

## Einleitung

### Kurzabriss zur historischen Entwicklung des Fachgebietes

Mit der Entdeckung des elektrodynamischen Prinzips durch Werner von Siemens im Jahr 1866, das eine großtechnische Umwandlung von mechanischer in elektrische Energie gestattete, wurden die bis dahin dominierenden Wasserräder zunehmend durch hydraulische Turbinen abgelöst. Die erste hochgespannte Drehstromübertragung (25 kV), die vom Wasserkraftwerk Lauffen am Neckar über rund 175 km nach Frankfurt am Main erfolgte, wurde am 12.09.1891 anlässlich der internationalen Elektrizitätsausstellung der Weltöffentlichkeit vorgestellt (GIESECKE & MOSONYI 2005). Durch die Möglichkeit, Energiegewinnung und Energieverbrauch räumlich zu entkoppeln, begann am Ende des 19. Jahrhunderts der großtechnische Ausbau der Wasserkraftnutzung.

Zeitgleich mehrten sich die Klagen über turbinenbedingte Fischschäden, die in Europa insbesondere den Aal betrafen und durch Forderungen zur Errichtung von Schutzvorrichtungen begleitet wurden (GERHARD 1893, ANONYMUS 1899, BAAR 1903, LUNDBECK 1927, LOWARTZ 1927, KISKER 1930, OTTERSTRÖM 1936). Die älteste im Schrifttum dokumentierte Bauanleitung für eine Aal-Abstiegsanlage findet sich bei GERHARD (1893), die an der Wasserkraftanlage Greifenberg (Rega, Pommern/Polen) auch praktisch ausgeführt und hinsichtlich ihrer Funktionsfähigkeit untersucht wurde.

Im Preußischen Fischereigesetz vom 11.05.1916 und der zugehörigen Ausführungsverordnung vom 16.03.1918 wurde die Forderung erhoben, dass Rechen und Gitter vor Wasserkraftanlagen eine lichte Weite von nicht mehr als 20 mm aufweisen dürfen. Die Anwendungspflicht war jedoch auf Fälle beschränkt, bei denen „... solche Vorrichtungen mit dem Unternehmen vereinbar und wirtschaftlich gerechtfertigt sind“ (vgl. SCHIEMENZ 1958). Zu einer Installation von Rechenanlagen mit lichten Weiten  $\leq 20$  mm kam es in den darauffolgenden Jahren nur vereinzelt, zumal für einige Standorte festzustellen war, dass an den neuen Feinrechen Fischschädigungen durch Anpressung auftraten (LOWARTZ 1927, LUNDBECK 1928, ANONYMUS 1929, HINTERLEITNER 1937a).

Systematische Forschungsarbeiten zu Fischschutz- und Fischabstiegssystemen setzten zuerst im nordamerikanischen und osteuropäischen Raum ein (z. B. BATES & VINSONHALER 1957, BATES & JEWETT 1961, RUGGLES & RYAN 1964, PAVLOV 1966, PAVLOV et al. 1972, DUCHARME 1972, PAKHORUKOV & KURAGINA 1978, PAVLOV 1979, TAFT 1986, PAVLOV 1989; vgl. auch Überblick in SHARMA 1973, TAFT 1986, PAVLOV 1989). In der Folgezeit wurden auch in verschiedenen westeuropäischen Staaten, wie den Niederlanden, Frankreich und Großbritannien, zahlreiche Forschungsprojekte ausgeführt, die neben Wasserkraftanlagen auch Kühlwasserentnahmebauwerke einschlossen (z. B. AITKEN et al. 1966, TURNPENNY 1981, HADDERINGH 1982, HADDERINGH et al. 1983, TRAVADE 1987, HADDERINGH et al. 1988, LARINIER & DARTIGUELONGUE 1989, SOLOMON 1992, TRAVADE & LARINIER 1992).

In Deutschland wurden gezielte Forschungsaktivitäten etwa Mitte der 1980er Jahre aufgenommen. Die betreffenden Studien, die sich vor allem mit dem Umfang der turbinenbedingten Mortalität und der Wirksamkeit diverser Schutzbemühungen befassten, bildeten zugleich die Grundlage für die Ableitung genereller biologischer Anforderungen an Wasserkraftanlagen (z. B. BERG 1985, 1987a und 1987b, JENS 1987, SCHULTZE 1989, BERG 1993, SCHULTZE 1993, BERG 1994a und 1994b, RATHCKE 1994).

Ausgehend von der zunehmenden Würdigung ökologischer Aspekte einerseits und dem fortschreitenden Ausbau der Wasserkraftnutzung andererseits wurde die Forschungstätigkeit in Deutschland

ab Mitte der 1990er Jahre deutlich verstärkt. Ausdruck dieser bis heute anhaltenden Entwicklung, die durch das Inkrafttreten der Wasserrahmenrichtlinie, der FFH-Richtlinie und der Aal-Verordnung der Europäischen Union nochmals forciert wurde, sind zahlreiche Studien, die vor allem folgende Themenkomplexe betreffen: Quantifizierung der Mortalität in konventionellen und alternativen Triebwerkstypen, Evaluierung der biologischen Wirksamkeit von Schutz- und Abstiegssystemen, Entwicklung neuer Schutz- und Abstiegssysteme sowie neuer Wasserkraftkonzepte und Triebwerkstypen, Verbesserung von Modellierungs- und Prognosemethoden, Formulierung von Bemessungs- und Gestaltungsregeln für Schutz- und Abstiegssysteme. Beispielhaft seien folgende Monographien, Metastudien und Überblicksarbeiten benannt: VDFF (1995), DVWK (1997), SCHWEVERS (1998a), ADAM et al. (1999), HOLZNER (1999), ATV-DVWK (2004), GÖHL (2004), DUMONT et al. (2005), LECOUR & RATHCKE (2006), EBEL (2008a), ADAM & LEHMANN (2011), DUMONT et al. (2012), EBEL (2013), CUCHET (2014), SCHMALZ et al. (2015), LEHMANN et al. (2016), LUBW (2016), BERGER (2018), KLOPRIES (2018), WAGNER et al. (2019a), BÖCKMANN (2020), EBEL (2020), LEHMANN et al. (2020), SCHWEVERS & ADAM (2020), WOLTER et al. (2020), DWA (2021), KEUNEKE et al. (2021), KNOTT et al. (2022a), MUELLER et al. (2022).

Eine maßgebliche Förderung erfuhr die Fortentwicklung des Fachgebietes im deutschsprachigen Raum durch die vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit sowie vom Umweltbundesamt initiierte Veranstaltungsreihe „Forum Fischschutz und Fischabstieg“. Diese unterstützte im Zeitraum 2012 – 2022 den Informations- und Erfahrungsaustausch zwischen zahlreichen Akteuren aus Verwaltung, Energiewirtschaft, Wissenschaft, Ingenieur- und Gutachterbüros sowie Fischerei- und Naturschutzverbänden (z. B. NAUMANN & HEIMERL 2013, UBA 2015, NAUMANN et al. 2018, UBA 2019).

Auch in anderen Staaten hat sich die Forschungstätigkeit ab Mitte der 1990er Jahre deutlich intensiviert. Diese Entwicklung wird durch folgende Monographien, Metastudien und Überblicksarbeiten exemplarisch dokumentiert: CLAY (1995), CADA et al. (1997), FRANKE et al. (1997), AMARAL et al. (1998), TURNPENNY et al. (1998), THERRIEN & BURGEON (2000), WDFW (2000), LARINIER (2001), MEUSBURGER (2002), O'KEEFE & TURNPENNY (2005), SCHILT (2007), COURRET & LARINIER (2008), ENVIRONMENT AGENCY (2010), NMFS (2011), BAFU (2012), BÖS et al. (2012), KRIEWITZ et al. (2012), BOYS et al. (2014), BROWN et al. (2014), BÖTTCHER et al. (2015), KRIEWITZ-BYUN (2015), DEWITTE et al. (2018), FJELDSTAD et al. (2018), PULG et al. (2018a), PINTER et al. (2019), USFWS (2019), BECK (2020), KAMMERLANDER (2020), MEISTER (2020), NEN (2020), BAFU (2022), RUTSCHMANN et al. (2022). Die inhaltlichen Schwerpunkte der Bearbeitung ähneln den eingangs für Deutschland benannten, wenngleich auch auf Unterschiede hinzuweisen ist. So wurden etwa experimentelle Untersuchungen zur biologischen Wirkung physikalischer Stressoren bislang vorwiegend in Nordamerika und Australien ausgeführt, wogegen Laborstudien zu verhaltensbiologischen Aspekten und hydraulischen Verlusten vor allem in Deutschland und anderen europäischen Staaten einen Gegenstand der angewandten Forschung bildeten.

Eine Aufarbeitung des internationalen Kenntnisstandes, die 785 Studien aus dem Zeitraum 1872 – 2012 einschließt und auf dieser Grundlage Empfehlungen für die Anordnung, Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen ableitet, wurde im Jahr 2013 vorgelegt (EBEL 2013). Da sich diese Veröffentlichung schnell als Planungsstandard, Lehrbuch und Nachschlagewerk etablierte und rasch vergriffen war, wurde der anhaltenden Nachfrage durch zwei weitgehend unveränderte Neuauflagen entsprochen, die in den Jahren 2016 und 2018 erschienen sind (EBEL 2016, 2018).

Aufgrund der intensiven Forschungstätigkeit in den vergangenen Jahren geben die bisherigen Auflagen des vorgenannten Buches den internationalen Kenntnisstand jedoch nicht mehr mit ausreichender Aktualität wieder. Daher wurde eine Neubearbeitung dieser Veröffentlichung erforderlich, deren Ergebnisse mit der nun vorliegenden 4. Auflage für den Nutzer verfügbar sind.

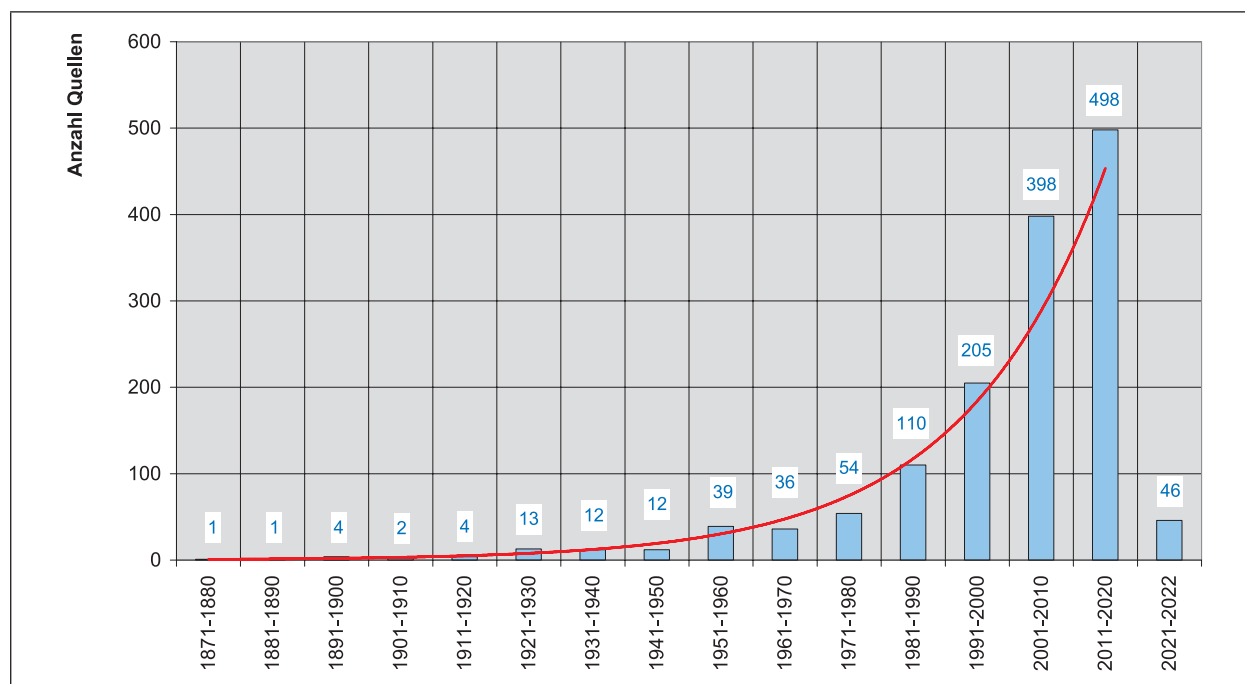
## Datengrundlage des Buches

Das vorliegende Buch basiert auf Ergebnissen aus 1.435 Arbeiten, die dem Zeitraum 1872 – 2022 zuzuordnen sind (Abb. I). Neben Zeitschriftenbeiträgen, Buchbeiträgen und Monographien werden soweit als möglich auch Forschungsberichte, Studien, Gutachten und Konferenzbeiträge berücksichtigt, beinhalten diese doch oftmals empirische Detailinformationen, die für Modellentwicklungen oder anderweitige Generalisierungen bedeutsam sind (Abb. II). Insgesamt werden 104 Arten bzw. Taxa (Abb. III), 180 Standorte (Abb. IV) und 166 Gewässer behandelt (Details vgl. Kap. 15, Kap. 16, Kap. 17).

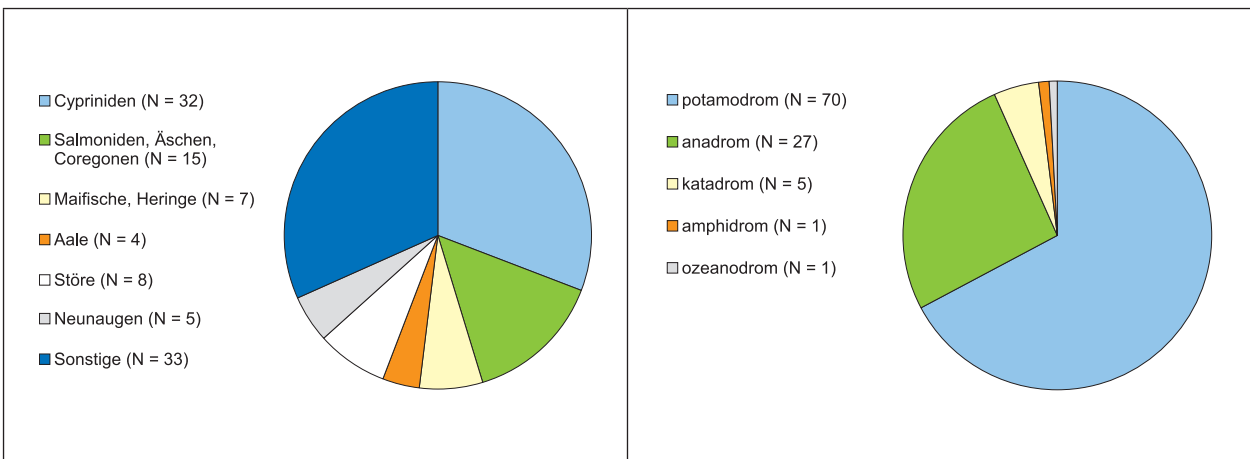
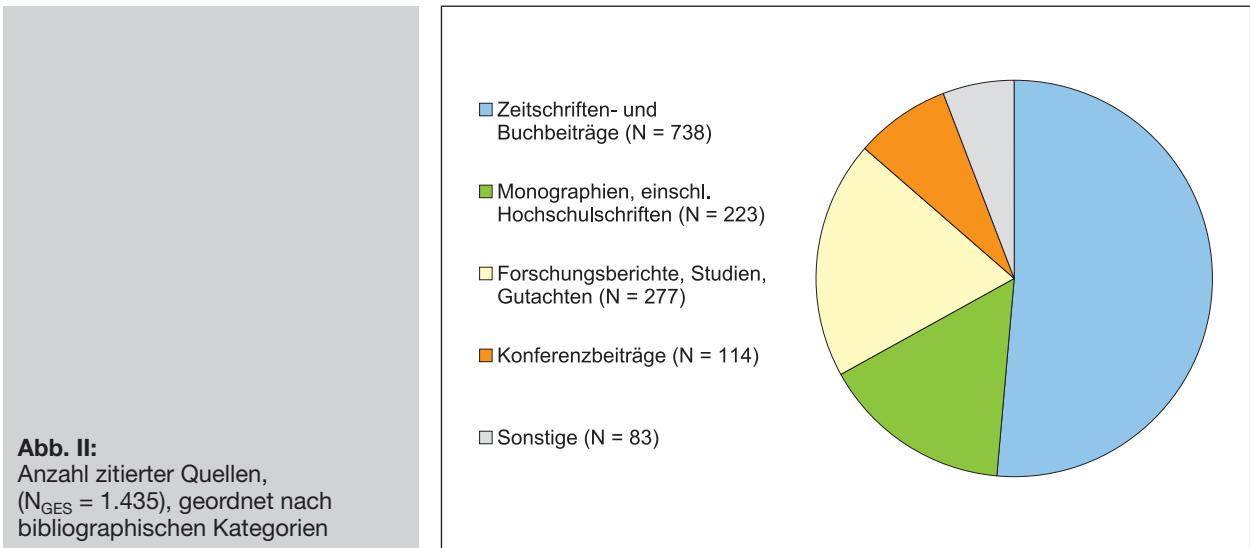
Durch Nutzung des o.g. umfangreichen Literaturfundus wird einerseits das Ziel verfolgt, den weltweiten Stand des Wissens und der Technik in repräsentativer Form darzustellen und auf dieser Grundlage empirisch gesicherte Empfehlungen für die Anordnung, Bemessung und Gestaltung von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen abzuleiten. Andererseits soll dem interessierten Leser ein schneller Überblick über einschlägige Arbeiten ermöglicht und damit die weiterführende wissenschaftliche Bearbeitung des Themengebietes erleichtert werden.

Obleich bei der Arbeit am vorliegenden Buch angestrebt wurde, zumindest die für das Fachgebiet am bedeutsamsten erscheinenden Arbeiten zu sichten, ist es angesichts der enormen Literaturfülle wahrscheinlich, dass einschlägige Studien übersehen wurden. Der Autor ist dem interessierten Leser für entsprechende Hinweise dankbar, so dass in einer künftigen Auflage Ergänzungen vorgenommen werden können.

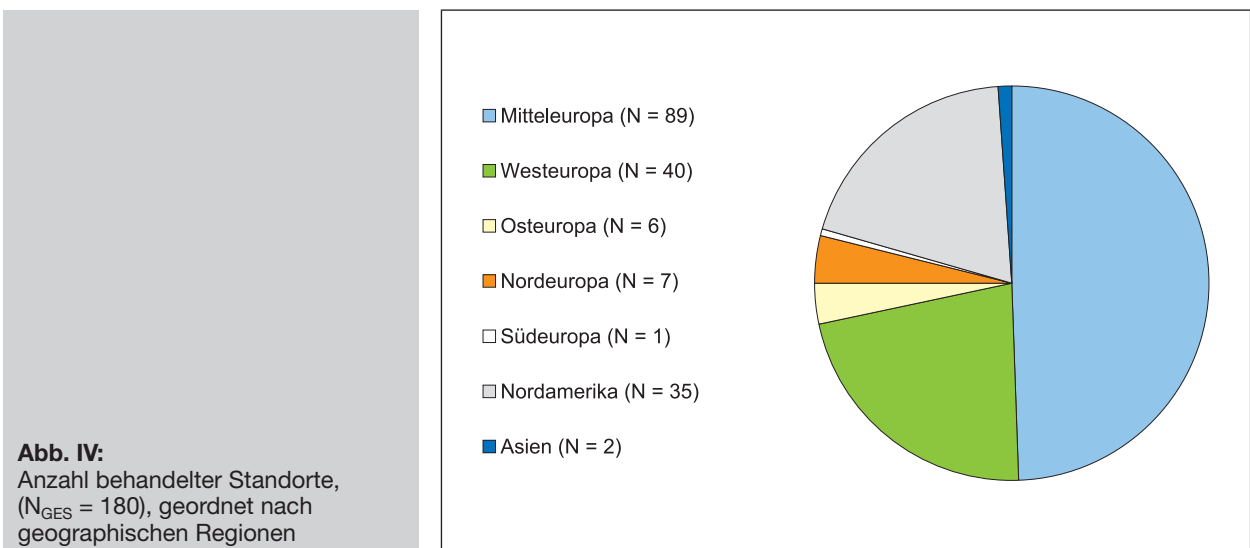
Generell ist zu berücksichtigen, dass sich die vorliegende Schrift auf naturwissenschaftliche, ingenieurbiologische und technische Fragestellungen konzentriert, wogegen rechtliche und umweltpolitische Aspekte nicht Gegenstand der Bearbeitung sind.



**Abb. I:** Anzahl zitierter Quellen ( $N_{\text{GES}} = 1.435$ ), geordnet nach dem Zeitpunkt des Erscheinens. Die exponentielle Zunahme dokumentiert die deutliche Intensivierung der Forschungsaktivität im gegenständlichen Fachgebiet.



**Abb. III:** Anzahl behandelter Arten ( $N_{GES} = 104$ ), geordnet nach taxonomischen Gruppen (**links**) und Migrationsgilden (**rechts**)



## Gliederung des Buches

Das vorliegende Buch ist in 4 Teile mit 19 Kapiteln untergliedert:

### **Teil I: Flussabwärts gerichtete Fischwanderungen – Mechanismen und Probleme (Kap. 1 – Kap. 3)**

Das 1. Kapitel behandelt biologische Aspekte der Fischabwanderung. Hierbei werden Typologie und Motivation flussabwärts gerichteter Migrationen, abwandernde Entwicklungsstadien sowie Zeitgeber, Rhythmik und Intensität der Abwanderung besprochen. Bestandteil des Kapitels sind des Weiteren die horizontale und vertikale Differenzierung von Wanderkorridoren sowie die Individuenverteilung an Gerinneverzweigungen. Artspezifische Darstellungen zur Migrationsbiologie betreffen vor allem Vertreter der diadromen Gilde, die durch Wasserkraftnutzung in besonderer Weise gefährdet werden.

Das 2. Kapitel befasst sich mit den biologischen Wirkungen von Kollisionen, Druckänderungen, Scherkräften und Turbulenzen. Besondere Berücksichtigung finden hierbei Modelle, welche die Beziehung zwischen der Intensität des jeweiligen physikalischen Stressors und der resultierenden Schädigungs- bzw. Mortalitätsrate quantitativ charakterisieren. Auf der Grundlage dieser Daten erfolgt eine Beschreibung der physikalischen Voraussetzungen für eine weitgehend ungefährdete Fischabwanderung im Bereich technischer Einrichtungen.

Den Gegenstand des 3. Kapitels bilden Schädigungen abwandernder Fische an Wasserkraftstandorten. Dabei werden neben den einschlägigen technischen Grundlagen sowohl Befunde zum Schädigungsumfang in Turbinen und anderen hydraulischen Strömungsmaschinen dargestellt als auch Möglichkeiten der modellbasierten Prognose der triebwerksbedingten Mortalität behandelt. Bestandteil des Kapitels sind darüber hinaus die an mechanischen Barrieren und Stauanlagen auftretenden Fischschädigungen sowie Fischverluste durch Prädation.

### **Teil II: Fischpassage an Wasserkraftanlagen – Ingenieurbiologische Grundlagen für die Erhöhung der Überlebensrate (Kap. 4 – Kap. 8)**

Das 4. Kapitel vermittelt einen Überblick über die verschiedenen Prinzipien des Fischschutzes an Wasserkraftanlagen. Diese beinhalten die Installation von Fischschutz- und Abstiegssystemen, den Einsatz fischschonender Turbinen, die Etablierung einer fischschonenden Betriebsweise der Wasserkraftanlage sowie die Einrichtung von Fang- und Transportsystemen. Die Prinzipien werden hinsichtlich ihrer Funktionsweise sowie bisheriger Praxiserfahrungen dargestellt und diskutiert.

Ausgehend von der Tatsache, dass mechanische Barrieren nach derzeitigem Kenntnisstand das größte Potential für die Vermeidung von turbinenbedingten Fischschäden besitzen, werden im 5. Kapitel die verbreitetsten Typen derartiger Barrieren im Überblick vorgestellt und hinsichtlich ihres Aufbaus und Funktionsprinzips charakterisiert. Darüber hinaus erfolgt eine Kurzvorstellung der für die Praxis bedeutsamen Bypasstypen. Des Weiteren werden spezielle Schutz- und Abstiegssysteme sowie ökologisch orientierte Kraftwerkskonzepte behandelt.

Gegenstand des 6. Kapitels sind die physiologischen und biometrischen Grundlagen für die ingenieurbiologische Bemessung von mechanischen Barrieren und Bypässen. Dabei wird zunächst die Schwimmgeschwindigkeit und deren Abhängigkeit von Körperlänge, Schwimdauer und Wassertemperatur besprochen, wobei Modelle zur Quantifizierung dieser Korrelationen besondere Berücksichti-

gung finden. Die folgenden Darstellungen betreffen die Körperdimensionen von Fischen und die hiermit korrespondierende Passierbarkeit mechanischer Barrieren.

Das 7. Kapitel, das die verhaltensbiologischen Grundlagen für den Einsatz von Schutz- und Abstiegsystemen behandelt, informiert zunächst über die an mechanischen Barrieren auftretenden biologischen Reaktionen und deren Abhängigkeit von lichter Weite, Anströmgeschwindigkeit und Exposition. Sodann werden die Reaktionen abwandernder Fische gegenüber Bypässen besprochen und die diesbezüglich maßgebenden hydraulischen und geometrischen Einflussfaktoren dargestellt.

Um die in der Praxis erzielbare biologische Wirksamkeit von mechanischen Barrieren und Bypässen exemplarisch zu veranschaulichen, wird im 8. Kapitel ein Überblick über die Ergebnisse einschlägiger Untersuchungen gegeben, wobei Feldstudien an konventionellen Rechen, zur Sohle geneigten Rechen, Leitrechen und Louvern den Schwerpunkt bilden.

### **Teil III: Einsatz von Fischschutz- und Fischabstiegssystemen – Bemessung und Gestaltung, Qualitätssicherung, Praxisbeispiele (Kap. 9 – Kap. 12)**

Auf der Grundlage der vorliegenden Daten und Modellbeziehungen werden im 9. Kapitel geometrische und hydraulische Bemessungswerte für Rechen- und Bypasssysteme abgeleitet sowie Grundsätze für die Positionierung und Gestaltung derartiger Vorrichtungen formuliert. Gegenstand des Kapitels sind des Weiteren folgende generelle Aspekte: kombinierte Wirkung von Schutzeffizienz und turbinenbedingter Mortalität auf die standörtliche Überlebensrate, Gesamtüberlebensrate im Gewässersystem, Zielarten und -stadien der Bemessung, Betriebszeit von Schutz- und Abstiegssystemen.

Das 10. Kapitel befasst sich mit der ingenieurbioologischen Konzeption und Planung von Rechen- und Bypasssystemen. Dabei werden sowohl die erforderlichen Grundlagen in Kurzform dargestellt als auch die Methoden und Schrittfolgen der geometrischen und hydraulischen Bemessung besprochen. Einen weiteren Bestandteil bilden die Anordnung und Gestaltung der jeweiligen Systemkomponenten.

Im 11. Kapitel werden Maßnahmen zur Sicherung der Qualität bzw. Funktionalität von Rechen- und Bypasssystemen behandelt, die sowohl die Planung und Ausführung als auch die Inbetriebnahme, den Probetrieb und den regulären Betrieb betreffen.

Den Gegenstand des 12. Kapitels bilden praktische Hinweise zur Planung und Ausführung sowie zum Betrieb von Leitrechen-Bypass-Systemen. Die Darstellungen werden anhand ausgeführter Pilotanlagen veranschaulicht.

### **Teil IV: Verzeichnisse (Kap. 13 – Kap. 19)**

Das Buch wird durch verschiedene Verzeichnisse ergänzt, in denen die behandelten Arten, Standorte und Gewässer sowie die verwendeten Symbole und zitierten Quellen zusammenfassend aufgelistet sind. Ein Register mit 1.180 Begriffen ermöglicht das rasche Auffinden von Termini und Artnamen.