

Pumpspeicherwerke und Hechtbrut – ein Modellversuch

Von W. GEIGER, H. J. MENG und CHR. RUHLÉ

Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) und
Institut für Gewässerschutz und Wassertechnologie der ETH Zürich

Manuskript eingegangen am 27. Juni 1975

ABSTRACT

The effects of periodic, simulated water level fluctuations on northern pike fry produced by pumped-storage operations were examined. Daily fluctuations of 10 cm caused a significant increase in the daily mortality rate. Waves reduced the detrimental effect of water level fluctuations, at least during the adhesive phase of fry.

1. Einleitung

Pumpspeicheranlagen dienen dazu, überschüssige, billige Energie aus den sogenannten Grundlastwerken nutzbringend zu verwerten, indem man sie, gewissermassen durch einen Veredlungsprozess, in wertvolle Spitzenenergie verwandelt. Aus einem unteren, in der Regel natürlichen Seebecken wird in bedarfsarmen Perioden Wasser in ein höher gelegenes, meist künstlich angelegtes Speicherbecken gepumpt und, während der Bedarfsspitzen, über Turbinen wieder ins untere Becken abgelassen. Der abwechselnde Pump- und Turbinenbetrieb erzeugt, je nach der relativen Menge umgesetzten Wassers, im oberen und im unteren Becken entsprechende Wasserspiegelschwankungen. Den natürlichen Niveauveränderungen eines als Unterbecken dienenden Sees werden somit zusätzliche, periodische Schwankungen überlagert. Ihre Auswirkungen auf das Leben im See hängen ab von der Amplitude der künstlichen Schwankungen, der Dauer ihres Zyklus und der Gestalt und Beschaffenheit der Seeufer.

Von den Fischarten, die in solchen Seen leben, werden in erster Linie die Uferlaicher bzw. deren Eier und Brut betroffen. Wichtigster Uferlaicher ist, vom fischereiwirtschaftlichen Standpunkt aus, der Hecht. Er pflanzt sich im Frühjahr an flachen, stark verkrauteten oder mit Schilf bewachsenen Ufern, in windgeschützten Buchten und auf überfluteten Wiesen fort. Die bevorzugte Wassertiefe ist ungefähr 25 cm (Minimum 5–7 cm) [1]. Die Laichablage setzt frühestens bei Tagesanbruch ein und wird spätestens in der Abenddämmerung eingestellt. Beim Austritt aus der Geschlechtsöffnung des Weibchens und bei der Berührung mit Wasser wird die Eioberfläche klebrig. Die absinkenden Eier bleiben deshalb an den Wasserpflanzen haften.

Die Embryonal- und Postembryonalentwicklung des Hechtes wurde von MARGARETHE GIHR [2] ausführlich beschrieben. Es erübrigt sich deshalb, hier näher darauf einzugehen. Immerhin sei auf einige Besonderheiten hingewiesen, die im Zusammenhang mit kurzfristigen Wasserspiegelveränderungen wichtig erscheinen. Der Brütling verlässt das Ei nach wenigen Tagen (12 Tage bei 8–12°C) in einem relativ frühen Entwicklungsstadium. Er ist kaum schwimmfähig und vor allem noch völlig blind [3], besitzt aber als transitorisches Embryonalorgan am Kopf ein Drüsenpolster, das ihn befähigt, sich am Substrat (Wasserpflanzen, Schilfhalme, Steine) anzuheften.

Der Umstand, dass sich der Hechtbrütling beim Schlüpfen in unmittelbarer Ufernähe, im seichten Wasser, vorfindet und sich sogleich am nächstbesten Gegenstand anheftet, auf den er bei seinen ersten Schwimmversuchen blindlings stösst, bewog uns, zu untersuchen, ob künstliche Wasserspiegelschwankungen, wie sie durch Pumpspeicherwerke hervorgerufen werden, eine Gefährdung der Hechtbrut darstellen. Denn einerseits hatten BAREN und HOWLETT [4] bei entsprechenden Teichversuchen mit anderen, nordamerikanischen Fischarten festgestellt, dass tägliche Niveauschwankungen weder das Laichverhalten der Elterntiere noch die Entwicklung und das Wachstum der Nachkommenschaft beeinträchtigen. Andererseits aber weisen FRANKLIN und SMITH [6] auf die Bedeutung einer konstanten Wasserspiegelhöhe für das Fortkommen der Hechtbrut hin.

2. Versuche

2.1 Versuchsanordnung

Bei den Versuchen wurde von folgenden Annahmen ausgegangen: Die Wasserspiegelschwankungen betragen 10 cm. Die Ganglinie der Schwankungen verläuft nach dem der Studie von FINGERHUTH, BASLER und HOFMANN sowie HUGI und SCHULER [5] zugrunde gelegten Schema (Abb. 1), d.h. Pumpbetrieb (Fallen des Seespiegels) während der Nacht und Turbinenbetrieb (Anstieg des Seespiegels) tagsüber in 3 Schüben (morgens, mittags und abends).

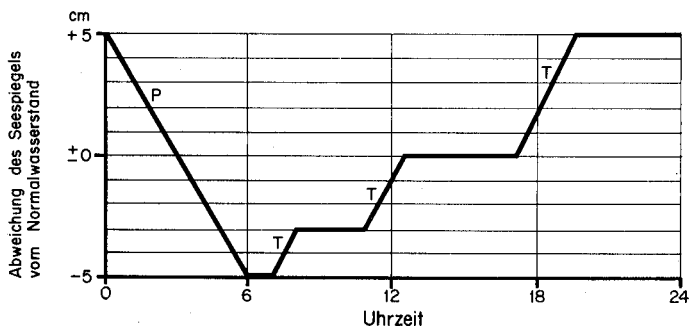


Abb. 1. Tägliche, durch den Pumpspeicherbetrieb im unteren Becken (See) bewirkte Wasserspiegelschwankung (10 cm). *P* Pumpbetrieb (Absenkphase); *T* Turbinenbetrieb (Steigungsphasen) in 3 Schüben (nach [5]).

Es wurden, nach untenstehendem Schema, zwei Versuche mit entsprechenden Kontrollen durchgeführt (siehe Tab. 1).

Tabelle 1. Versuchsanordnung.

| | Kein Wellengang | Wellengang |
|---------------------------------|-----------------|-------------|
| 10 cm Wasserspiegelschwankungen | Versuch 1 | Versuch 2 |
| Keine Wasserspiegelschwankungen | Kontrolle 1 | Kontrolle 2 |

2.2 Versuchsbedingungen

Als Versuchsbecken wurden Glasaquarien von 150 l Inhalt verwendet. Darin wurde mit Sand ein Seeuferabschnitt mit einer durchschnittlichen Neigung von 30% gestaltet. In seinem obersten Bereich ging dieser in ein Flachufer mit 10–20% Neigung über (Abb. 2). Die tägliche horizontale Bewegung des benetzten Ufers betrug bei einer Spiegelschwankung von 10 cm rund 30 cm.

Im Sand waren, zur Simulation einer Röhrichtzone, Schilfhalme eingesteckt.

Die Wasserspiegelschwankungen erfolgten gemäss der in Abb. 1 dargestellten Ganglinie durch vertikale Verschiebung des Standrohreinsatzes, der mit einer Kurvenscheibe verbunden war. Diese wurde durch einen Synchronmotor angetrieben. Die Wellen wurden durch rhythmische Auf- und Abwärtsbewegung einer schmalen, horizontalen Platte erzeugt (Amplitude etwa ± 2 cm).

In einem höher gelegenen Vorwärm- und Belüftungsbecken wurde das Speisewasser für Versuchs- und Kontrollaquarium auf 12°C eingestellt und mit Sauerstoff

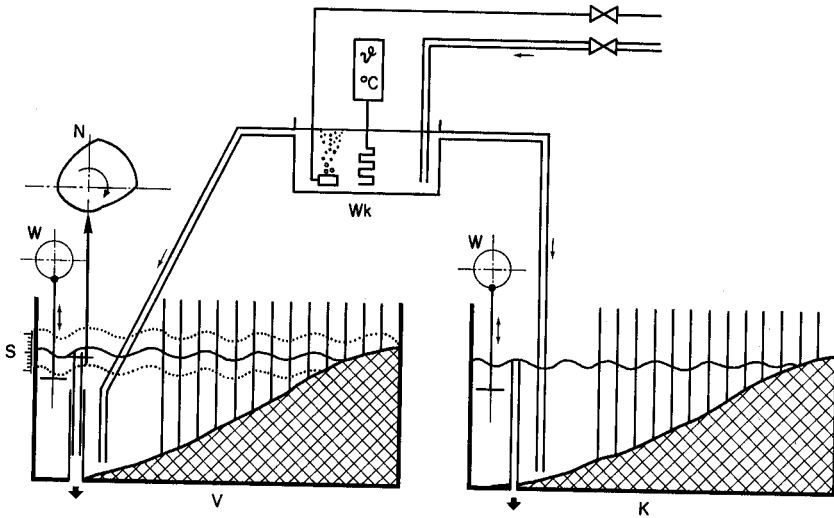


Abb. 2. Versuchsanlage, schematisch. Links Versuchsbecken (V), rechts Kontrollbecken (K); Wk Wasserkonditionierung (Thermostat, Belüftung); N Kurvenscheibe; W Wellengenerator; S Skala für Wasserstand.

gesättigt. Die Durchflussmenge betrug pro Aquarium 0,4 l/min. Von 7 bis 17 Uhr wurden die Aquarien künstlich beleuchtet.

2.3 Versuchsfische

Aus der staatlichen Fischzuchtanlage Weesen (Walensee) wurden angebrütete Hechteier bezogen und im Labor in Zügergläsern bis zum Schlüpfen gebracht. Am Hauptschlüpftag (Tag 0) wurden die widerstandsfähigsten Individuen herausgelesen und in das Versuchs- bzw. Kontrollaquarium eingesetzt (Versuch 1 und Kontrolle 1 je 1000 Stück, Versuch 2 und Kontrolle 2 je 600 Stück).

2.4 Dauer der Versuche

Die Versuchsdauer erstreckte sich vom Schlüpftag (Tag 0) bis zum Beginn der aktiven Nahrungssuche (12. Tag).

3. Versuchsergebnisse

3.1 Verhalten der Hechtbrut während der Versuche

Einerseits zeigten unsere Versuche, dass der Entwicklungsverlauf der Hechtbrut durch Veränderung der beiden Aussenfaktoren Wasserspiegelhöhe und Wellengang bei Konstanthalten der übrigen Parameter (Licht, Sauerstoffgehalt, Wassererneuerung und – vor allem – Temperatur) nicht beeinflusst wird. Da andererseits aber das Verhalten der Hechtbrütlinge während der postembryonalen Periode eng mit dem Entwicklungsverlauf gekoppelt ist, kann man sich vorstellen, wie wenig Spielraum dem Brutfischchen zur Verfügung steht, um sich künstlichen Veränderungen des Milieus, wie z.B. Wasserspiegelschwankungen, verhaltenemässig anzupassen.

3.1.1 Verhalten bei stabilem Wasserstand und unbewegter Wasseroberfläche (Kontrollversuch 1)

Die unter diesen Bedingungen gemachten Beobachtungen stimmten in allen Teilen mit der in der Literatur [1, 2] beschriebenen Verhaltensweise der Hechtbrut unter konstanten Laborbedingungen überein. Dieses «Normalverhalten» dient uns als Vergleichsbasis für das Verhalten der Brut bei Pumpspeicherbetrieb.

Die meiste Zeit der 5 Tage dauernden Haftphase verbrachten die Fischchen regungslos an den Aquarienwänden, den Schilfhalmen, an schwimmenden Partikeln oder Sandkörnern des Grundes angeklebt. Nur ab und zu löste sich der eine oder andere Brütling los, schwamm unbeholfen ein kurzes Stück, um sich am nächsten Gegenstand, auf den er stiess, wieder anzuheften, oder liess sich ermattet zu Boden sinken und klebte sich dort an. Am dritten Tag, nach dem Durchbruch der Mund- und Kiemenöffnungen, erfolgte der Übergang von der Dottersackatmung zur Kiemenatmung.

Die entscheidenden Entwicklungsschritte zur Ermöglichung einer aktiven, vom Substrat losgelösten Lebensweise in der sogenannten freien Phase sind jedoch der

Durchbruch des Darmrohrs zum Pharynx, die Rückbildung des drüsigen Haftorgans und die Differenzierung der Retina zum funktionstüchtigen Lichtsinnesorgan. Nachdem am 4. Tag nach dem Schlüpfen die ösophagale Verbindung hergestellt war, begannen die Fischchen zur Oberfläche aufzusteigen, um nach und nach die Schwimmblase mit Luft zu füllen. Mit zunehmendem Füllungsgrad gingen die Fischchen von der ursprünglich vertikalen Hängelage zu Schräglage und schliesslich zum horizontalen Schweben im freien Wasser über. Mit zunehmender Differenzierung der Sinnesorgane sank gleichzeitig die Reizschwelle gegenüber Störungen merklich ab. Während die Brütlinge in den ersten Tagen der passiven Haftphase nur schwach und fast ausschliesslich auf Erschütterungsreize ansprachen, reagierten sie vom Beginn der freien Phase an immer stärker, wobei die optischen Reize (Lichtänderungen) mehr und mehr an Bedeutung gewannen.

Am 6. Tag nach dem Schlüpfen waren alle Brütlinge in die freie Phase übertreten. Am 7. Tag erfolgte der Durchbruch der Afteröffnung, so dass die Fischchen nun grundsätzlich in der Lage waren, neben der Dotternahrung auch Fremdnahrung zu verwerten.

Besonders wichtig für das Verständnis der Ergebnisse der übrigen Versuche ist die Beobachtung, dass die Fischchen bis knapp vor Ende des Kontrollversuchs keine bestimmten Aufenthaltszonen im Aquarium bevorzugten, sondern mehr oder weniger regelmässig verteilt waren. Namentlich mieden sie auch den dicht an der benetzten Uferlinie gelegenen, nur wenige Millimeter tiefen Wasserbereich nicht. Zu Beginn der freien Phase, als sie bereits zu raschen Reaktionen fähig waren, suchten sie bei starken Störungen fluchtartig gerade diese Zone auf und drängten sich an die Uferlinie. Der Gedanke ist nicht abwegig, dass es sich bei diesem Verhalten um eine instinktive Fluchtreaktion handelt, welche die Brütlinge in eine Zone führt, wohin potentielle Feinde ihnen nicht folgen können. Nach der Störung verliessen die Fischchen jeweils nur zögernd wieder ihren Zufluchtsort.

War die Störung mit einer kurzfristigen, raschen Absenkung des Wasserspiegels, wie sie aus betriebstechnischen Gründen zweimal vorgenommen werden musste, verbunden, erfolgte dieselbe Reaktion, und es war fast unmöglich, zu verhindern, dass die Brütlinge auf dem Sand liegenblieben, da sie derart vehement gegen die wandernde Uferlinie vordrängten.

In der späteren freien Phase, vom 8. Tag nach Schlüpfbeginn an, veränderte sich das Fluchtverhalten, indem die Fischchen bei Störung vor allem zum Grund hinunter stiessen. Doch war es auch in der Schlussphase der Experimente noch schwierig, die Brütlinge bei massiver Absenkung (Abfischen des Aquariums bei Versuchsabbruch) davor zu bewahren, auf dem Sand liegenzubleiben.

3.12 Verhalten der Hechtbrut bei simuliertem Pumpspeicherbetrieb und ruhiger Wasseroberfläche (Versuch 1)

Versuch 1 war charakterisiert durch langsames Steigen und Fallen des Wasserspiegels (Abb. 1). Für die Brütlinge vergrösserte und verkleinerte sich dabei zyklisch die Anheftfläche (Haftphase) bzw. der Lebensraum (freie Phase).

Es zeigte sich, dass die Brut in der Haftphase in der Lage ist, die sich bei steigendem Wasserspiegel vermehrt anbietenden Anheftungsmöglichkeiten auszunützen

(spontane, sporadische Ortswechsel, Kap. 3.11), und dass sie der Wasserlinie an Schilfhalmen, Aquarienwänden und der zurückweichenden Uferlinie auf dem Sand gewissermassen nachfolgt.

Bei sinkendem Wasserspiegel war zu beobachten, dass die in nächster Nähe der wieder vorrückenden Uferlinie befindlichen Fischchen erst unruhig wurden und sich mehr oder weniger erfolgreich zurückzuziehen trachteten, wenn sie sich nur noch 1–2 mm unter der Wasseroberfläche befanden. Schon schwache Eindellungen und Unregelmässigkeiten im obersten, flacheren Uferbereich konnten so als tödliche Fallen wirken, auch für Fischchen, die das Haftstadium bereits überwunden hatten.

Dagegen konnte nie beobachtet werden, dass Brütlinge, die an einer senkrechten Fläche (Aquarienwand, Schilfhalme) hafteten, vom sinkenden Wasserspiegel überrascht worden wären. Die Fischchen blieben zwar oft an Ort und Stelle, bis der Kopf zur Hälfte aus dem Wasser herausragte; sobald jedoch der Oberflächenfilm abzureissen drohte, lösten sie sich vom Substrat und liessen sich nach kurzem Umherschwimmen an einem andern Ort wieder nieder.

3.13 Verhalten der Brut bei simuliertem Pumpspeicherbetrieb und gleichzeitigem Wellengang (Versuch 2)

Die beschränkten Raumverhältnisse im Aquarium erlaubten es, nur Wellen von geringem Ausmass zu erzeugen. Vor allem war es nicht möglich, Wellen zu produzieren, die sich am Ufer überschlugen und die selbst schwimmfähige Brütlinge aufs Ufer geworfen und dort zurückgelassen hätten.

Die Wellenbewegung wirkte sich einerseits auf das Verhalten der Brut und andererseits auf die Uferstruktur aus. Sie veranlasste angeheftete und freischwimmende Brütlinge, den unmittelbaren Bereich der Uferlinie zu meiden und sich etwa 2–3 cm davon entfernt zu halten. Dasselbe galt, zumindest bei der noch in der Haftphase befindlichen Brut, für die Wasseroberfläche. Die Inbetriebsetzung des Wellengenerators verursachte nur kurzfristig Unruhe bei den Fischchen. Sobald sie sich in der ihnen zusagenden Zone niedergelassen hatten, war keine erhöhte Aktivität der am Haftpunkt hin und her pendelnden Brütlinge mehr zu bemerken.

Die Uferstruktur wurde durch die Wirkung der Wellen insofern beeinflusst, als allfällig entstehende Mulden vorweg wieder ausgeplättet wurden, so dass keine eigentlichen Fallen bestehen blieben. Dagegen bildete sich eine Art flacher Uferbank mit steilem Abhang auf der Wasserseite. Für die freischwimmende Brut, die sich bei hohem Wasserstand über der Uferbank aufhielt, entstand durch diese fast ebene Zone bei sinkendem Spiegel ein erhöhtes Gefahrenmoment, während die angehefteten Fischchen davon weniger berührt wurden, da sie infolge der Wellenbewegung eher in der geschützten Zone des steilen Abhangs blieben.

3.2 Auswirkungen der Wasserspiegelschwankungen auf das Fortkommen der Brut

Aus der Beobachtung der Brutfische ging hervor, dass diese keine Verhaltensnorm zu besitzen scheinen, die auf ein Absinken des Wasserspiegels zugeschnitten wäre. Die Auswertung der täglichen Absterbeziffern in den Versuchs- und den Kontrollbecken liefert weitere Hinweise dafür.

3.21 Auswirkungen der Wasserspiegelschwankungen bei ruhiger Wasseroberfläche (Versuch 1 und Kontrolle 1)

Die bei einem Besatz von je 1000 Brütlingen im Versuchs- und im Kontrollaquarium festgestellten absoluten und prozentualen Abgänge sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2. Abgänge bei Versuch 1 und Kontrolle 1.

| Phase | Versuch 1 | Kontrolle 1 | Differenz |
|-----------------------|-------------|-------------|--------------|
| Haftphase | 106 (10,6%) | 13 (1,3%) | + 93 (9,3%) |
| Freie Phase | 100 (10,0%) | 23 (2,3%) | + 77 (7,7%) |
| Gesamte Versuchsdauer | 206 (20,6%) | 36 (3,6%) | +170 (17,0%) |

Sowohl während der Haftphase als auch während der freien Phase waren die Abgänge bei simuliertem Pumpspeicherbetrieb und ruhiger Wasseroberfläche deutlich höher als bei der Kontrolle mit (abgesehen von der schwachen Durchströmung) völlig unbewegter Wassermasse.

3.22 Auswirkungen der Wasserspiegelschwankungen bei gleichzeitigem Wellengang (Versuch 2 und Kontrolle 2)

Die absoluten und prozentualen Sterbeziffern bei einem Anfangsbesatz von je 600 Brutfischchen im Versuchs- und im Kontrollaquarium sind in Tabelle 3 vereinigt.

Tabelle 3. Abgänge bei Versuch 2 und Kontrolle 2.

| Phase | Versuch 2 | Kontrolle 2 | Differenz |
|-----------------------|------------|-------------|-------------|
| Haftphase | 31 (5,2%) | 0 (0,0%) | + 31 (5,2%) |
| Freie Phase | 68 (11,3%) | 41 (6,8%) | +27 (4,5%) |
| Gesamte Versuchsdauer | 99 (16,5%) | 41 (6,8%) | + 58 (9,7%) |

Kam zum Pumpspeicherbetrieb als zusätzlicher Faktor noch leichter Wellenschlag, war die Zahl der bei Pumpspeicherbetrieb und Wellenschlag gestorbenen Individuen zwar auch hier höher als im Kontrollaquarium (nur Wellenschlag), doch schienen die Auswirkungen des Pumpspeicherbetriebes durch gleichzeitigen Wellenschlag gedämpft zu werden. Diese Vermutung wurde, wenigstens für die Haftphase, durch die statistische Analyse der Versuchsergebnisse bestätigt.

3.3 Statistische Auswertung der Versuchsergebnisse

Die im Experiment erhaltenen Daten wurden mit Hilfe der Faktorenanalyse ausgewertet. Es wurde dabei angenommen, dass der Prozentsatz der an den einzelnen Tagen gestorbenen Fische das Ergebnis täglich wiederholter Einzelversuche darstelle. Die Wasserspiegelschwankung und die Wellenbewegung des Wassers waren in der Auswertung die Faktoren.

Basis für die Beurteilung des Einflusses der beiden untersuchten Faktoren war der Anteil toter Fische im unbeeinflussten Aquarium. Die tägliche Sterberate in diesem Aquarium (Kontrolle 1) wird im folgenden als «natürliche», tägliche Sterberate verwendet.

3.31 Haftphase

Die mittlere natürliche Sterberate beträgt 0,26% pro Tag. Der Pumpspeicherbetrieb hat gegenüber der Kontrolle eine Steigerung der täglichen Sterberate auf das Doppelte (0,53% pro Tag) zur Folge (Abb. 3). Die Wahrscheinlichkeit für eine Steigerung infolge des Pumpbetriebs beträgt 99,99%.

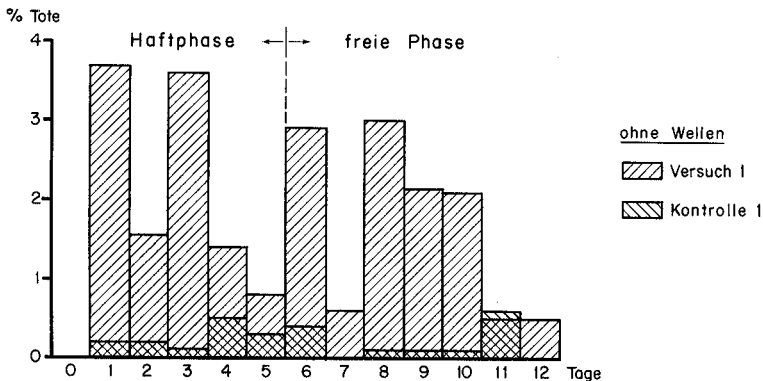


Abb. 3. Einfluss der Spiegelschwankungen (täglich, prozentuale Abgänge) ohne Wellengang (Versuch 1 und entsprechende Kontrolle).

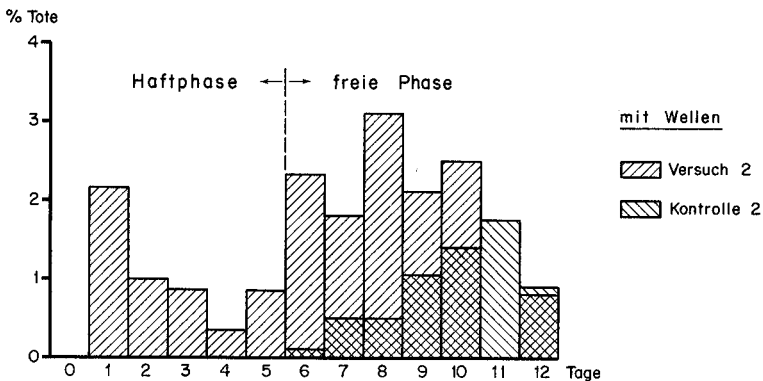


Abb. 4. Einfluss der Spiegelschwankungen (täglich, prozentuale Abgänge) bei gleichzeitigem Wellengang (Versuch 2 und entsprechende Kontrolle).

Tritt zum Pumpbetrieb noch Wellengang hinzu, so wird die tägliche Todesrate von 0,53% um 0,23% auf 0,3% heruntersetzt (Abb. 4). Das ergibt bei Pumpbetrieb eine Reduktion der Sterberate durch den Wellengang auf nahezu die natür-

liche Todesrate. Der Wellengang allein ergibt eine Dämpfung der natürlichen Todesrate auf fast Null. Die Wahrscheinlichkeit für die dämpfende Auswirkung des Wellengangs beträgt 95%.

3.32 Gesamte Versuchsdauer

Die mittlere natürliche Sterberate beträgt über die gesamte Versuchsdauer betrachtet 0,3% pro Tag.

Der Pumpspeicherbetrieb erhöht die tägliche Todesrate auf das 4fache (1,25% pro Tag). Die Wahrscheinlichkeit für das Zutreffen dieser Aussage beträgt 99,99% (Abb. 3). Dagegen hat die Wellenbewegung über die ganze Versuchsdauer hinweg betrachtet praktisch keinen Einfluss auf die tägliche Todesrate (Abb. 4). Die mittlere tägliche Todesrate beträgt somit im Modellversuch für die Haftphase und freie Phase zusammen 1,25% pro Tag.

4. Zusammenfassung

Pumpspeicheranlagen verursachen durch periodische Wasserentnahme aus einem unteren und Wasserrückgabe aus einem oberen Becken künstliche Wasserspiegelschwankungen. In natürlichen Gewässern sind durch diese Schwankungen jene Fischarten am stärksten betroffen, die sich in der Uferzone fortpflanzen. Die Arbeit untersucht im Modell die Einflüsse täglicher Schwankungen von 10 cm auf die Jugendstadien des Hechtes (*Esox lucius* L.).

Es wird festgestellt, dass die Sterblichkeit der Hechtbrut sowohl während der sogenannten Haftphase als auch während der darauffolgenden freien Phase durch die Wasserspiegelschwankungen signifikant erhöht wird. Die Steigerung der Todesrate wird dadurch verursacht, dass ein Teil der Brütlinge bei sinkendem Wasserstand vor der wandernden Wasserlinie nicht zurückweicht und auf dem Trockenen liegenbleibt. Ferner wird festgestellt, dass Wellenbewegungen die Wirkung der Wasserspiegelschwankungen, zumindest während der Haftphase, herabzusetzen vermögen.

Im Versuch sind die komplexen Eigenschaften natürlicher Seeufer extrem vereinfacht worden. Trotzdem kann aus den Ergebnissen geschlossen werden, dass bei täglichen, künstlichen Wasserspiegelschwankungen vom obenerwähnten Umfang in Seen mit flachen Ufern mit einer merklichen Beeinträchtigung der natürlichen Fortpflanzung des Hechtes zu rechnen ist.

SUMMARY

Effects of Simulated Pumped-Storage Operation on Northern Pike Fry

Periodic water withdrawal from a lower basin and filling into an upper basin during pumped-storage operations cause unnatural fluctuations in the water level. In natural waters species that spawn along the shores are most affected by these fluctuations. This paper examines the influence of a 10-cm, daily fluctuation on the juvenile phases of northern pike (*Esox lucius* L.), investigated in an aquarium.

A significant increase in the mortality of northern pike fry due to water level fluctuations was noted during the adhesive as well as the following free phase. Increased mortality is attributed to the fact that part of the fry does not follow the receding water level but remains on dry land. Furthermore, it was observed that waves could attenuate the effect of water level fluctuations, at least during the adhesive phase.

In the experiment the complex characteristics of natural lake shores were extremely simplified. Despite this, the results showed that given daily, artificial fluctuations to the extent mentioned above a considerable drop in the natural proliferation rate of northern pike must be reckoned in lakes with flat shores.

RÉSUMÉ

Effets des variations artificielles du niveau d'eau sur l'alevin du brochet; essai de simulation

Une usine à pompage provoque des variations de niveau artificielles en pompant et restituant alternativement l'eau d'un lac. Les espèces ichthyologiques les plus atteintes par ces variations sont celles qui se reproduisent dans la zone littorale. L'influence des variations journalières, de 10 cm, sur les premiers stades juvéniles du brochet (*Esox lucius* L.), est étudiée en aquarium.

On constate que la mortalité des alevins du brochet est significativement augmentée par les variations de niveau, aussi bien pendant la phase adhérente de l'alevin que pendant sa phase libre. L'augmentation du taux de mortalité est provoqué par le fait qu'une partie des alevins, lors de la baisse de niveau, ne se retire pas avec l'eau et reste sur le sable. En outre, on constate que les vagues atténuent, du moins pendant la phase adhérente, l'effet des variations de niveau.

Dans l'expérience, les caractères complexes d'un bord naturel de lac ont été simplifiés à l'extrême. Pourtant, les résultats laissent supposer que lors de variations journalières artificielles de cette envergure, dans un lac à bord plat, il faut s'attendre à une diminution des chances de survie des alevins.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] TONER, E. D., und LAGLER, G. H., *Synopsis of Biological Data on the Pike*, FAO Fisheries Synopsis 30, Rev. 1 (Rom 1969).
- [2] GIHR, M., *Zur Entwicklung des Hechtes*, Rev. suisse Zool. 64, 355-474 (1957).
- [3] NÜESCH, H., *Augenentwicklung und Schlüpftermin bei Hecht und Forelle*, Rev. suisse Zool. 65, 2 (1958).
- [4] BAREN, C. F., und HOWLETT, H. A., *Pumped-Storage Operations and the Spawning of Fish*, in: *Pumped Storage Development and Its Environmental Effects*, University of Wisconsin-Milwaukee and American Water Resources Association, Proc. Ser. 15 (1971).
- [5] FINGERHUTH, C., BASLER und HOFMANN, HUGI und SCHULER, *Externe Effekte von Pumpspeicheranlagen* (Zürich 1974).
- [6] FRANKLIN, D. R., und SMITH, L. L., Jr., *Early Life History of the Northern Pike with Special Reference to the Factors Influencing the Numerical Strength of Year Classes*, Trans. Am. Fish. Soc. 92, 91-110 (1963).

Adresse der Autoren:

Dr. W. Geiger, H. J. Meng, dipl. Natw. ETH, Chr. Ruhlé, dipl. Forsting. ETH, EAWAG, CH-8600 Dübendorf.