische, die durch die Turbinen schwimmen, diese wieder verlassen. Zunächst muß darauf hingewiesen werden, daß die verschiedentlich zu hörende Meinung, flußabwärts schwimmende Fische könnten eventuell vorhandene Fischpässe benutzen, völlig unzutreffend ist. Fische, die aus dem Paß unten herausschwimmen, sind solche, die von unten in den Paß eingeschwommen sind, ihn aber nicht ganz durchstiegen haben und umkehrten.

Das Problem von durch Turbinen geschädigten Fischen tauchte zuerst in Deutschland und in der Schweiz auf und von dort stammen auch die ersten Untersuchungen in dieser Sache. Der Grund, warum dieses Problem für uns nicht dasselbe Gewicht hatte, war der, daß die Fischer sich in erster Linie über die schweren und tödlichen Schäden an Aalen beschwerten, die bekanntlich im ausgewachsenen Zustand (60—80 cm!) in Massen Flüsse, die zum Atlantik und seinen Nebenmeeren führen, abwärtswandern. Dadurch aufmerksam geworden, dachte man auch an die abwärtswandernden Junglachse, die aber, wie Versuche bewiesen, praktisch unbeschädigt durch Wasserkraftanlagen verschiedener Typen kamen. Somit erwies sich die anfänglich aufgetauchte Vermutung als irrig, die starken Druckschwankungen in den Turbinen könnten die Hauptschädigung verursachen.

Wie verschiedenorts durchgeführte Experimente bewiesen, war die Schädigung von Fischen von folgenden Faktoren abhängig, was nun auch durch nachträgliche Berechnungen ohne weiteres einleuchtend ist: Von der durchschnittlichen Fischlänge, von der Turbinentype, ihrer Umdrehungszahl pro Minute, der Wassermenge, die bei gleichbleibender Drehzahl durch die Turbine geschickt wird, der Wassergeschwindigkeit, mit welcher die Turbine durchströmt wird, die wiederum von der Fallhöhe abhängig ist, und schließlich dem Auftreffwinkel, mit dem das Wasser auf die Schaufelkanten prallt.

Halten wir uns zunächst schematisch vor Augen, wodurch die in einem Flußstau vorhandene Kraft gewonnen wird, wobei wir den Vorgang nur rein äußerlich betrachten: Eine mehr oder weniger mächtige Wassersäule wird unter Druck gegen ein Rad mit radial

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

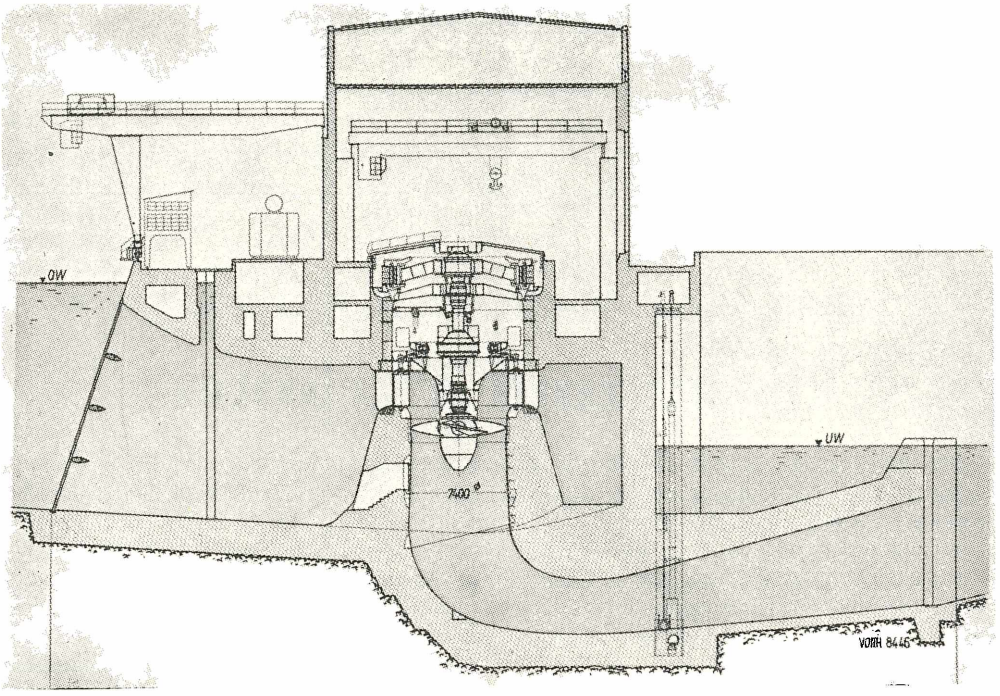

Abb. 1: *Einbau einer Kaplanturbine (Jochenstein)*

sitzenden, schräg gestellten Schaufeln gepreßt, wodurch dieses in Umdrehung versetzt wird. Diese Umdrehungen werden durch eine mit dem Schaufelrad verbundene Achse auf einen Generator übertragen, der die gewünschte elektrische Energie liefert. Verfolgen wir nun den Weg des Wassers genauer: Nach Passieren von Grob- und Feinrechen kommt die Wassersäule, zunächst durch das Leitwerk, stillstehende Leitschaufeln, die dem Wasser nur die gewünschte Richtung auf die sich drehenden Schaufeln des Rades geben; diese Leitschaufeln sind, da das Wasser hier noch keine hohe Geschwindigkeit hat, für die Fische ungefährlich. Nun wird aber die Wassersäule im Turbinenschacht durch die schräggestellten Schaufeln, die auf der Radnabe sitzen, immer wieder durchschnitten — derselbe Effekt, den die Schraube eines Dampfers hervorbringt. Hier wird bereits klar, warum die Turbinenbauart eine Rolle spielt: Kaplanturbinen z. B. haben meist nur vier bis sieben (selten mehr, Rohrturbinen auch manchmal nur drei) Schaufeln, Francisläufer dagegen ca. drei- bis viermal soviel! Außerdem werden heute Kaplanturbinen dort eingesetzt, wo eine große Wassermenge bei relativ geringem Gefälle zur Verfügung steht, die Umdrehungsgeschwindigkeiten sind relativ gering und betragen bei den großen Flußkraftwerken etwa 60 bis 100 Umdrehungen in der Minute. Francisturbinen verwendet man hingegen dort, wo die Wassermenge geringer ist und ein größeres Gefälle zur Verfügung steht (vgl. die Zusammenstellung am Schluß). Diese Räder drehen sich, besonders bei neueren Mittel- und Hochdruckanlagen, wesentlich schneller — bis zu 1000 U/min. Eine einfache Rechnung ergibt somit, daß der Wasserstrom z. B. bei einer älteren Propeller- oder Kaplanturbine mit vier Schaufeln in einer Minute etwa 250mal durchschnitten wird, bei einer neueren Francisturbine jedoch (bei willkürlich angenomenen 16 Schaufeln) 16.000mal! Unberücksichtigt ist hier noch die Wassergeschwindigkeit und -menge, aber bereits aus dieser Gegenüberstellung ergibt sich eine wesentliche Mehrgefährdung bei den Francis-Läufern.

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

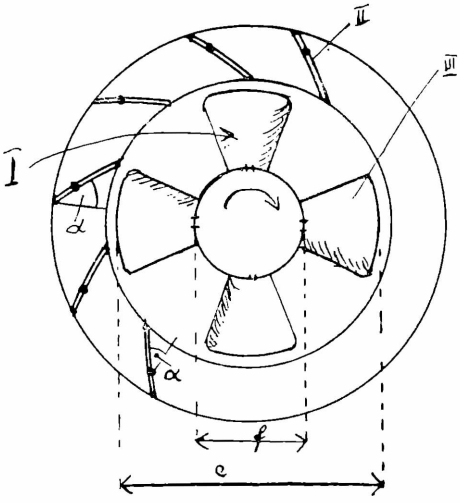

Abb. 2: *Kaplanturbine in der Draufsicht.*
e = Äußerer Laufraddurchmesser
f = Durchmesser der Nabe
α — Ablenkungswinkel
I = Wasserstrom
II = Verstellbare Leitschaufeln
III = Verstellbare Laufradschaufeln

Bei allen diesen Überlegungen kommt man also zu dem Schluß, daß es sich zunächst um das Verhältnis der Länge der Wassersäule zwischen zwei Schaufelschlägen zur Länge des durchschwimmenden Fisches handelt.

K. v. Raben (Hannover), experimentierte und berechnete die auftretende und zu erwartenden Schädigungsmöglichkeiten ziemlich genau, und stellte Formeln zur Verfügung, nach denen man mit den Daten der Turbinen die Schädigung an Fischen ungefähr berechnen kann, was wir an Beispielen erläutern wollen (die mathematischen Ableitungen der Formeln wollen wir unseren Lesern hier ersparen).

Setzen wir für die Berührung mit einer Laufradkante ein R, für die Länge des Wasserabschnittes W, und die Länge des Fisches x, ist die Berührungshäufigkeit nach der Formel

$$R = \frac{x}{W}$$

zu berechnen. Die Länge des Wasserabschnittes W errechnet sich aus der etwas komplizierteren Formel

$$W = \frac{240 \ d}{\cos \alpha \, . \, b \ \ c \ \ \pi \, . \, (e^2 - f^2)}$$

wobei folgende Symbole verwendet werden:

W = Wasserabschnittslänge in Metern
d = Wasserverbrauch in cbm/sec
b = Anzahl der Laufradschaufeln
c = Umdrehungszahl / min.
e = äußerer Laufraddurchmesser in m
f = Durchmesser der Nabe in m
α = Ablenkungswinkel des Wasserstromes von der Senkrechten in die Drehrichtung der Turbine

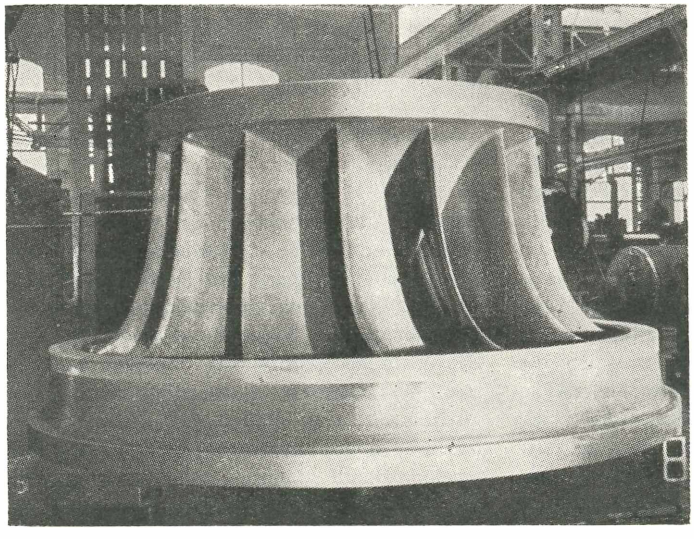

Abb. 3: *Laufrad einer Francisturbine für niedrige Gefälle (31,7 m) und große Wassermenge. (91 300 Liter/sec.) Leistung 35 150 PS.*

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

cos α — Winkelfunktion; bestimmter Wert des oben genannten Winkels. Der Winkel α wird von der Stellung der Leitwerksschaufeln bestimmt, die wiederum von der anfallenden Wassermenge abhängig ist.

Für x können wir nach Bedarf die durchschnittliche Länge von Jungfischen in cm einsetzen, die in einem Flußabschnitt häufig sind oder andererseits die durchschnittliche Länge der fangbaren Fische einer beliebigen Art.

An Hand eines willkürlich gewählten Beispieles wollen wir die mitgeteilte Formel erläutern; nehmen wir eine Turbine mit Kaplanläufer folgender Daten:

b = 4 Schaufeln
c = 70 U/min
d = 70 cbm/sec
e = 4.50 m
f = 1.50 m
α = 30° (cos α somit 0,866)

Nun können wir nach obiger Formel einsetzen ($\pi = 3{,}14$ oder $\frac{22}{7}$)

$$W = \frac{240 \,.\, 70 \,.\, 7}{0{,}866 \,.\, 4 \,.\, 70 \,.\, 22 \,.\, (20{,}25 - 2{,}25)} = 1.22 \text{ m}$$

Das heißt, den Fischen steht beim Passieren der Turbine eine Wassersäule von über 1.20 Meter zur Verfügung, also könnten bereits ziemlich große Fische die Wasserkraftanlage passieren, ohne mit den Schaufelkanten in Berührung zu kommen. Nun muß aber naturgemäß nicht jede Berührung auch zu einer Verletzung führen, je nachdem, ob nur die Schwanzflosse am Ende gestreift wird, oder ob der Fisch in der Körpermitte, oder am Kopf getroffen wird. Außerdem spielt die Geschwindigkeit eine Rolle, mit der die Schaufelkante auf den Fisch auftrifft: Die Geschwindigkeit ist an der Nabe geringer, als am Außenradius, es kann also eine harmlose Mittelzone um die Nabe und eine kritische Zone im äußeren Teil des Turbinenkanalquerschnittes geben. v. Raben prüfte die Gefährlichkeit der Turbinen besonders an Aalen, die bei seinen Untersuchungen die Hauptrolle spielten. Jeder, der die Zähigkeit einer Aalhaut und die Geschmeidigkeit des Aales kennt, wird zu der Meinung kommen, daß die kritische Geschwindigkeit, die v. Raben für diese Fischart aus dem Verhältnis von Berührungs- und Verletzungshäufigkeit einer bestimmten Turbinenanlage mit 10,83 m/sec errechnete, für die meisten anderer Fischarten wohl geringer sein dürfte; aber gehen wir in unseren weiteren Betrachtungen ruhig einmal vom „Aalwert" aus. Die Formel für die Umfangsgeschwindigkeit ist

$$u = \frac{c \,.\, \pi \,.\, e}{60}$$

was bei unserer Turbine eine Außengeschwindigkeit von 16,5 m/sec ergibt und an der Nabe eine solche von 5,5 m/sec.

Die Geschwindigkeit der Laufradkante ist aber nicht nur allein maßgebend, es spielt auch noch die Geschwindigkeit des Wassers gegen das Laufrad eine Rolle, die von dem Winkel abhängt, in dem das Wasser aus den verstellbaren Leitschaufeln auf den Läufer strömt. Dieser Wert für den Winkel wird folgendermaßen in die Formel gebracht, wobei für die Aufprallgeschwindigkeit s steht:

$$s = \frac{c \,.\, \pi \,.\, e \,.\, \cos \alpha}{60}$$

wenn wir den äußeren Durchmesser des Läufers nehmen. Wollen wir die Aufprallgeschwindigkeit innen an der Nabe kennenlernen, setzen wir statt e den Wert für f in die Formel.

Setzen wir in obige Formel die Werte unserer angenommenen Turbine ein, erhalten wir die relativen Geschwindigkeitswerte, mit denen sich die Schaufelkanten außen gegen das Wasser bewegen:

$$s = \frac{70 \quad 22 \quad 450 \quad 0{,}866}{60 \quad 7} = 14{,}29 \text{ m/sec.}$$

welcher Wert also etwas geringer ist, als die absolute Geschwindigkeit der Kante, da das Wasser ja durch die Leitschaufeln eine gleichsinnige Drehbewegung erhält. Für die Kante, die der Nabe anliegt, beträgt dieser Wert nach der gleichen Formel berechnet 4,76 m/sec. Die kritische Grenze von 10,83 m/sec wird also hier irgendwo in der Mitte liegen. Die Fische werden in diesem Fall zwar häufiger berührt, aber nur weniger häufig verletzt werden. Die Berührungshäufigkeit läßt sich aus folgender Formel errechnen:

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

$$R = \frac{x \quad \cos\alpha \,.\, b \,.\, c \,.\, \pi \,.\, (e^2 - f^2)}{240 \,.\, d} =$$

$$= \frac{30 \quad 0{,}866 \,.\, 4 \quad 70 \quad 22 \quad 18}{240 \quad 70 \quad 7} =$$

$$= 24{,}49 \text{ oder rd. } 25\ \%;$$

d. h. rund ein Viertel aller durch die Turbine schwimmenden Fische würde von der Laufradkante berührt werden. Die durchschnittliche Fischlänge haben wir mit 30 cm angenommen, da wir mit Aalen normalerweise nicht zu rechnen haben. Nun haben wir oben gesagt, daß die Verletzungen weniger zahlreich sein werden, da die Berührungen (R) in einer Zone um die Nabe keine ernsten Folgen haben werden. Es muß also noch die Grenzgeschwindigkeit in die Formel gebracht werden.

Die Formel für die Beschädigung (B) lautet:

$$B = \frac{x \quad \pi \,.\, \cos\alpha \,.\, b \quad c}{240 \quad d} \left[e^2 - \left(\frac{649{,}8}{c \,.\, \pi \,.\, \cos\alpha} \right)^2 \right]$$

Setzen wir in diese Formel unsere angenommenen Werte der Turbine ein:

$$B = \frac{30 \quad 3{,}14 \quad 0{,}866 \quad 4 \quad 70}{240 \quad 70} \cdot \left[20{,}25 - \left(\frac{649{,}8}{70 \quad 3{,}14 \,.\, 0{,}866} \right)^2 \right] = 11{,}73\ \%$$

Das heißt also rund 12 Prozent oder knapp die Hälfte der berührten Fische, bzw. etwa ein Achtel aller durchgegangenen Fische werden auch Beschädigungen davontragen.

Bei unseren großen Flußkraftwerken, die mit derartigen Kaplanturbinen ausgerüstet sind, können wir, wie es in diesem Beispiel der Fall war, mit Fischgrößen rechnen, die etwa 10, 20 oder 30 cm ausmachen; für den Normalfall wird dies durchaus genügen. Es können aber auch bei uns Fälle auftreten, wo wir mit Aalen zu rechnen haben werden: etwa dort, wo eine Wasserkraftanlage an einem Fluß liegt, dem einer oder mehrere Seen vorgeschaltet sind, in den Aale ausgesetzt wurden. Haben diese ihre Freßzeit in dem betreffenden See zugebracht, ohne gefangen worden zu sein, beginnen sie, flußabwärts zu wandern, wie es ihnen die Natur befiehlt — auch wenn diese Laichwanderung im Einzugsgebiet der Donau ins Nichts führt.

Betrachten wir nun die Verhältnisse bei den *Francis-Turbinen*. Wie bereits am Anfang bemerkt, sind sie für Fische viel gefährlicher, da diese in moderner Ausführung viel schneller laufen, jedenfalls aber wesentlich mehr Schaufeln haben, als Kaplan-Läufer und damit der Wasserabschnitt zwischen zwei Schaufelschlägen sehr kurz ist. Es ist jedoch nicht ohne weiteres möglich, die entsprechenden Werte eines Francis-Läufers in die etwas veränderte Formel einzusetzen, weil noch andere Faktoren mitspielen: Die Laufräder dieser Turbinenart sind nicht einheitlich gebaut, da sie für sehr viele verschiedene Verhältnisse geeignet sein müssen. Wenn man von kleineren und älteren Werken absieht, werden Francis-Läufer im allgemeinen von Fallhöhen von etwa 30 bis gegen 500 m und mit einem Schluckvermögen von 2 bis über 100 m³/sec verwendet. Je nach der Bauart, die von Fallhöhe und Triebwassermenge abhängt, kann das Turbinenrad einen großen oder geringen Abstand zwischen dem Außen- und Innenkranz besitzen, können die Schaufelkanten so gestreckt sein, daß der Abstand zwischen Laufrad- und Leitradkanten minimal wird, so daß in solchen Fällen auch bei geringen Umdrehungsgeschwindigkeiten die Gefährlichkeit enorm ist, da jeder Fisch zwischen Laufrad und Leitapparat gerät und dabei zerquetscht wird und außerdem wechselt die Anzahl der Laufradschaufeln ziemlich stark. Man spricht bei den verschiedenen Typen von Langsam-, Normal- und Schnell-Läufern, (z. T. auch Expreß-Läufern), wobei aber nicht die tatsächliche Drehzahl gemeint ist, sondern die sogenannte spezifische Drehzahl, die zu erläutern, hier zu weit führen würde. Im tatsächlichen Betrieb können diese Läufer alle gleich schnell laufen, oder sogar die Langsamläufer schneller, als die sog. Schnell-Läufer. Was bei diesen Typen u. a. wechselt, ist das Verhältnis zwischen Schluckvermögen und Fallhöhe. Die Räder können als Einzel-, Zwillings- und Vierlingsräder gebaut sein.

Die Langsam-Läufer sind nun nach ihrer Bauart die gefährlicheren, da die Schaufelkanten des Läufers nur einen geringen Zwischenraum zu den Kanten des Leitrades frei lassen und im übrigen dort verwendet wer-

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

den, wo große Fallhöhen bei relativ geringem Wasserdurchfluß zur Verfügung stehen. Solche Werke sind durchwegs Speicherwerke, laufen also nur stundenweise, die Abflußmenge steht zur gesamten gespeicherten Wassermasse in einer sehr geringen Relation, so daß die Fische nur selten Gelegenheit haben, in den Triebwasserstollen und damit zu den Turbinen zu gelangen. Falls dies aber einmal doch der Fall sein sollte, spielen andere Faktoren eine weit größere Rolle, als die Auftreffgeschwindigkeit der Radkante auf den durchschwimmenden Fisch. Bei größeren Fallhöhen wird nämlich die Wassergeschwindigkeit so hoch, daß die Eigengeschwindigkeit, mit der ein Fisch gegen Turbinenteile, (fest oder beweglich spielt dabei keine Rolle mehr), stößt, unweigerlich zu einer Beschädigung führt. Solche Anlagen können wir daher ohne Bedenken aus unseren Betrachtungen ausscheiden. Ältere Niederdruckkraftwerke, bei denen größere Flüsse durch zahlreiche Francis-Läufer fließen (in den Kraftwerken Augst-Wyhlen z. B., 1908—12 erbaut, fließt der Rhein durch 20 Vierlingsturbinen und 2 Doppelturbinen, also durch insgesamt 84 Laufräder!), die noch dazu nicht die hochentwikkelte Schnell-Läuferform haben, sondern noch eher Normal-Läufern gleichsehen, also eine geringe Schluckfähigkeit und eine geringe Umlaufgeschwindigkeit haben, gibt es in Österreich nicht. Schließlich bleiben noch die Großkraftwerke mittlerer Fallhöhe, in denen Schnell-Läufer verwendet werden; die Formen dieser Laufräder weichen nun aber z. T. von den kegelstumpfartigen, für die v. Raben seine abgewandelte Formel für Francis-Turbinen gebrauchte, so stark ab, daß dafür Schädlichkeitsberechnungen nicht so ohne weiteres durchgeführt werden können.

Der Vollständigkeit halber wollen wir auch hier eine weitere Gattung von Turbinen erwähnen, bei denen wir jedoch auf die Anwendung jeglicher Formeln und Berechnungen verzichten können, weil sie bereits wegen ihrer Bauart als für jeden Fisch katastrophal zu bezeichnen sind, der in sie gerät. Gemeint sind die Freistrahl-Turbinen, von denen heute praktisch nur Peltonräder zur Anwendung kommen.

Derartige Wasserkraftmaschinen kommen zum Einsatz, wenn sehr geringe Mengen Wasser zur Verfügung stehen, etwa nur 1—5 cbm/sec, aber Fallhöhen bis gegen 1000 m. Das Wasser wird hiebei aus 1—4 Düsen, die mit einem nadelartigen Schieber verstellt werden können frei auf die Schaufeln, die ähnlich zwei Halbkugeln ausgebildet sind und am äußersten Radius eines Rades sitzen, geleitet. Das Turbinenrad bewegt sich nicht, wie diejenigen der bisher besprochenen Turbinen im Wasser, sondern dreht sich frei in der Luft. Jeden Fisch würde es bereits beim Passieren der durch die zentral angeordnete Nadel ringförmigen Düse zerquetschen, spätestens aber beim Aufprall mit dem Wasserstrahl auf die Schaufel, die außerdem noch eine Mittelkante besitzt, wo die beiden Becher zusammenstoßen, töten.

Weitere Konstruktionsunterschiede, wie stehende, schräge oder horizontale Wellen, die bei allen Typen möglich sind, spielen bei diesen Schädlichkeitsberechnungen keine Rolle, weswegen wir sie weglassen können.

Zweifellos werden die hier errechneten Werte, welche Faktoren beinhalten, die auf empirischem Wege erhalten wurden, bei den verschiedenen Turbinenanlagen, bei denen sie angewendet werden, noch Verschiebungen nach oben oder unten erfahren, da aus uns bis jetzt noch nicht bekannten Tatsachen, Konstruktionsmerkmale betreffend, Veränderungen erfolgen werden. Eine Annahme, z. B., die bis jetzt noch unüberprüft ist, ist der gleichmäßige Eintritt der Fische in den ganzen durchströmten Querschnitt der Turbine; ein Faktor, der bei sehr großen Kaplanturbinen, wie sie etwa in die Inn- und Donaukraftwerke eingebaut werden, eine Rolle spielen könnte. Weiters lassen sich keine generellen Berechnungen anstellen, wieviele Fische durch die Quetschung zwischen äußerster Radkante und dem Turbinengehäuse beschädigt werden. Aus technischen Gründen wird dieser Raum möglichst eng gehalten werden, so daß hier außen nur für sehr kleine Fische eine Chance besteht, für alle anderen wird also nicht der Radius des Schaufelrades, sondern der Gehäusedurchmesser zur Berechnung herangezogen werden müssen. Hiebei spielt aber wieder das Altersverhältnis der durchgehenden Fische eine Rolle, das in jedem einzelnen Fall verschieden sein wird, der von der Jahreszeit und von der Fischart abhängt,

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

die einen bestimmten Flußabschnitt bevölkert. Diese ganzen hier noch erwähnten Faktoren beeinflussen jedoch das Endergebnis vermutlich nur unwesentlich und würden in ihrer Konsequenz weit über die biologische Genauigkeit hinausgehen, können also im Endeffekt weggelassen werden.

Zusammenfassung

Zusammenfassend können wir folgendes sagen:

Die Schädlichkeit einer Turbine nimmt zu, wenn die Umdrehungszahl (c) größer wird, der Wasserverbrauch (d) geringer, der Laufraddurchmesser (e) größer, der Eintrittswinkel steiler (kleines α, damit höherer cosinus — Wert) und die Anzahl der Laufradschaufeln (b) größer wird;

Ist die kritische Geschwindigkeit bereits am Nabendurchmesser überschritten, nimmt die Gefährlichkeit weiter zu bei:

Verringerung des Nabendurchmessers (f).

Abschließend kann man sagen, daß mit Hilfe der hier besprochenen Formeln die voraussichtliche Schädlichkeit einer Turbinenanlage bereits vor dem Bau an Hand der vorliegenden technischen Daten recht gut berechnet werden kann, ohne daß man erst die recht unsicheren Fundergebnisse verletzter Fische unterhalb des Kraftwerkes abwarten müßte.

Da uns in diesem Zusammenhang praktisch nur die größeren Flüsse interessieren und der hydroelektrische Ausbau derselben in Österreich erst neueren Datums ist und somit in den Großkraftwerken fast ausschließlich Kaplanläufer Verwendung finden, liegen die Verhältnisse in Österreich noch günstiger, als in anderen Ländern. Dazu kommt noch folgender Punkt, der in den bisherigen Betrachtungen noch nicht beleuchtet wurde: Es wurde immer nur von den durchgehenden Fische gesprochen, aber nie näher untersucht, wieviele Fische eines bestimmten Staues nun aber tatsächlich durch eine Turbinenanlage abwärts wandern. In Flüssen, in deren Einzugsbereich Fische leben, die aus biologischen Gründen den größten Teil eines Flußlaufes durchwandern müssen, kann man vom Gesamtbestand dieser Fischart ausgehen — also bei Aal- und Lachsflüssen. Im Einzugsbereich der Donau leben aber nur Wanderfische, die (im Verhältnis zur Länge der ganzen Donau) sehr geringe Strecken durchziehen. Der Hauptbestand an Fischen in einem Flußabschnitt braucht also hier nicht als Wanderfisch in obigem Sinn bezeichnet werden. Durch die Staumauern werden diese Fische praktisch zu Bewohnern eines, oder bei Vorhandensein eines Fischpasses, der eine geringe Aufwärtswanderung ermöglicht, bestenfalls von zwei Stauräumen gemacht. Im allgemeinen wehren sich gesunde Fische gegen plötzlich im Wasserraum auftretende Strömungen, wie sie vor Turbineneinlässen bestehen und schwimmen wieder in ruhigere Bereiche ihres Lebensraumes zurück, sofern sie eben nicht, wie oben bemerkt, infolge des Wandertriebes flußabwärts schwimmen. Aus diesen angegebenen Gründen können wir also noch kein genaues Bild von den tatsächlich durch die Turbinen wandernden Fische gewinnen und die auf unserem Weg errechneten Beschädigungswerte dürfen wir selbstverständlich nur für die „Durchgeher" annehmen und nicht für den „Bestand" eines Staues, was wohl auseinanderzuhalten ist.

Beispielsweise Besprechung einzelner größerer Werke

Um einen Größenvergleich verschiedener Kraftwerke und die in ihnen verwendeten Turbinenanlagen zu ermöglichen, seien einige Beispiele angeführt:

Ein großes Laufkraftwerk mit einer Fallhöhe von etwa 10 m ist das Donaukraftwerk Jochenstein; es verfügt über fünf vierschaufelige Kaplanräder von 7,4 m Durchmesser, die bei einer Drehzahl von 65,2 U/min und einem max. Schluckvermögen von je 350 m^3/sec 39.400 PS leisten. Die Schädlichkeit für 10 cm lange Fische ist ca. 3%, für 20 cm 6% und für 30 cm 9%. Das z. Zt. größte Werk dieser Art in Österreich ist Ybbs-Persenbeug; es besitzt sechs fünfschaufelige Turbinen von demselben Durchmesser und derselben Schluckfähigkeit, die bei 68,2 U/min 46.700 PS leisten. Die Schädlichkeit ist wegen der fünf Schaufeln und der etwas höheren Umdrehungszahl etwas höher, beträgt aber immer noch ziemlich wenig, nämlich für 10 cm 4%, für 20 cm 8% und für 30 cm 12%. Von ungefähr gleich niedrigem Schädlichkeits-

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

grad sind die Kraftwerke Lavamünd an der Drau (4, 8, 13%) und am Inn das Werk Ering (3, 6, 9%). Nur um ein geringes mehr kommen die Fische in den Werken Egglfing-Obernberg/Inn, Kirchbichl/Inn in Tirol, Rosenau und Ternberg/Enns zu Schaden, nämlich ungefähr zu 5, 10 und 15% in den entsprechenden Größenklassen. Das Werk mit der mir bekannten geringsten Schädlichkeit ist bis jetzt Neuötting/Inn in Bayern mit nur 2, 5 und 7%, was so geringe Werte sind, daß sie unter der biologischen Genauigkeitsgrenze liegen, was übrigens auch für die Größenklassen 10 und 20 cm der übrigen bisher besprochenen zutrifft. Da über den tatsächlichen Durchgang der Fische, wie bereits erläutert, eigentlich nichts bekannt ist, kann man diese Werke als ziemlich unschädlich bezeichnen. Zwei Werke sind aber aus dieser eher harmlosen Reihe auszuschließen: Schwabeck an der Drau und Großraming an der Enns; die drei Schwabecker Turbinen besitzen 6 Schaufeln, der Durchmesser beträgt 4,08 m und die Drehzahl 167 U/min; bei einem Schluckvermögen von 130 m³/sec und ca. 20 m Fallhöhe leisten sie 24.000 PS; ihre Schädlichkeit beträgt ca. 11, 22 und 34%. — Das Werk Großraming hat eine noch größere Nutzfallhöhe, nämlich bis 24 m zur Verfügung, die beiden Turbinenräder haben sogar 7 Flügel, und drehen sich in der Minute 136 mal um ihre Achse; das Schluckvermögen ist mit 139 m³/sec fast gleich, der Läuferdurchmesser aber wieder größer, nämlich ca. 4,60 m. Die Schädlichkeitsberechnung ergibt hier sogar Werte von 13, 27 und 41%! Während als bei den beiden Werken Fische von Setzlingsgröße etwa gleich stark 12% dezimiert werden, verschiebt sich der Verlust schon bei den 20 cm großen von einem Fünftel auf etwa ein Viertel der durchschwimmenden Fische.

Praktisch ist es jedoch so, daß auch von diesen Verlusten nicht allzuviel bemerkt werden dürfte, da sich die Fischerei in diesen Flüssen hauptsächlich auf die Sportfischer beschränkt und kaum Netz- oder Reusenfischerei betrieben wird. In den norddeutschen Flüssen, in denen Aalreusen gestellt werden, werden natürlich auch verschieden stark beschädigte Fische gefangen, während solche bei uns doch nicht mehr an die Angel gehen. Außerdem muß hier nochmals darauf hingewiesen werden, daß wir in unseren Flüssen keine derartig starken Wanderzüge haben, wie sie von abwandernden Aalen oder Lachsen verursacht werden.

Die Größenordnungen von Werken mit Francis-Turbinen möge folgender Vergleich zeigen (aus den früher angeführten Gründen ohne Schädlichkeitsberechnung):

Rodundwerk (Illwerke): 4 Turbinen, 500 U/min, 15 m³/sec, 328 m — 68.000 PS;
Obervermunt (“): 2 Turbinen, 600 U/min, 7 m³/sec, 257 m — 20.900 PS;
Freibach (KELAG): 1 Turbine, 1000 U/min, 5,75 m³/sec, 320 m — 22.240 PS;
Partenstein (OKA): 3 Turbinen, 600 U/min, 7,5 m³/sec, 162.7 m — 12.700 PS;
Schwarzach (TKW): 4 Turbinen, 375 U/min, 26,8 m³/sec, 132 m — 42.900 PS;
Hieflau (Steweag): 2 Turbinen, 250 U/min, 28 m³/sec, 80 m — 26.400 PS.

Interessant ist beim Kraftwerk Schwarzach die Verwendung von Turbinen zweier verschiedener Fabrikate, die bei sonst gleichen Konstruktionsdaten, also Schluckvermögen, Drehzahl, Außendurchmesser und Leistung doch einige Konstruktionsunterschiede aufweisen. Unter anderem ist nach den Konstruktionszeichnungen der Zwischenraum zwischen Leitschaufeln und Laufradkanten verschieden groß, indem die Schaufelkanten des Voith-Laufrades mehr gebogen nach innen verlaufen, während diejenigen der Tosi-Turbine fast senkrecht liegen und daher der Abstand vom Leitwerk in der ganzen Höhe nach gleichbleibend ist. Durch die stärker gebogene Form der Laufradschaufeln der Voith-Turbine ist der mittlere Abstand vom Leitwerk um etwa 25% größer. Absolut handelt es sich hier um Größen von etwa 5—15 cm. Da das Kraftwerk Schwarzach praktisch einen großen Fluß, wie die Salzach fast zur Gänze durch seine Turbinen leitet, ist hier zur Verhütung von Fischereischäden zum erstenmal in Österreich vor den Einläufen zu den Druckschächten ein

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

elektrisches Fischscheuchgerät eingebaut worden, eine Maßnahme, die jedenfalls in solchen Fällen unbedingt wünschenswert erscheint. Einzelne Kraftwerke mittlerer Größe, die ebenfalls größere Flüsse ableiten und zur Gänze durch die Turbinen fließen lassen (Hieflau, Murkraftwerke etc.) sollten jedenfalls auch derartige Möglichkeiten in Erwägung ziehen.

Obwohl für die Fischerei weniger interessant, aber zur Vollständigkeit sei ein Großkraftwerk genannt, das Freistrahlturbinen einsetzt: Die Hauptstufe von Kaprun. Bei einer Höhendifferenz von 890 m entwickeln zwei Turbinen bei 500 U/min eine Leistung von je 64.000 PS, zwei weitere bei gleicher Drehzahl eine solche von je 83.000 PS. Die vier Turbinen arbeiten mit Zwillingsrädern und kommen zusammen mit maximal 32 cbm/sec Wassermenge aus.

Wir sehen also an dieser kurzen Zusammenstellung deutlich, wie sich die Verwendung der Francis-Turbinen verschoben hat und sich bei großen Flußkraftwerken zum Glück der Fischerei die relativ langsamläufigen wenigschaufeligen Kaplanturbinen durchsetzen. Ein weiterer Pluspunkt ist noch der, daß die Kraftwerke im eigenen Interesse Rechen vor den Turbinenkammern anbringen, so daß das Eindringen von stärker gefährdeten größeren Fischen an sich schon erschwert wird. *)

Pumpen

Mit diesen Formeln ausgerüstet können wir auch Wasserkraftanlagen näher untersuchen, die zwar keine Turbinen sind, wie wir sie bis jetzt besprochen haben, jedoch unter genau denselben Gesetzlichkeiten arbeiten wie Kaplanräder: Pumpenanlagen, die als wirksames Element einen angetriebenen Kaplanläufer besitzen. Es wird also in einem solchen Fall elektrische Energie über einen Motor in Umdrehung eines Schaufelrades verwandelt, das Wasser über einen Damm pumpt. Solche Pumpanlagen stehen z. B. beim Donaukraftwerk Ybbs-Persenbeug in Dornach, Ardagger und Weins in Betrieb. Da bereits verschiedentlich Klagen laut wurden, daß bei den Anlagen Dornach und Ardagger Fische getötet worden sind, wollen wir versuchen, die Werte dieser Anlagen in unsere bekannten Formeln einzusetzen, obwohl natürlich infolge der anderen Funktion einige Baumerkmale von einer gewöhnlichen Kaplanturbine abweichen. Auch müssen wir uns vor Augen halten, daß das Wasser sich anders verhält, wenn es gehoben wird, als wenn es von oben durch die Anlage gedrückt wird: Beim Heben wird sich das Schaufelrad um ein geringes schneller drehen müssen, um die gleiche Wassergeschwindigkeit zu erzielen, als es im umgekehrten Fall vom durchgedrückten Wasser an Umdrehungsgeschwindigkeit erhalten würde. Dieser „Schlupf" des Wassers, der die Verhältnisse noch um ein geringes verschlechtert, ist gewissermaßen mit der Trägheit der Masse, die bewegt werden soll (Läufer bei der Turbine, Wasser bei der Pumpe) zu er-

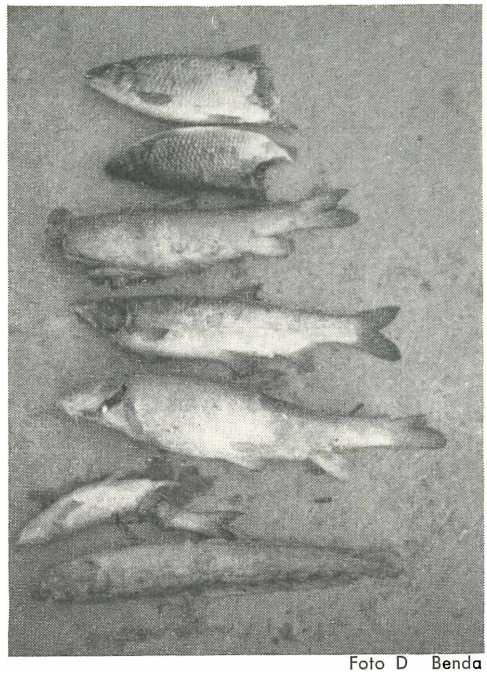

Foto D Benda

Abb. 4: *Schwer verletzte und zerstückelte Fische nach Passieren der Pumpenanlage.*

*) Ich möchte hiezu auch an den Wiederfang zweier markierter Karpfen erinnern, die durch die Jochensteiner Turbinenanlage geschwommen und unverletzt waren (Heft 8/1958 von Österreichs Fischerei).

©Österr. Fischereiverband u. Bundesamt f. Wasserwirtschaft, download unter www.zobodat.at

klären, die für die Formeln benötigten Werte der Anlage Dornach sind folgende:

b = 4 (Anzahl der Laufradschaufeln)
c = 250 U/min
d = 4 m^3/sec
e = 1,2195 m
f = 0,696 m
α — 0^0 (cos α daher 1!)

Allein aus diesen Angaben muß uns die Anlage weit gefährlicher erscheinen, als eine große Turbine, da einerseits die Umdrehungszahl pro Minute sehr hoch, die durchströmende Wassermenge gering und der Durchmesser der Nabe ziemlich groß ist, nämlich etwas über die Hälfte des Gesamtdurchmessers gegen etwa nur 1/3—1/2 bei Turbinenläufern. Dies ist hier deshalb notwendig, weil die Geschwindigkeit der Schaufeln gegenüber dem Wasser innen etwas zu gering wäre und das Wasser nur mehr schlecht gehoben werden würde; es ist also in diesem Falle die für die Fische harmlose Innenzone mit geringer Schaufelkantengeschwindigkeit durch eine dicke Nabe ausgeschaltet worden. Außerdem befinden sich unterhalb des Pumpenläufers senkrechte Leitbleche, die ein Mitdrehen des Wassers in die Drehrichtung (Wirbelbildung) verhindern sollen; die Ablenkung der Einströmrichtung von der Senkrechten ist also 0^0 der cos α Wert = 1.

Die genannten Leitbleche reichen überdies bei solchen Pumpen bis knapp zum Laufrad, so daß noch zusätzliche Zerschneidungen auch dort vorkommen, wo die kritische Geschwindigkeit von 10,83 m/sec noch nicht erreicht ist. Die tatsächlichen Verluste werden dadurch noch höher. (Ein neuer Aufsatz von Rabens darüber kam erst während des Druckes dieses Artikels in meine Hand).

Die Geschwindigkeit der Schaufelkanten an der Nabe ist nach der Formel 9,193 m/sec, sie liegt also etwas unter der kritischen Geschwindigkeit von 10,83.

Die Länge des Wasserabschnittes zwischen zwei Schaufelschlägen können wir mit 0,3 m errechnen; die zur Verfügung stehenden 30 cm würden also für durchschnittlich 30 cm lange Fische eine Berührungshäufigkeit von 100% erbringen, d. h. es kommt kein Fisch unberührt durch die Pumpe. Nun haben wir aber die kritische Geschwindigkeit nicht schon an der Nabe festgestellt, so daß also wohl alle Fische getroffen werden, aber nicht alle Berührungen zu Beschädigungen führen werden. Setzen wir die Werte der Pumpe in die Beschädigungsformel ein, erhalten wir 78,5% beschädigte Fische.

Wenn wir also die zuerst genannten ungünstigeren Umstände einer Pumpe noch einbeziehen, können wir von einer ungefähren Beschädigungsquote von 80% der durchgehenden Fische rechnen, d. h. vier Fünftel aller durchgehenden Fische werden von den Schaufelkanten so schwer getroffen, daß sie schwere oder tödliche Beschädigungen davontragen. (Wobei die Zerschneidungen n o c h n i c h t eingerechnet sind!).

Die errechneten Beschädigungsquoten stellen außerdem nur Mindestwerte dar, da die Laufräder verstellbare Flügel besitzen, um immer rationell arbeiten zu können, auch wenn andere Verhältnisse vorliegen, also etwa nur geringere Wassermengen zu fördern sind. Da wir ja aus der Zusammenfassung wissen, daß die Gefährlichkeit zunimmt, wenn bei gleicher Drehzahl weniger Wasser durchströmt, ist eine Steigerung der Anzahl an verletzten Fischen hier zu erwarten. Der Prozentsatz erhöht sich z. B. beim Durchfluß von nur 3 cbm auf 130%, d. h. es wird nicht nur jeder Fisch verletzt, sondern fast ein Drittel der Fische noch ein zweites Mal! Da sich nun zu gewissen Zeiten zahlreiche Fische im Pumpensumpf befinden, die in das Hauptwasser zurück möchten, ist es klar, daß zu solchen Zeiten zahlreiche tote und verletzte Fische gefunden werden. Die Berechnungen decken sich also mit den Beobachtungen recht gut und die berechtigten Klagen der Fischereiberechtigten haben dazu geführt, daß vor kurzem elektrische Scheuchgeräte eingebaut wurden, die aber, wie alle derartigen Anlagen in Österreich erst im Versuchsstadium stehen, und daher leider noch nicht befriedigend funktionieren.

Literatur: K. v. Raben: Zur Frage der Beschädigung von Fischen durch Turbinen. „Die Wasserwirtschaft" (Heft 4, Jänner 1957).
Über Turbinen und die schädliche Wirkung auf Fische. Ztschr. für Fischerei u. d. Hilfswissenschaften. Bd. IV., N. F. 1957, September 1957.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Österreichs Fischerei

Jahr/Year: 1960

Band/Volume: 13

Autor(en)/Author(s): Hemsen Jens

Artikel/Article: Fische und Turbinen 113-122