

Einleitung

Bei der Passage von Wasserkraftanlagen sind abwandernde Fische mit unterschiedlichen Stressoren konfrontiert, deren biologische Folgen in den vergangenen Jahrzehnten weltweit im Rahmen zahlreicher standörtlicher Studien evaluiert wurden. Wie die vorliegenden Ergebnisse zeigen, ist die resultierende Mortalitätsrate außerordentlich variabel und umfasst in Abhängigkeit von den technischen Eigenschaften und dem Betriebszustand der Anlagenkomponenten, der Wirksamkeit der ergriffenen Schutzmaßnahmen sowie der Artzugehörigkeit und Körpergröße der Individuen das gesamte Spektrum von 0–100 %.

Bei Wasserkraftanlagen, an denen zur Verbesserung der Passagebedingungen moderne Rechen-Bypass-Systeme zum Einsatz kommen, können turbinenbedingte Fischschäden ggf. vollständig vermieden werden. Das ist dann der Fall, wenn der Rechen aufgrund einer geringen lichten Weite für alle abwandernden Individuen der betreffenden Zielart als physisch undurchlässige Barriere wirkt. An zahlreichen Standorten ist es jedoch gemäß dem aktuellen Stand der Technik nicht möglich, Rechen mit derartigen Eigenschaften zu installieren. Die in diesen Fällen verbleibende Mortalität ist von mehreren Einflussfaktoren abhängig, deren kombinierte Wirkung bislang aber nur sehr eingeschränkt durch quantitative Prognosen beschrieben werden kann. Infolgedessen ist die turbinenbedingte Mortalität, die trotz der ergriffenen Schutzmaßnahmen im abwandernden Bestand entsteht, eine in der Praxis intensiv diskutierte, derzeit jedoch nur unzureichend bestimmbare Größe. Alternativ auszuführende Feldstudien sind auf Standorte mit bereits vorhandenen Schutz- und Abstiegssystemen beschränkt und aufgrund des hohen Aufwandes nur in Einzelfällen realisierbar.

Die unzureichenden Prognosemöglichkeiten betreffen auch Leitrechen mit horizontalen Stabelementen und Bypass am abstromigen Ende. Derartige Leitrechen-Bypass-Systeme werden in jüngerer Zeit an zahlreichen Wasserkraftanlagen installiert und besitzen somit für den Schutz abwandernder Fische eine erhebliche praktische Bedeutung. Insofern erscheint es vor allem für diese Systeme vordringlich, die verbleibende Mortalität besser als bislang prognostizieren zu können. Von besonderem Interesse sind dabei diadrome Arten, für die an den jeweiligen Standorten sehr geringe Mortalitätsraten gewährleistet werden müssen, um die kumulative Sterblichkeit im hydroenergetisch genutzten Gewässer wirkungsvoll zu begrenzen.

Ausgehend von diesen Problemen wird in vorliegender Arbeit ein Modellierungsverfahren entwickelt, das durch Kombination mehrerer Regressionsmodelle eine quantitative Prognose der verbleibenden Mortalität an Wasserkraftanlagen ermöglicht, an denen Leitrechen-Bypass-Systeme des vorgenannten Typs installiert sind oder zum Einsatz kommen sollen. Die auf der Grundlage einschlägiger Datensätze abgeleiteten Regressionsmodelle sind für die diadromen Arten Aal (*Anguilla anguilla*) und Lachs (*Salmo salar*) anwendbar, wobei im Falle des Aals neben dem katadromen Stadium (Blankaal) auch das potamodrome Stadium (Gelbaal) berücksichtigt wird. Die Modelle zur Prognose der turbinenbedingten Mortalität sind gültig für Kaplan-Turbinen und damit für einen an Laufwasserkraftanlagen sehr häufig eingesetzten Turbinentyp.

Im Interesse der Veranschaulichung wird das Verfahren in einem weiteren Schritt auf 60 reale Turbinen mit Laufraddurchmessern von 0,80–4,90 m und Nenndurchflüssen von 3,3–120 m³/s angewendet. Dabei wird jede Turbine mit unterschiedlichen Rechen gebräuchlicher lichter Stabweite (10–20 mm) kombiniert. Für Illustrations- und Vergleichszwecke finden darüber hinaus Rechen mit geringerer Stabweite

(0–9 mm) und größerer Stabweite (21–50 mm) Berücksichtigung. Insgesamt werden im Rahmen der Modellierung mehr als 90.000 Kombinationen biologischer und technischer Einflussgrößen untersucht.

Die Modellierungsergebnisse repräsentieren für jede der 60 Beispiel-Turbinen die Beziehung zwischen lichter Rechenstabweite und prognostischer Mortalität im abwandernden Bestand der betreffenden Fischart. Durch Synthese dieser Informationen werden die unter Praxisbedingungen bei gegebener lichter Stabweite zu erwartenden Mortalitätsintervalle abgeleitet sowie durch Perzentil- und Medianwerte näher charakterisiert. Einen gleichfalls betrachteten Anwendungsfall des Modellierungsverfahrens bildet die Identifizierung derjenigen lichten Stabweite, die bei den Eigenschaften der betreffenden Turbine maximal zulässig ist, um einen spezifischen Zielwert der Mortalitätsrate einzuhalten.

Das in vorliegender Arbeit entwickelte Modellierungsverfahren ermöglicht die Bearbeitung folgender praxisbedeutsamer Themenkomplexe:

- (1) Quantifizierung der Mortalitätsrisiken an bestehenden und neuen Wasserkraftanlagen
- (2) Identifizierung bestehender Wasserkraftanlagen, an denen die Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen aufgrund hoher Mortalitätsrisiken besonders dringlich ist
- (3) Ingenieurbiologisch begründete Bemessung der lichten Rechenstabweite bei der Installation von Leitrechen-Bypass-Systemen an bestehenden oder neuen Wasserkraftanlagen
- (4) Erarbeitung von Strategien und Konzepten zur Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit
- (5) Modellierung des Abwanderungserfolges von Aalen zur Erfüllung der Berichtspflichten nach EG-Aal-Verordnung (Verordnung (EG) Nr. 1100/2007)

Die vorliegende Arbeit ist in 7 Kapitel untergliedert:

Das 1. Kapitel behandelt die biologischen Grundlagen des Themengebietes. Dabei werden für die o. g. diadromen Arten sowohl Lebenszyklus und Gefährdung als auch Verhalten und Längen-Häufigkeitsverteilung abwandernder Individuen charakterisiert.

Das 2. Kapitel, das sich mit den technischen Grundlagen befasst, stellt die in vorliegender Arbeit gegenständlichen Leitrechen-Bypass-Systeme und Kaplan-Turbinen hinsichtlich des Aufbaus und Funktionsprinzips vor. Einführende Darstellungen betreffen die energiewirtschaftliche Bedeutung der Wasserkraftnutzung und aktuelle Aktivitäten zum Ausbau der Wasserkraftpotentiale im nationalen, europäischen und globalen Kontext.

Gegenstand des 3. Kapitels ist die Entwicklung des Modellierungsverfahrens. Dabei werden zunächst generelle Aspekte, methodisches Prinzip und Randbedingungen dargestellt und diskutiert. Auf der Grundlage der international verfügbaren Studien werden sodann die für die Modellierung erforderlichen Regressionsgleichungen abgeleitet, hinsichtlich ihrer statistischen Güte beurteilt und durch Diagramme veranschaulicht.

Im 4. Kapitel erfolgt eine Anwendung des Modellierungsverfahrens auf praxisbedeutsame Fallkonstellationen. Die in Form von Diagrammen und Tabellen dargestellten Modellierungsergebnisse repräsentieren die im abwandernden Bestand zu erwartende Mortalitätsrate in Abhängigkeit von biologischen und technischen Einflussgrößen. Zugleich wird anhand der Modellierungsergebnisse auf diejenige lichte Stabweite geschlossen, die für die Einhaltung spezifischer Zielwerte der Mortalitätsrate maximal zulässig ist.

Die im 5. Kapitel abgeleiteten Schlussfolgerungen betreffen einerseits die dem Modellierungsverfahren zugrunde liegende Methodik und andererseits die durch Anwendung des Modellierungsverfahrens beschriebenen Beziehungen zwischen lichter Stabweite des Rechens und prognostischer Mortalität im abwandernden Bestand.

Im 6. Kapitel werden Empfehlungen für die ingenieurbioologische Bemessung und praktische Ausführung von Leitrechen-Bypass-Systemen unterbreitet. Weiterführende Diskussionen behandeln die Frage, inwieweit die in vorliegender Arbeit abgeleiteten Regressionsmodelle für Mortalitätsschätzungen unter abweichenden Randbedingungen anwendbar sind, also auch für andere Arten sowie andere Rechen- und Turbinentypen eingesetzt werden können.

Zusammenfassende Darstellungen zum Anwendungsbereich, zum methodischen Prinzip und zu den praktischen Einsatzmöglichkeiten des Modellierungsverfahrens sowie zu den Ergebnissen der beispielhaften Verfahrensanwendung finden sich in Kapitel 7.

Die vorliegende Arbeit wird durch verschiedene Verzeichnisse und Anlagen ergänzt. Letztere beinhalten die zur Entwicklung der Regressionsmodelle verwendete Datengrundlage, die technischen Eigenschaften der bei der Modellanwendung betrachteten Beispiel-Turbinen sowie detaillierte Informationen zu den Ergebnissen der ausgeführten Modellierungen.