

DIN EN 18110



ICS 27.140; 93.160

Einsprüche bis 2024-09-05

Entwurf

**Wasserbeschaffenheit –
Verfahren zur Ermittlung der Fischdurchgängigkeit von
Wasserförderschnecken, Pumpen und Spiralturbinen, die in Pumpwerken
und Wasserkraftwerken verwendet werden;
Deutsche und Englische Fassung prEN 18110:2024**

Water quality –

Method for assessment of fish damage in pumps and turbines used in pumping stations and hydropower plants;

German and English version prEN 18110:2024

Qualité de l'eau –

Méthode d'évaluation des dommages causés aux poissons par les pompes et les turbines utilisées dans les stations de pompage et les centrales hydroélectriques;

Version allemande et anglaise prEN 18110:2024

Anwendungswarnvermerk

Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-07-05 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil das beabsichtigte Dokument von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an naw@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 147 Seiten

DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW)

Nationales Vorwort

Das Dokument prEN 18110:2024 wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 230 „Wasseranalytik“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Unterausschuss NA 119-01-03-05 UA „Biologische Verfahren“ im DIN-Normenausschuss Wasserwesen (NAW).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Juli 2024

prEN 18110

Wasserbeschaffenheit – Verfahren zur Ermittlung der Fischdurchgängigkeit von Wasserförderschnecken, Pumpen und Spiralturbinen, die in Pumpwerken und Wasserkraftwerken verwendet werden

Water quality – Method for assessment of fish damage in pumps and turbines used in pumping stations and hydropower plants

Qualité de l'eau – Méthode d'évaluation des dommages causés aux poissons par les pompes et les turbines utilisées dans les stations de pompage et les centrales hydroélectriques

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe	10
4 Zeichnungen der Anlagen	16
5 Technische Ausrüstung und Hilfsmittel	18
5.1 Fangnetz	18
5.2 Vorrichtung zum Aussetzen von Fischen	18
5.3 Transporttank	20
5.4 Hältertank	20
5.5 Setzkescher	20
5.6 Kleiner Transportbehälter	20
5.7 Messbrett	20
5.8 Anästhetika	20
5.9 Tierwohltagebuch	21
6 Prüfung der Überlebensrate von Fischen	21
6.1 Autorisierung und Sicherheit	21
6.2 Rechtsvorschriften und Verordnungen	21
6.3 Ablaufdiagramme	22
6.4 Betriebsbedingungen	27
6.5 Auswahl und Herkunft der Fische	27
6.5.1 Fischarten und Größenklassen	27
6.5.2 Anzahl der Fische	28
6.5.3 Herkunft der Fische	29
6.6 Vorbereitung einer Prüfung der Überlebensrate von Fischen	29
6.6.1 Transport der Fische zum Prüfort	29
6.6.2 Akklimatisierung der Fische vor Ort	29
6.6.3 Hälterung der Fische vor Ort	29
6.6.4 Fütterung der Fische	30
6.6.5 Fangnetz	30
6.6.6 Vorrichtung zum Aussetzen von Fischen	30
6.7 Durchführung einer Prüfung der Überlebensrate von Fischen	31
6.7.1 Allgemeines	31
6.7.2 Aussetzen und Wiedereinfangen	31
6.7.3 Beurteilung der Verletzungen der Fische	32
6.7.4 Autopsie toter Fische	33
6.7.5 Beendigung einer Prüfung der Überlebensrate von Fischen	33
6.7.6 Wasserqualität	34
6.7.7 Tierwohltagebuch	34
6.8 Berechnung der Passageüberlebenswahrscheinlichkeit	34
6.9 Bericht	35
7 Berechnungsverfahren zur Beurteilung der Überlebensrate von Fischen	38
7.1 Mortalität durch Schaufelkollision	38
7.2 Kollisionswahrscheinlichkeit	39
7.3 Geschwindigkeit in der meridionalen Ebene	39
7.4 Relative Geschwindigkeit der Fische	40
7.5 Effektive Fischlänge	41
7.6 Verstümmelungsrate	41
7.7 Kollisionsgeschwindigkeit	42
7.8 Schaufeldicke	43

7.9	Gesamtmortalität	44
7.10	Integrierte Mortalität	44
8	Skalierung der Ergebnisse von Prüfungen der Überlebensrate von Fischen	44
8.1	Allgemeines	44
8.2	Geometrische Ähnlichkeit	45
8.3	Kinematische Gleichheit	45
8.4	Skalierung bei echter Ähnlichkeit	46
8.5	Skalierung unter Realbedingungen	46
Anhang A (informativ) Fischarten		48
Anhang B (informativ) Ursachen für Schädigungen und Mortalität von Fischen, die Pump- und Wasserkraftwerke passieren		49
B.1	Einleitung	49
B.2	Mechanismen der Fischschädigung	49
B.2.1	Allgemeines	49
B.2.2	Mechanische Schädigungen	49
B.2.3	Barotrauma	52
B.2.4	Trauma durch Scherkräfte	53
B.3	Numerische Strömungssimulation	54
Anhang C (informativ) Beurteilung der Überlebensrate von Fischen in Freiwasserturbinen		55
C.1	Prüfungen der Überlebensrate von Fischen	55
C.2	Berechnungsverfahren	55
C.2.1	Geschwindigkeit in der meridionalen Ebene	56
C.2.2	Gesamtmortalität	57
C.3	Vermeidungsverhalten	58
C.3.1	Allgemeines	58
C.3.2	Maximale Spurtgeschwindigkeit	58
C.3.3	Minimale Mortalität bei Vermeidungsverhalten	59
Anhang D (informativ) Abschätzungen der Überlebensrate, statistische Präzision und Stichprobenumfang		63
D.1	Allgemeines	63
D.2	Abschätzungen der Überlebensrate auf Grundlage der Anzahl der ausgesetzten Fische	63
D.3	Abschätzungen der Überlebensrate auf Grundlage der Anzahl der wieder eingefangenen Fische	65
D.4	Betrachtung des Stichprobenumfangs	67
Anhang E (normativ) In einem Tierwohltagebuch zu beschreibende Parameter		69
E.1	Vor dem Transport: Herkunftswasser	69
E.2	Während des Transports durch den Fischzüchter/Fischlieferanten/Spediteur	69
E.3	Während der Prüfung der Überlebensrate	69
Anhang F (informativ) Rechtsvorschriften zum Schutz der für wissenschaftliche Zwecke verwendeten Tiere		71
Literaturhinweise		72

Bilder

Bild 1 — Schematische Darstellung eines Pumpwerks	16
Bild 2 — Schematische Darstellung einer als Pumpe betriebenen archimedischen Schraube	17
Bild 3 — Schematische Darstellung eines Wasserkraftwerks	17
Bild 4 — Darstellung einer Vorrichtung zum Aussetzen von Fischen, Drauf- und Seitenansicht	19
Bild 5 — Beispiel für das Aussetzen von Fischen	19
Bild 6 — Ablaufdiagramm Teil 1: Bereitstellung der Fische	22
Bild 7 — Ablaufdiagramm Teil 2: Überprüfung der Fische vor der Prüfung der Überlebensrate	23
Bild 8 — Ablaufdiagramm Teil 3: Durchführung der Überprüfung der Überlebensrate	24
Bild 9 — Ablaufdiagramm Teil 4: Überprüfung der Fische nach der Prüfung der Überlebensrate	25
Bild 10 — Ablaufdiagramm Teil 5: Überprüfung auf verzögerte Mortalität und Abschluss der Prüfung der Überlebensrate	26

Bild 11 — Pumpenrotorgeometrie, Stromlinie und Geschwindigkeit in der meridionalen Ebene .	40
Bild 12 — Definition des Winkels β in der meridionalen Ebene einer Pumpe	43
Bild 13 — Definition des Winkels δ im Strömungsquerschnitt einer Axialpumpe	43
Bild 14 — Dicke d der Vorderkante einer Schaufel	44
Bild C.1 — Schematische Darstellung einer Freiwasserturbine	56
Bild C.2 — Freiwasserturbine: Seitenansicht in der meridionalen Ebene	57
Bild C.3 — Stromaufwärts durch eine Freiwasserturbine migrierende Fische	59
Bild C.4 — Fläche A_S stromaufwärts vom Turbinenrotor, aus der Fische nicht mehr entkommen können	60
Bild C.5 — Fluchtrichtung γ_1 und Fluchtwinkel γ_2	60
Bild D.1 — Absoluter Fehler ϵ for $S = 0,96$ and $S_c = 0,98$, berechnet für verschiedene relative Bruchteile an wieder eingefangenen Fischen γ und verschiedene Gesamtzahlen an Fischen N	68
Bild D.2 — Absoluter Fehler ϵ for $S = 0,9$ and $S_c = 0,98$, berechnet für verschiedene relative Bruchteile an wieder eingefangenen Fischen γ und verschiedene Gesamtzahlen an Fischen N	68

Tabellen

Tabelle 1 — Standard-Fischarten und -Größenklassen für Laborprüfungen der Überlebensrate .	28
Tabelle 2 — Klassifizierung in Verletzungskategorien	32
Tabelle 3 — Parameter a , b und v_{crit} [12]	42
Tabelle A.1 — In dieser Norm in Bezug genommene Fischarten	48
Tabelle D.1 — Standard-Normalquantile für häufig verwendete Vertrauensniveaus	64

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 18110:2024) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 230 „Wasseranalytik“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Einleitung

Triebkräfte für Veränderungen

Seit einigen Jahren liegt ein immer stärkerer Fokus auf der Verbesserung der ökologischen Wasserqualität, mit einem spezifischen Schwerpunkt auf Fischbeständen. Bei der Gestaltung der in dieser Hinsicht ergriffenen Maßnahmen haben internationale Rechtsrahmen wie etwa die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) [1], die Europäische Aalverordnung [2] und der Beschluss der Beneluxstaaten über die ungehinderte Fischmigration [3] eine zentrale Rolle gespielt. Aktivitäten des Menschen im Zusammenhang mit Wasserwirtschaft, Trinkwasserversorgung, Bewässerung und der Erzeugung elektrischer Energie erfordern die Installation von Pumpen und Turbinen, die signifikante Umweltauswirkungen auf Fischbestände haben können. Um diese Sektoren ökologisch nachhaltig zu machen, müssen ihre Auswirkungen untersucht und ggf. die besten zur Verfügung stehenden Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Aus diesem Grund unternehmen verschiedene Interessengruppen, z. B. Wasserwirtschaftsbehörden, Rohstoffagenturen, Pumpen- und Turbinenhersteller, Umweltberatungsfirmen und Forschungseinrichtungen, bedeutende Anstrengungen, um die Überlebenschancen von Fischen, die Pump- und Wasserkraftwerke passieren, zu erhöhen.

Mechanismen der Fischmortalität

Verletzungen von Fischen in Pump- oder Wasserkraftwerken können unterschiedliche Ursachen haben [13]. In Pumpen und Turbinen mit geringer bis mittlerer Förder- bzw. Fallhöhe gelten mechanische Verletzungen durch Kollision mit Schaufeln als primäre Verletzungs- und Todesursache. Auch das Entlangschleifen an rauen Wänden oder das Verfangen in kleinen Öffnungen oder Spalten kann zu Schäden führen. Weitere Ursachen sind schnelle Druckänderungen, die zu Barotraumata führen können, sowie übermäßige Scherkräfte bei steilen Strömungsgeschwindigkeitsgradienten. Das Risiko ist oft im eigentlichen Pumpen- oder Turbinensystem am größten, doch können auch andere Teile einer Anlage Verletzungsquellen sein, z. B. an Rechen, in fast geschlossenen Leitschaufeln, lange Rohrleitungen, Saugheber, in der Nähe von Absperrklappen, oder oszillierende Rückflussverhinderer.

Verfahren zur Beurteilung der Überlebensrate von Fischen

In der Wasserwirtschaft wird immer mehr auf Pumpen- und Turbinenanlagen umgestellt, die Fische einem geringeren Risiko aussetzen. Dahingehende Entscheidungen basieren üblicherweise auf Feldversuchen zur Überlebensrate in bestehenden Anlagen oder auf Laborexperimenten in Prüfinstituten für die Neuentwicklung von für Fische ungefährlicheren Pumpen und Turbinen. Bei diesen Prüfungen der Überlebensrate können entweder lebende Fische oder künstliche Fischtrappen mit integrierten Sensoren verwendet werden. Eine weitere alternative Möglichkeit zur Abschätzung der Überlebensrate von Fischen ist die Verwendung von anhand von Informationen aus vorherigen Prüfungen gut validierten Rechenmodellen. Jedes dieser Verfahren hat eigene Vor- und Nachteile. Die letztliche Wahl hängt vom Entwicklungsstand und dem gewünschten Genauigkeitsniveau ab.

1. Feldversuch zur Überlebensrate von Fischen

Die Prüfung der Überlebensrate von Fischen ist dann am zuverlässigsten, wenn sie vor Ort in der tatsächlichen Anlage mit lebenden Fischen und unter den tatsächlich herrschenden Umwelt- und Betriebsbedingungen vorgenommen wird. Die Fische sollten repräsentativ für die Population sein, deren Überlebensrate abgeschätzt werden soll, und die Betriebsbedingungen sollten die am häufigsten vorkommenden Betriebsarten oder, wenn solche regelmäßig auftreten, die ungünstigsten Bedingungen abbilden. Solche Prüfungen der Überlebensrate kommen der Realität am nächsten, wenn residente Fische auf natürliche Weise in das Einlaufbauwerk einer Anlage gezogen und während der Passage allen Stressfaktoren ausgesetzt werden und sie ihr natürliches Verhalten an den Tag legen können. Die Nutzung künstlicher Fischtrappen mit integrierten Sensoren [17] kann zusätzliche Informationen verschaffen, Prüfungen mit lebenden Fischen jedoch nicht ersetzen. Auch wenn die aufgezeichneten Beschleunigungs-, Rotations- und Druckänderungswerte wertvolle Informationen über Stressfaktoren entlang einer Bahnlinie liefern können, lassen sie sich (bis jetzt) nur schwer mit tatsächlichen Schäden an den Fischen korrelieren. Es wird erwartet, dass aktuelle Studien die Voraussagekraft dieser Werte verbessern.

Bei einigen durchgeführten Studien zur Überlebensrate von Fischen in bestehenden Anlagen werden auf natürliche Weise eingezogene Fische nach dem Passieren der Pumpe oder Turbine in Netzen gefangen. Der offensichtliche Vorteil ist dabei, dass es sich in diesem Fall um residente Fischarten und -größen handelt. Darüber hinaus legen diese Fische bei der Annäherung und dem Eintritt in das Einlaufbauwerk ihr natürliches Verhalten an den Tag. Dennoch wird für die meisten Prüfungen der Überlebensrate die Verwendung ausgesetzter Fische empfohlen, da dies eine bessere experimentelle Kontrolle des Stichprobenumfangs, der Arten, der Größenklassen und der Dauer der Prüfung bietet. Auch ist der Zustand der Fische vor dem Aussetzen bekannt, was eine genauere Beurteilung des passagebezogenen Schadens erlaubt, insbesondere dann, wenn die Prüfung mit der Aussetzung einer Kontrollgruppe von biologisch identischen Fischen einhergeht, die exakt dieselben Verfahren zur Handhabung, zur Aussetzung, zum Einfangen und zum Haltern durchlaufen wie die Prüffische und lediglich die Pumpe oder Turbine nicht durchlaufen.

Zum Einfangen oder Überwachen der Fische nach der Passage häufig verwendete Verfahren sind das Einfangen mit Netzen, das Kennzeichnen mit Ballons und Telemetrie. Das am häufigsten verwendete dieser Verfahren ist das Fangen mit Netzen, da diese vielseitig sind und, auch wenn sie nicht billig sind, eine kosteneffiziente Beurteilung mehrerer Arten, Größenklassen und Betriebsbedingungen erlauben. Wenn diese als sogenannte Vollstromnetze konstruiert werden, die den gesamten Strom durch eine oder mehrere Einheiten abdecken, und sie einwandfrei abgedichtet sind, kann dies zu einer vollständigen Entnahme der ausgesetzten Fische führen. Auf diese Weise werden Unsicherheiten im Zusammenhang mit nicht wieder eingefangenen Fischen eliminiert. Teilstromnetze bieten diese Vorteile nicht und müssen nach Möglichkeit vermieden werden. Sie zeigen eine niedrige Wiedereinfangrate der ausgesetzten Fische und erlauben ein potentielles ablaufseitiges Eindringen residenter Fische. Dies führt zu einer hohen Unsicherheit der Mortalitätsrate.

Ballonkennzeichnung und Funktelemetrie sind alternative Verfahren für die Bewertung der passagebezogenen Fischmortalität. Beide haben niedrige Anlaufkosten, aber hohe Einheitskosten, wenn eine große Zahl von Fischen benötigt wird. Aus diesem Grund ist die Anzahl der Betriebsbedingungen, Arten und Größenklassen solcher Studien häufig begrenzt und ihr Stichprobenumfang klein. Das Kennzeichnen empfindlicher Arten oder kleiner Fische kann mit hohen Kosten für die Handhabung einhergehen. Darüber hinaus kann die Schwimmfähigkeit gekennzeichnete Fische beeinträchtigt werden, was zu einer systematischen Abweichung der Ergebnisse führt.

Bei den Studien mit Kennzeichnungsballons werden Fische mit selbstaufblasenden Ballons gekennzeichnet und ausgesetzt. Der Ballon wird nach einiger Zeit des Kontakts mit Wasser automatisch aufgeblasen und treibt die Fische an die Oberfläche, wo sie von einem Boot aus eingeholt werden können. Funktelemetrie unterscheidet sich dadurch, dass die Fische nach dem Aussetzen nicht wieder eingefangen werden. Stattdessen wird ihre Bewegung nach der Passage überwacht. Häufig werden auch mit einem Sender gekennzeichnete tote Fische ausgesetzt, um die Bewegungen lebender und toter Fische voneinander unterscheiden zu können. Die Raten von Verletzungen und verzögerter Mortalität lassen sich mit Funktelemetrie nicht beurteilen, und die Unsicherheit bei der Klassifizierung von lebenden und toten Fischen führt zu Fehlern.

2. Laborprüfung der Überlebensrate von Fischen

Prüfungen der Überlebensrate in einem Labor oder einer Fabrik haben mit Feldversuchen in einer bestehenden Anlage einige Eigenschaften gemeinsam. Die zu beurteilende Pumpe oder Turbine hat genau dieselbe Geometrie, ist aber üblicherweise ein verkleinertes Modell, das mit einem geringeren Durchfluss und einer geringeren Wellendrehzahl arbeitet. Prüfungen dürfen mit Fischen einer anderen Größenklasse durchgeführt werden, was die mit offensichtlichen Unsicherheiten behaftete Skalierung der Ergebnisse erfordert. Das Barotraumarisiko im maßstabsgetreuen Modell weicht von dem in der eigentlichen Anlage ab. Darüber hinaus umfassen maßstabsgetreue Prüfstände häufig nicht alle Komponenten der realen Anlage, z. B. einen Einzugsbereich mit einem Einlaufbauwerk, eine Druckrohrleitung oder Hilfsvorrichtungen wie einen Rechen oder einen Schieber. Dies führt dazu, dass Prüfungen der Überlebensrate im Modellmaßstab sich nicht leicht auf die Bedingungen in der eigentlichen Anlage übertragen lassen. Laborprüfungen im Modellmaßstab werden üblicherweise während der Entwicklung eines neuen Pumpen- oder Turbinentyps vorgenommen, und die Ergebnisse müssen nachfolgend im Originalmaßstab validiert werden.

3. Modellbasierte Prognose der Überlebensrate von Fischen

Mit einer modellbasierten Prognose der Überlebensrate von Fischen kann realistisch abgeschätzt werden, was in der Praxis erwartbar ist. Solche Prognosen sind in den frühen Phasen der Neuentwicklung von Pumpen oder Turbinen, vor der Durchführung von Laborprüfungen der Überlebensrate, nützlich. Wasserwirtschaftsbehörden können diese Modelle nutzen, um die Überlebensrate in Maschinen abzuschätzen, die noch nicht *in situ* in Betrieb genommen wurden oder die unter noch ungeprüften Bedingungen betrieben werden. Auch kann die Überlebensrate von noch nicht geprüften Fischarten und -größen abgeschätzt werden. Auf diese Weise kann ohne Verwendung lebender Fische eine erste Quantifizierung der Auswirkungen erreicht werden. Dies steht im Einklang mit der EU-Richtlinie 2010/63/EU [4] und dem Ziel, alle Tierversuche durch tierversuchsfreie Verfahren zu ersetzen. Die Entscheidung, ob nachfolgend Prüfungen mit lebenden Fischen vorgenommen werden sollen, kann von den Ergebnissen eines Rechenmodells abhängig gemacht werden.

Es gibt mehrere Modelle für die Abschätzung der Mortalität durch Schaufelkollisionen, die die Hauptursache für die Verletzung von Fischen, die Pumpen und Turbinen passieren, sind. Diese Modelle basieren üblicherweise auf einem Schaufelkollisionsmodell, das die Wahrscheinlichkeit einer Kollision zwischen einem Fisch und einer Schaufel prognostiziert, gefolgt von einem empirischen Modell zur Prognose der Wahrscheinlichkeit, dass eine Kollision tödlich ist. Das Schaufelkollisionsmodell kann durch eine numerische Simulation der Strömung durch eine Pumpe oder Turbine ersetzt werden. Die Bahnlinien der Fische, die als sich passiv durch die Maschine bewegend Objekte modelliert werden, und die Wahrscheinlichkeit einer Schaufelkollision können berechnet werden. Die numerische Strömungssimulation bietet zusätzlich die Möglichkeit, Druckänderungen und die Schergeschwindigkeiten entlang der Bahnlinien der Fische zu berechnen. Unabhängig davon, wie fortschrittlich das numerische Simulationsverfahren ist, bleiben die sich ergebenden Überlebensraten jedoch stets Schätzungen: Bahnlinien hängen vom Eintrittspunkt, der Flexibilität der Fische und ihrem Schwimmverhalten ab, Schädigungen und Mortalität hängen von Korrelationen mit Stressfaktoren wie Kollisionsgeschwindigkeit, Druck und Schergeschwindigkeit ab.

Leitlinien für die Prüfung der Überlebensrate

Bei allen Experimenten mit Tieren müssen die Grundsätze des Tierschutzes ([4]) beachtet werden, und die folgenden Punkte müssen zuvor sorgfältig abgewogen werden:

- Nutzen des geplanten Experiments im Verhältnis zu Vorkenntnissen aus früheren Studien;
- Eignung der ausgewählten Verfahren und die Wahrscheinlichkeit, mit der aussagekräftige Ergebnisse erzielt werden;
- Fehlen geeigneter alternativer Verfahren, die demselben Zweck dienen;
- Übereinstimmung zwischen den gewählten Tiermodellen und den verfolgten wissenschaftlichen Zwecken;
- Abwägung zwischen Tierleid und dem Nutzen der erwarteten Ergebnisse;
- biologische und kognitive Merkmale der betreffenden Arten sowie ihre Empfindlichkeit und Verwundbarkeit;
- sicherstellen, dass die Auswahl der Arten, insbesondere nicht heimischer Arten, die Biodiversität nicht gefährdet;
- Begrenzung der Anzahl der verwendeten Tiere auf das notwendige Minimum;
- Entscheidungen im Hinblick auf Lebensbedingungen, Haltung und Pflege der Tiere während der Studie sowie die Entsorgung der Fische nach dem Experiment, um ihre physiologischen und verhaltensbezogenen Bedürfnisse so weit wie möglich zu priorisieren.

Kleine Anlagen

Im Allgemeinen sollte man sich bei der Bestimmung der Notwendigkeit von Prüfungen der Überlebensrate von Fischen fragen, ob eine Pumpe oder Turbine für stationäre oder migrierende Fischarten einen Flaschenhals darstellt. Wie viele Fische werden die Anlage wahrscheinlich passieren, und gelten diese Arten als gefährdet? Zusätzlich stellt sich für kleine Pumpen- und Turbinenanlagen die Frage, ob es sinnvoll ist, Prüfungen der Überlebensrate von relativ großen Fischen vorzunehmen, wenn diese durch Siebe oder Rechen mit kleiner Maschenweite bzw. kleinem Zinkenabstand wirksam vom Eindringen abgehalten werden. Eine Prüfung der Überlebensrate, bei der Fische vor dem Einlauf, aber hinter einem Sieb eingesetzt werden, führt mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einem unrealistischen Bild der tatsächlichen Mortalität.

Zweck der Norm

Um üblicherweise mit Feldverfahren und Datenanalyse einhergehenden Kontroversen aus dem Weg zu gehen, besteht ein Bedarf an genormten Verfahren für die Beurteilung der Auswirkungen bestehender und neu entwickelter Maschinen auf die Überlebensrate von Fischen. Die vorliegende Norm zielt darauf ab, eine Grundlage für die Planung, Durchführung und Dokumentation von Untersuchungen der Überlebensrate von Fischen in Pumpen und Turbinen zu bieten. Sie wird die Konsistenz der Ergebnisse unterschiedlicher Standorte und Maschinen erhöhen.

In naher Zukunft könnten modellbasierte Prognosen der Überlebensrate von Fischen und andere alternative Verfahren, die die Überlebensrate von Fischen in Pumpen und Turbinen mithilfe von Sensoren messen, entwickelt werden, die direkte Tierversuche schließlich ersetzen (oder signifikant reduzieren) könnten. Bis dahin werden Tierversuche benötigt, die jedoch gründlich geplant und durchgeführt werden müssen. Die in dieser Norm enthaltenen Regeln und Leitfäden zielen darauf ab, den Einsatz von Versuchstieren so weit wie möglich zu minimieren und deren Wohlergehen zu maximieren.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument behandelt die Beurteilung der Überlebensrate von Fischen in Pump- und Wasserkraftwerken, die definiert ist als der Anteil der Fische, die eine Anlage ohne signifikante Verletzung passieren. Es behandelt nicht die indirekten Auswirkungen solcher Anlagen, die üblicherweise in Ausdrücken wie „Fischsicherheit“ oder „Fischfreundlichkeit“ zum Ausdruck kommt, etwa eine die Migration beeinflussende Meidung durch Fische; Verhaltensänderungen; Verletzungen bei Aufstiegsversuchen; vorübergehende Lähmung von Fischen, die dazu führt, dass sie Raubtieren zum Opfer fallen; oder die Erschöpfung der Sauerstoffkonzentration.

Dieses Dokument gilt für Pumpen und Turbinen in Pump- und Wasserkraftwerken, die in oder zwischen Oberflächengewässern, in Flüssen, in Strömen oder Ästuaren, die stationäre und/oder migrierende Fischbestände beherbergen, betrieben werden. Zu den Anlagen zählen (radiale, axiale und gemischte) Kreiselpumpen, archimedische Schrauben und Wasserturbinen (vom Typ Francis, Kaplan, Straflo, Rohrturbine usw.).

Es werden die folgenden Verfahren zur Beurteilung der Überlebensrate von Fischen beschrieben:

- Prüfung der Überlebensrate mit losweiser Aussetzung von lebenden Prüf- und Kontrollfischen auf der Zu- und Ablaufseite einer Anlage sowie mit nachfolgendem Wiedereinfangen in Vollstrom-Fangnetzen. Das Verfahren ist anwendbar auf Feld- und Laborprüfungen der Überlebensrate. (Abschnitt 6);
- Ein validiertes modellbasiertes Berechnungsverfahren, bestehend aus einem Schaufelkollisionsmodell und Korrelationen, die die biologischen Auswirkungen von Schaufelkollisionen quantifizieren (Abschnitt 7).

Das Berechnungsverfahren kann dazu verwendet werden, die Ergebnisse aus Laborprüfungen der Überlebensrate von Fischen auf unter verschiedenen Bedingungen betriebene originalmaßstäbliche Anlagen zu übertragen (Abschnitt 8).

Die Prüfungen der Überlebensrate und das Berechnungsverfahren können unter den in Anhang C genannten Vorbehalten auch auf Freiwasserturbinen angewendet werden.

Die Ergebnisse einer Prüfung der Überlebensrate oder einer berechneten Abschätzung können mit der angenommenen maximal hinnehmbaren Mortalitätsrate eines gegebenen Fischbestands am Standort eines Pump- oder Wasserkraftwerks verglichen werden. In diesem Dokument werden jedoch weder solche maximalen Raten, die die Kennzeichnung einer Maschine als „fischfreundlich“ erlauben, noch ein Verfahren für deren Bestimmung definiert.

Dieses Dokument bietet ein integriertes Verfahren für die Beurteilung der Überlebensrate von Fischen in Pump- und Wasserkraftwerken mithilfe von Prüfungen der Überlebensrate von Fischen und modellbasierten Berechnungen. Es erlaubt öffentlichen und anderen Umweltagenturen eine einheitliche Bewertung der Auswirkungen auf stationäre und migrierende Fischbestände. Daher hilft dieses Dokument dabei, Fischbestände zu schützen und den Trend schrumpfender migrierender Fischbestände umzukehren. Pumpen- und Turbinenhersteller werden von dem Dokument profitieren, weil es einheitliche und klare Kriterien für die Bewertung der Überlebensrate von Fischen setzt. Darüber hinaus kann das dem im Dokument vorgestellten Berechnungsverfahren zugrundeliegende physikalische Modell als Werkzeug für die Entwicklung neuer Produkte dienen. Das Dokument bildet für Bildungs- und Forschungseinrichtungen die Grundlage eines gemeinsamen Verständnisses. Es dient als Anreiz für weitere Forschungsanstrengungen, um Wissenslücken zu schließen und bestehende Bewertungsverfahren zu verbessern.

2 Normative Verweisungen

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp/>

— IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

3.1

Akklimatisierung

Vorgang, der Fischen die Anpassung an veränderte Bedingungen im Lebensraum erlaubt

3.2

amphidrome Fischart

Fischart, die zwischen Frisch- und Salzwassersystemen migriert, ohne dabei Fortpflanzungszwecke zu verfolgen

3.3

anadrome Fischart

Fischart, die zur Fortpflanzung aus einem Salzwassersystem in ein Süßwassersystem migriert

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele für anadrome Fischarten sind der Atlantische Lachs, der Nordseeschnäpel, die Finte, die Alse, der Stint, der Stör, die Meerforelle, das Flussneunauge, das Meerneunauge und der Dreistachlige Stichling.

3.4

archimedische Schraube

offene oder geschlossene Schnecke, die als Pumpe oder Turbine verwendet werden kann und in der Lage ist, unter Umgebungsbedingungen Wasser zwischen verschiedenen Niveaus zu transportieren

3.5

Barotrauma

auf Druckänderungen zurückzuführende Verletzung von Fischen

3.6

katadrome Fischart

Fischart, die zur Fortpflanzung aus einem Süßwassersystem in ein Salzwassersystem migriert

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Beispiel für eine katadrome Fischart ist der Aal.

3.7

Kreiselpumpe bzw. Turbine

Sammelbezeichnung für rotodynamische (radiale, axiale und gemischte) Pumpen und Turbinen

3.8

geschlossene Turbine

Turbine, deren Rotorscheaufeln in einem geringen Abstand vom stationären Turbinengehäuse rotieren

Anmerkung 1 zum Begriff: Alle die Anlage passierenden Fische passieren den Rotor und riskieren, von den Schaufeln getroffen zu werden.

3.9

Kollisionswahrscheinlichkeit

P_{co}

Wahrscheinlichkeit, mit der ein Fisch mit der Vorderkante einer Leit- oder Rotorscheufel einer Pumpe oder Turbine kollidiert

3.10

numerische Strömungssimulation

Computersimulation einer strömenden Flüssigkeit oder eines strömenden Gases

3.11

Kontrollfische

Fische derselben Art und Größenklasse wie die Prüffische, die sich in einem vergleichbaren Gesundheitszustand befinden und identische Handhabungsverfahren durchlaufen, mit Ausnahme der Passage durch eine Pumpe, Turbine oder komplette Anlage

3.12

verzögerte Mortalität

innerhalb einer festgelegten Zeitspanne nach der Prüfung der Überlebensrate von Fischen eintretende Mortalität

3.13

diadrome Fischart

Fischart, die zwischen Frisch- und Salzwassersystemen migriert

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Gruppe der diadromen Fischarten ist in anadrome, katadrome und amphidrome Arten unterteilt.

3.14

direkte Mortalität

unmittelbare Fischmortalität nach dem Wiedereinfangen und Einsammeln aus einem Fangnetz

3.15

stromabwärts migrierender Fisch

Fisch, der in Strömungsrichtung des Wassers in eine Anlage schwimmt

3.16

Leitrohr

einem Turbinenrotor nachgelagerter Diffusor (d. h. ein sich weitendes Rohr oder ein sich weitender Kanal), wo die mittlere Geschwindigkeit sinkt und der statische Druck steigt

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Auslassdiffusor ist ein integraler Bestandteil eines Wasserkraftwerks.

3.17

dynamische Druckverluste

H_{dyn}

Maß für die zu einem Druckhöhenverlust führenden Druckverluste in durch ein Rohrleitungssystem strömendem Wasser

3.18

Feldversuch

Prüfung der Überlebensrate von Fischen in einem tatsächlichen Pump- oder Wasserkraftwerk, das unter Realbedingungen betrieben wird

3.19

Durchfluss

Menge an Wasser, die je Zeiteinheit durch eine Pumpe oder Turbine strömt

Anmerkung 1 zum Begriff: Wird auch als Kapazität oder Volumenstrom bezeichnet.

3.20

Leitschaukel

stationäre Schaukel in einer Pumpe oder Turbine zum Leiten der Wasserströmung

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Leitblech ist ein Beispiel für eine Leitschaukel.

3.21

Wasserkraftwerk

Anlage, in der die in strömendem Wasser enthaltene Energie (entweder Geschwindigkeit oder Fallhöhe) mithilfe einer oder mehrerer Turbinen in elektrische Energie umgewandelt wird

3.22

Verletzung

durch eine externe Kraft verursachte Abweichung vom natürlichen Zustand eines Fisches

3.23

Verletzungsmodell

modellbasiertes Berechnungsverfahren zur Abschätzung der Verletzung an Fischen, die eine Maschine passieren

3.24

eingesetzte Fische

Fische, die in einer Prüfung der Überlebensrate von Fischen zulaufseitig nahe vor einer Pumpe oder Turbine ausgesetzt werden, im Gegensatz zu auf der Zulaufseite einer Pumpe oder Turbine lebenden Fischen, die auf natürliche Weise eingezogen werden

3.25

Laborprüfung

Prüfung der Überlebensrate von Fischen in einer Pumpe oder Turbine in einer kontrollierten Umgebung oder in einer zu Prüfzwecken eingerichteten Anlage

3.26

manometrische Pumpenförderhöhe

Summe aus statischer Druckhöhe und dynamischen Druckverlusten im Rohrleitungssystem

Anmerkung 1 zum Begriff: Die manometrische Pumpenförderhöhe ist die Druckhöhendifferenz vor und hinter der Pumpe.

3.27

manometrische Turbinendruckhöhe

statische Druckhöhe minus dynamische Druckverluste im Rohrleitungssystem

Anmerkung 1 zum Begriff: Die manometrische Turbinendruckhöhe ist die Druckhöhendifferenz vor und hinter der Turbine.

3.28

meridionale Ebene

Querschnittsfläche in einer Pumpe oder Wasserturbine, in der die Rotationsachse des Rotors liegt

3.29

Migration

Wanderung von Fischen zwischen verschiedenen Wassersystemen und Habitattypen zum Zweck der Fortpflanzung, Nahrungssuche, Flucht oder Ruhe

3.30

Mortalität

P_m

Wahrscheinlichkeit, mit der ein Fisch bei einer bestimmten Behandlung tödliche Verletzungen erleidet

3.31

Verstümmelungsrate

f_{MR}

Wahrscheinlichkeit, mit der eine Kollision mit einer Schaufel zu einer schweren Verletzung des Fisches führt

3.32

offene Turbine

Turbine, deren Rotorschaukeln in einem gewissen Abstand vom Gehäuse rotieren oder die kein Gehäuse haben

Anmerkung 1 zum Begriff: Wird auch als Freistromturbine bezeichnet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Sich annähernde Fische können die Berührung mit dem Turbinenrotor passiv oder aktiv durch den Spalt zwischen Rotor und Turbinengehäuse meiden.

3.33

Passageüberlebenswahrscheinlichkeit

Wahrscheinlichkeit, mit der ein Fisch die Passage durch eine Pumpe oder Turbine überlebt. Diese wird in einer Prüfung der Überlebensrate beurteilt

3.34

Druckleitung

Rohrleitung auf der Druckseite einer Maschine

3.35

Pumpwerk

Anlage, die mithilfe einer oder mehrerer Pumpen Oberflächenwasser transportiert, üblicherweise auf ein höheres Niveau

3.36

Rotor

rotierender Teil einer Pumpe oder Turbine

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Rotor wird auch als Impeller, Läufer oder Propeller bezeichnet.

3.37

Secchi-Tiefe

Tiefe, in der eine in das Wasser hinabgelassene Scheibe von der Oberfläche aus nicht mehr gesehen werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Secchi-Tiefe hängt von der Durchsichtigkeit des Wassers ab und ist ein Maß dafür, bis zu welcher Tiefe Licht das Wasser durchdringen kann. Sie wird als Schätzwert für den Abstand verwendet, bis zu dem ein Fisch ein Objekt erkennen kann.

3.38

schwere Verletzung

Verletzung, die zur direkten oder zu einer (erwarteten) längerfristigen Mortalität von Fischen führt

Anmerkung 1 zum Begriff: In dieser Norm werden schwere Verletzungen von Fischen über die Mortalität beurteilt.

3.39

Wellendrehzahl

Drehzahl eines Rotors, gemessen in Umdrehungen je Zeiteinheit

3.40

Scherung

zur Fließrichtung senkrechter Geschwindigkeitsgradient

3.41

Silberaal

geschlechtsreifer Aal von silbergrauer Farbe, der zur Fortpflanzung aus einem Binnengewässer in das Meer wandert

3.42

Junglachs

junger Lachs oder junge Meerforelle mit einem Alter von mindestens einem Jahr, der bzw. die aus Süßwasser ins Meer wandert

3.43

statische Druckhöhe

H_{st}

Differenz des Wasserstands zwischen den beiden Seiten einer Pumpen- oder Turbinenanlage, auch bezeichnet als Systemdruckhöhe

3.44

Kollisionsgeschwindigkeit

relative Momentangeschwindigkeit, mit der ein Fisch mit der Vorderkante einer Leit- oder Rotorscheufel einer Pumpe oder Turbine kollidiert

3.45

Saugleitung

Rohrleitung auf der Saugseite einer Maschine

3.46

Überlebenswahrscheinlichkeit

Wahrscheinlichkeit, mit der ein Fisch bei einer bestimmten Behandlung überlebt. Wird auch als Überlebensrate bezeichnet

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Überlebenswahrscheinlichkeit wird auch als $(1 - \text{Mortalität } P_m)$ angegeben.

3.47

Prüfung der Überlebensrate

Prüfung zur Ermittlung der Passageüberlebenswahrscheinlichkeit, bei der eine Gruppe von Prüffischen auf der Zulaufseite einer Pumpe oder Turbine ausgesetzt und ablaufseitig wieder eingefangen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Überlebensrate einer Kontrollgruppe von Fischen wird verwendet, um die Überlebensrate der Testgruppe im Hinblick auf die handhabungsbedingte Mortalität zu korrigieren. Wird auch als Prüfung der Passageüberlebenswahrscheinlichkeit bezeichnet.

3.48

Prüffische

Fische einer bestimmten Art und Größenklasse, die ausgesetzt werden, eine Pumpe oder Turbine passieren und danach in einem Fangnetz wieder eingefangen werden

3.49

Prüfszenario

Kombination aus Fischart, Größenklasse und Betriebsbedingungen einer Pumpe oder Turbine

3.50

Rechen

auch dem Schutz der Maschinen dienendes grobes Sieb zum Abschöpfen von Treib- und Schwemmgut, z. B. Wasserlinsen und anderen Pflanzen, Schnittgut, Holz und Abfällen

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Rechen dient auch dazu, Menschen und Tiere zu schützen.

3.51

Rechenreinigungsmaschine

Maschine, die den Rechen automatisch oder auf andere Weise von Treib- und Schwemmgut befreit und dieses an Land absetzt

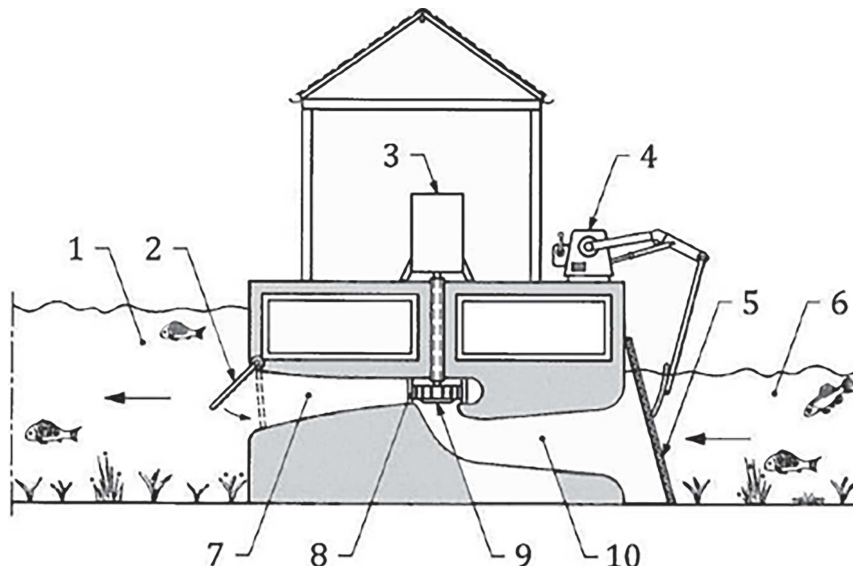
3.52

stromaufwärts migrierender Fisch

Fisch, der gegen die Strömungsrichtung des Wassers in eine Anlage schwimmt

4 Zeichnungen der Anlagen

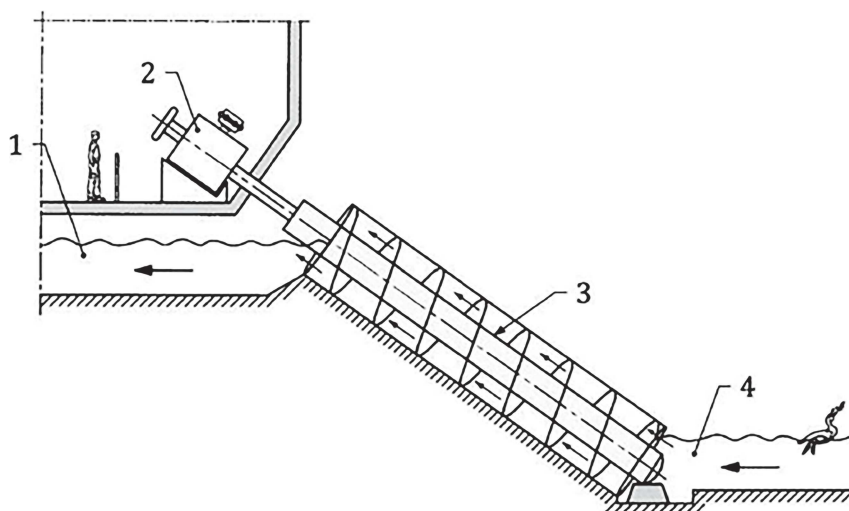
Dieser Abschnitt enthält schematische Zeichnungen der Anlagen.



Legende

- 1 Auslass
- 2 Rückflussverhinderer
- 3 Motor
- 4 Rechenreinigungsmaschine
- 5 Rechen (Rost mit großem Stegabstand)
- 6 Saugseite
- 7 Druckleitung
- 8 Leitschaukel
- 9 Pumpenimpeller
- 10 Ansaugkammer

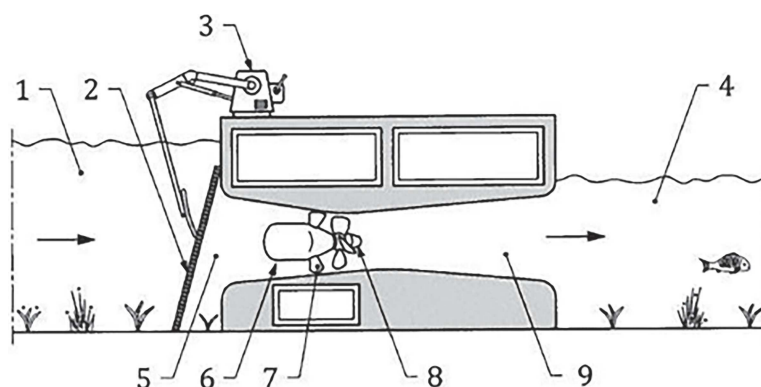
Bild 1 — Schematische Darstellung eines Pumpwerks



Legende

- 1 Auslass
- 2 Rückflussverhinderer
- 3 Motor
- 4 Rechenreinigungsmaschine

Bild 2 — Schematische Darstellung einer als Pumpe betriebenen archimedischen Schraube



Legende

- 1 zulaufseitiger Gewässerabschnitt
- 2 Rechen (Rost mit großem Stegabstand)
- 3 Rechenreinigungsmaschine
- 4 ablaufseitiger Gewässerabschnitt
- 5 Zulaufleitung
- 6 Wasserturbine
- 7 Leitschaufel
- 8 Turbinenrotor
- 9 Auslassdiffusor

Bild 3 — Schematische Darstellung eines Wasserkraftwerks

5 Technische Ausrüstung und Hilfsmittel

5.1 Fangnetz

Fische werden nach dem Passieren der Pumpe oder Turbine in einem Fangnetz wieder eingefangen. Das Netz ist als Vollstrom-Fangnetz ausgeführt und deckt den gesamten Volumenstrom einer Pumpen- oder Turbineneinheit ab. Bei der Konstruktion sollte darauf abgezielt werden, alle die Maschine passierenden Fische wieder einzufangen und zu verhindern, dass auf der Ablaufseite einer Pumpe oder Turbine lebende Fische eindringen.

Die Maße des Netzes sowie die Größe und Art der Maschen haben Einfluss auf die Fangquote und den Umfang der Verletzungen, die das Netz den Fischen zufügen kann. Es sollte die folgenden Merkmale haben:

- das Netz ist aus knotenfreiem Material hergestellt, um Schürfverletzungen der gefangenen Fische zu reduzieren;
- das Netz ist ausreichend groß (d. h. es hat eine ausreichende Nettofläche), um eine geringe Durchflussschwindigkeit zu erzielen und so das Verfangen von Fischen und damit einhergehende Verletzungen zu verhindern;
- die Maschenweite ist auf die Größe der zu fangenden Fische abgestimmt, um zu verhindern, dass Fische entkommen oder verletzt werden. Für Fische in der Größe von Junglachsen kann z. B. eine Maschenöffnung von 18 mm verwendet werden;
- Die Fische müssen leicht und ohne sie zu verletzen aus dem Fangnetz entnommen werden können.

Zusätzlich gilt:

- Das Netz ist groß genug, um es Fischen zu erlauben, sich vom Ablaufstrom zu entfernen und in Bereichen mit geringer Strömungsgeschwindigkeit Schutz zu suchen,

oder

- es wird am Ende des Fangnetzes ein schwimmender Fangkasten, ein Hältertank oder ein (norwegischer) Setzkescher angebracht, der groß genug ist, um ausreichend Schutz vor hohen Strömungsgeschwindigkeiten und Trübung zu bieten.

Zum Schutz vor Raubvögeln sollte das Netz vorzugsweise oben geschlossen sein.

Wenn bei Feldversuchen viel Treib- und Schwemmgut in das Netz gelangt, kann ein Netz mit einer größeren Fläche oder einer größeren Maschenweite erforderlich sein.

Wenn vor Ort der Einsatz eines Vollstrom-Fangnetzes nicht möglich ist, darf eine Kennzeichnung der Prüf- und Kontrollfische mit Ballons als zweitbestes Wiedereinfangverfahren erwogen werden.

5.2 Vorrichtung zum Aussetzen von Fischen

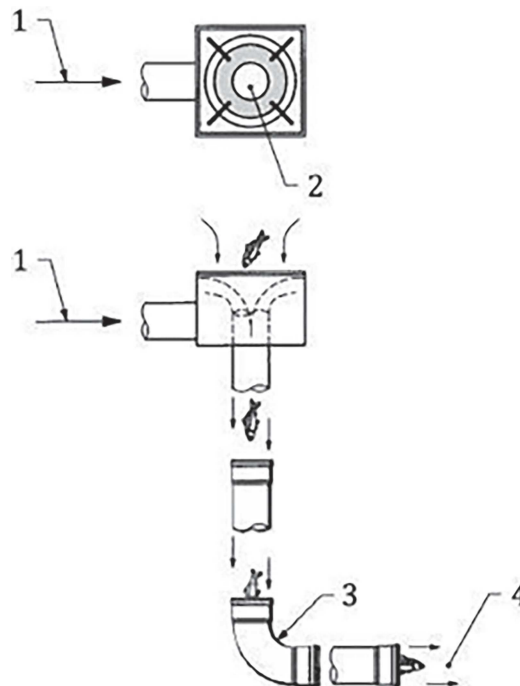
Ein Rohrleitungssystem zum Aussetzen von Fischen in eine Pumpen- oder Turbinenanlage mit einem minimalen Schadensrisiko. Die Vorrichtung zum Aussetzen ist so designt und gebaut, dass sie zu den Maßen des Einlaufbauwerks und zur größten Größenklasse der Fische in der Prüfung der Überlebensrate passt.

Alle Rohroberflächen sind poliert, Kanten sind abgerundet, Verengungen und Aufweitungen des Rohrdurchmessers erfolgen graduell. Rohrverbindungen sind innenseitig bündig. Hervorstehende Teile werden vermieden.

Nachdem die Fische in den Eingang gegeben wurden, werden sie durch einen sekundären Wasserstrom aus einer Pumpe oder einem Hältertank durch das Rohr gespült. Ein Rohrbogen mit großem Radius leitet die Fische parallel zur Strömung in das Einlaufbauwerk. Die Fließgeschwindigkeit des Spülwassers sollte idealerweise

der lokalen Strömungsgeschwindigkeit des Zulaufs am Punkt der Aussetzung entsprechen, üblicherweise etwa 1 m/s. Für gute Schwimmer wie etwa Salmoniden dürfen höhere Geschwindigkeiten gewählt werden.

Bild 4 zeigt eine Darstellung einer sicheren Vorrichtung zum Aussetzen von Fischen. Bild 5 zeigt, wie Fische ausgesetzt werden.



Legende

- 1 sekundärer Wasserzulauf
- 2 Aussetzen der Fische
- 3 Rohrbogen ($\geq 90^\circ$)
- 4 Aussetzung der Fische mit Wasser

Bild 4 — Darstellung einer Vorrichtung zum Aussetzen von Fischen, Drauf- und Seitenansicht



Bild 5 — Beispiel für das Aussetzen von Fischen

5.3 Transporttank

Für den Transport von Fischen über große Distanzen verwendeter Tank.

Empfohlene Besatzdichte: ≤ 20 g Fisch je Liter Wasser. Mit kontinuierlicher Sauerstoffzufuhr und Austrag giftiger Gase. Darf ein Wasserumwälzsystem umfassen, um Sauerstoffkonzentration und Wassertemperatur zu erhalten, sowie Mittel zur Überwachung und Steuerung/Regelung dieser Bedingungen.

5.4 Hältertank

Schließ- und abdeckbarer Tank, in dem die Fische vor und während der Prüfung der Überlebensrate gehältert werden.

Das Volumen des Tanks hängt von der Anzahl und der Größe der Fische ab. Empfohlene Besatzdichte: ≤ 20 g Fisch je Liter Wasser. Jeder Tank hat eine kontinuierliche Sauerstoffzufuhr und einen Austrag giftiger Gase. Darf ein Wasserumwälzsystem umfassen, um Sauerstoffkonzentration und Wassertemperatur zu erhalten, sowie Mittel zur Überwachung und Steuerung/Regelung dieser Bedingungen.

ANMERKUNG Prüf- und Kontrollfische können in separaten Tanks, aber unter denselben Bedingungen (Wasserqualität, Besatzdichte) gehältert werden.

5.5 Setzkescher

Zur temporären Hälterung von Fischen verwendetes Netz, das so designt ist, dass es von Wasser durchströmt werden kann und die Fische am Leben erhält, solange sie sich im Netz befinden. Sollte in einem langsam strömenden Bereich des Wassers positioniert werden. Setzkescher sollten aus knotenfreiem Material bestehen und mit weichem Netz verschlossen oder abgedeckt werden können.

ANMERKUNG 1 Die Abdeckung dient dazu, vor Verlust von Fischen, vor Verletzungen und vor Raubvögeln zu schützen.

ANMERKUNG 2 Aufgrund des Risikos, dass die Fische Raubtieren zum Opfer fallen, und der potentiellen Schwierigkeiten bei der Durchführung von Erhebungen, etwa aufgrund der fehlenden Sichtbarkeit der Fische, die das Überprüfen ihres Wohlergehens behindert, werden Hältertanks Setzkeschern vorgezogen.

5.6 Kleiner Transportbehälter

Tank, Wanne oder Eimer, mit einem Deckel verschließbar, für den Transport von Fischen über geringe Distanzen am Prüfort. Wird nur für kurze Zeitspannen verwendet (weniger als 10 min). Beispiel: 25 Fische mit einer Größe von 150 mm in 40 l.

Alle Fische, die versehentlich aus einem Transporttank, einem Hältertank oder einem kleinen Transportbehälter entkommen sind, müssen von der Prüfung der Überlebensrate ausgeschlossen werden.

5.7 Messbrett

Kunststoffbeschichtetes Brett zur Messung der Länge eines Fisches. Die Länge des Brettes entspricht mindestens der maximalen Größenklasse der verwendeten Fische + 5 cm. Mit glatter Oberfläche und Rinnenform.

ANMERKUNG Aufgrund der glatten Oberfläche können die Fische nicht geschädigt werden. Die Rinnenform hält Silberaale in einer stabilen Position.

5.8 Anästhetika

Chemikalien zur Sedierung oder Euthanasierung von Fischen. Beispiele für Anästhetika, die bei Prüfungen der Überlebensrate von Fischen verwendet werden können, sind MS222, Benzocain und Isoeugenol. Die Dosis muss je nach Art, Fischgröße und Temperatur angepasst werden.

Um die Untersuchung der Fische auf Verletzungen zu erleichtern, wird eine geringe Anästhetikadosis verwendet. Um schwer verletzte Fische zu euthanasieren, wird eine tödliche Dosis verwendet.

5.9 Tierwohltagebuch

Dokumentation von Beobachtungen und Messungen im Hinblick auf das Wohlergehen von Fischen, einschließlich ihrer Gesundheit, ihres Verhaltens und der Hälterungsbedingungen.

ANMERKUNG 1 Im Tagebuch kann festgehalten werden, nach welcher bzw. welchen nationale(n) Vorschrift(en) zum Tierwohl die Prüfungen der Überlebensrate vorgenommen werden.

ANMERKUNG 2 Auch die während der Überwachung des Wohlergehens der Fische ergriffenen Maßnahmen werden notiert. Die Dokumentation von Befunden und Messungen ist besonders nützlich, wenn eine klare Identifikation der Tiere bzw. Tiergruppen vorgenommen wurde.

ANMERKUNG 3 Anhang E enthält ein Beispiel für Abschnitte eines Tierwohltagebuchs.

ANMERKUNG 4 Es wird auf die Richtlinie 2010/63/EU [4] zum Schutz der für wissenschaftliche Zwecke verwendeten Tiere hingewiesen. Anhang F enthält einige Informationen über diese Richtlinie und damit in Zusammenhang stehende Rechtsvorschriften.

6 Prüfung der Überlebensrate von Fischen

6.1 Autorisierung und Sicherheit

Nur autorisierte und qualifizierte Personen dürfen Tierversuche durchführen. Es ist von äußerster Wichtigkeit, sicherzustellen, dass der Prüfort, sowohl im Feld als auch im Labor, vor, während und nach der Prüfung für nicht autorisierte Personen nicht zugänglich ist.

Zur Sicherheit des Forschungsteams müssen die Festigkeit der Konstruktion der Prüfeinrichtung sowie der Zugang zu ihr eingehend beurteilt werden.

6.2 Rechtsvorschriften und Verordnungen

Hinsichtlich des Verfahrens einer Prüfung der Überlebensrate von Fischen wird auf EU- und nationale Rechtsvorschriften sowie die Anweisungen von nationalen Stellen, Umweltagenturen und Regulierungsbehörden verwiesen.

ANMERKUNG In einigen EU-Mitgliedstaaten muss eine Ethikkommission angehört werden.

6.3 Ablaufdiagramme

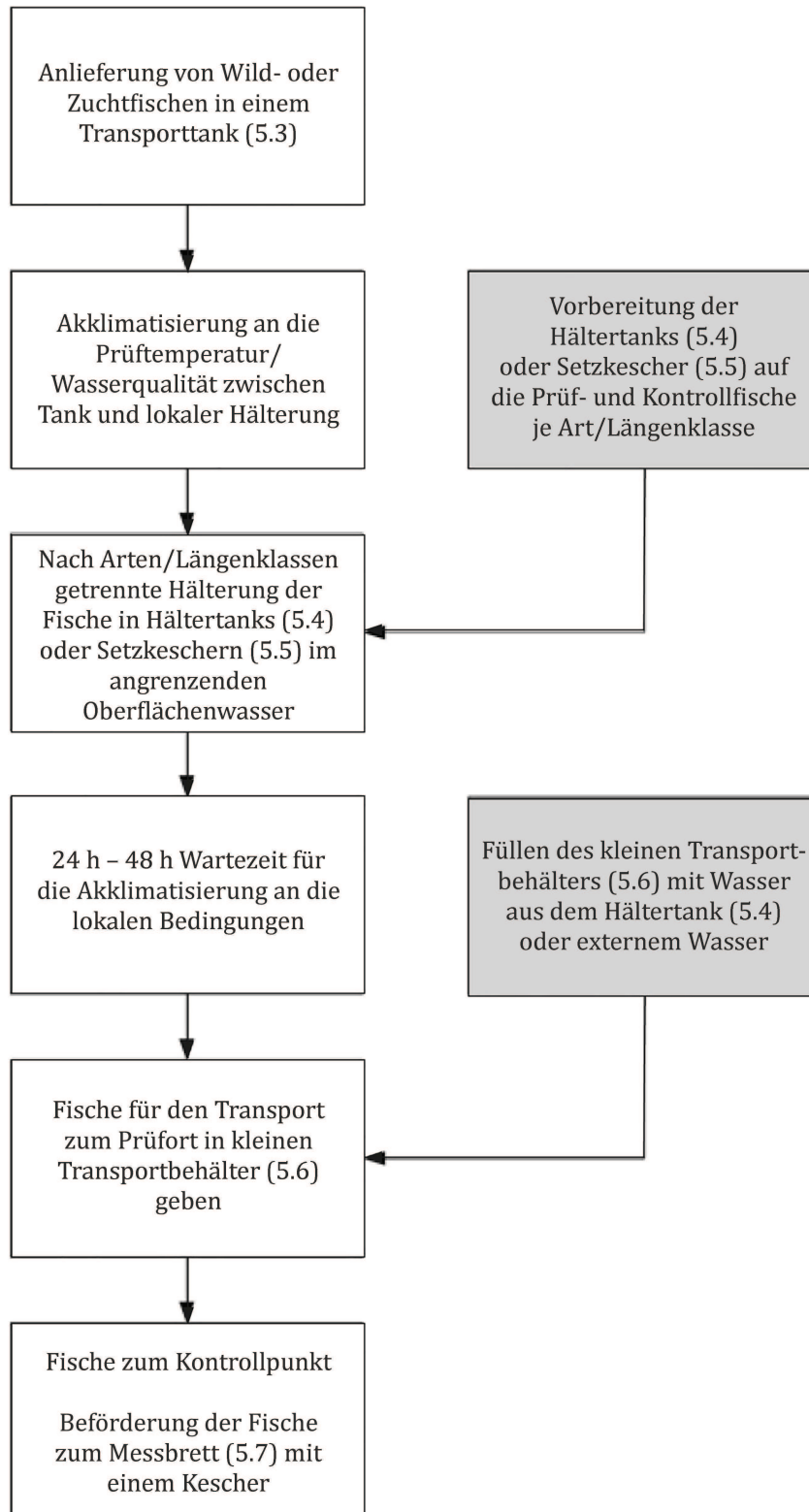


Bild 6 — Ablaufdiagramm Teil 1: Bereitstellung der Fische

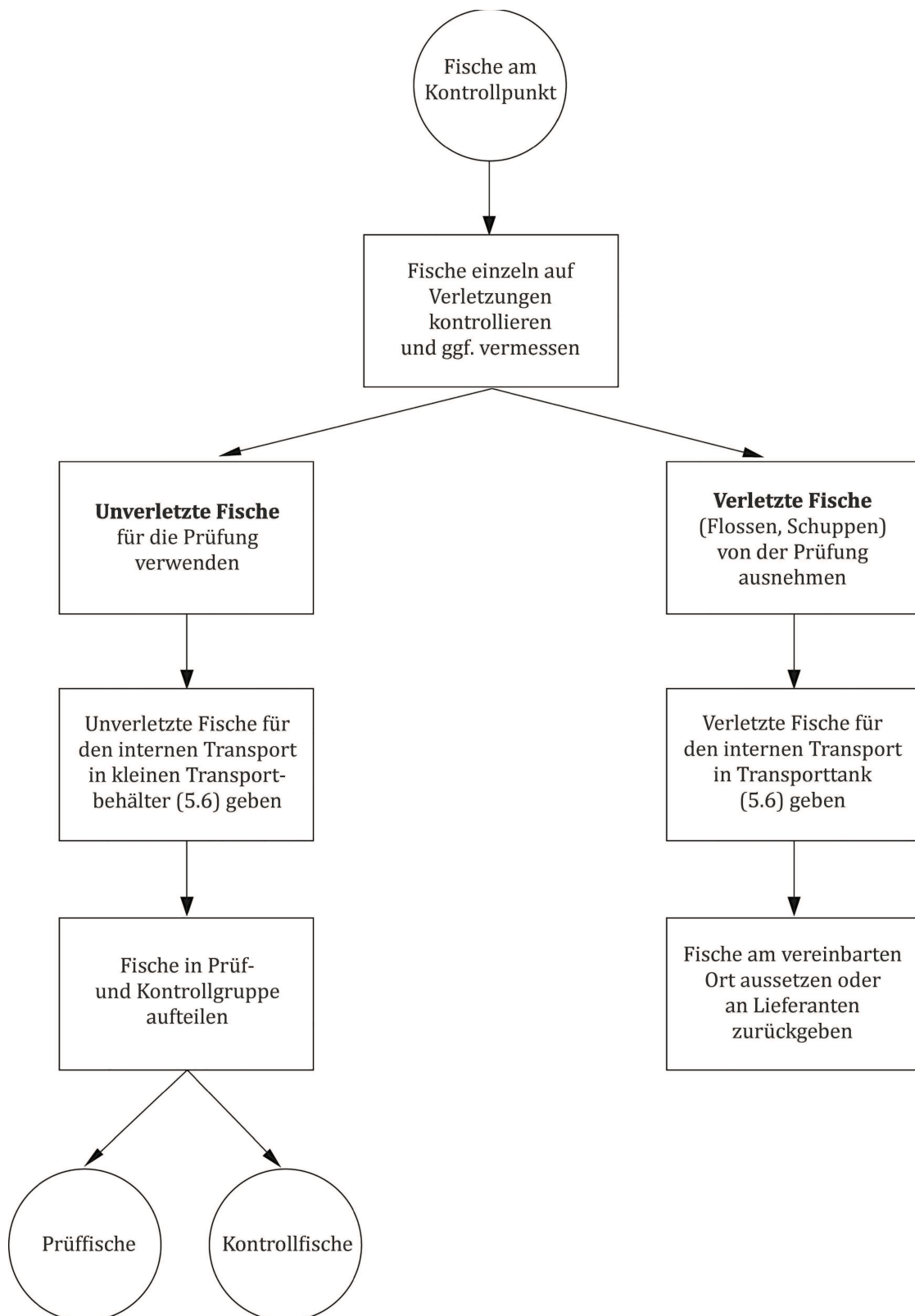


Bild 7 — Ablaufdiagramm Teil 2: Überprüfung der Fische vor der Prüfung der Überlebensrate

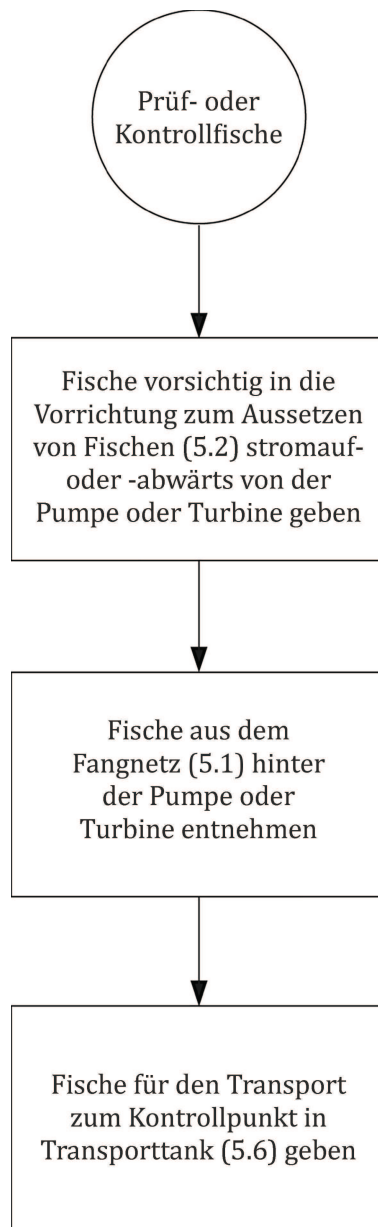


Bild 8 — Ablaufdiagramm Teil 3: Durchführung der Überprüfung der Überlebensrate

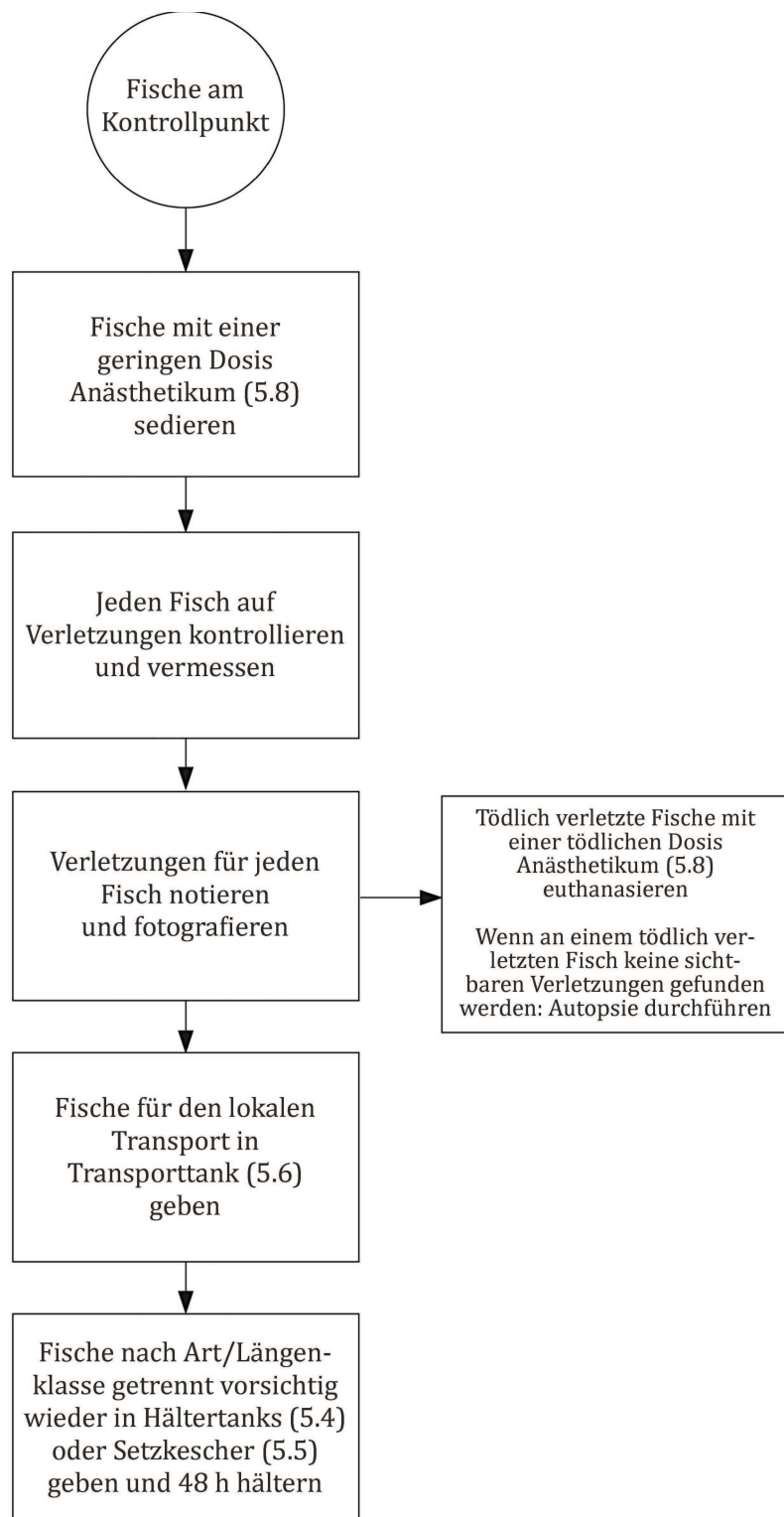


Bild 9 — Ablaufdiagramm Teil 4: Überprüfung der Fische nach der Prüfung der Überlebensrate

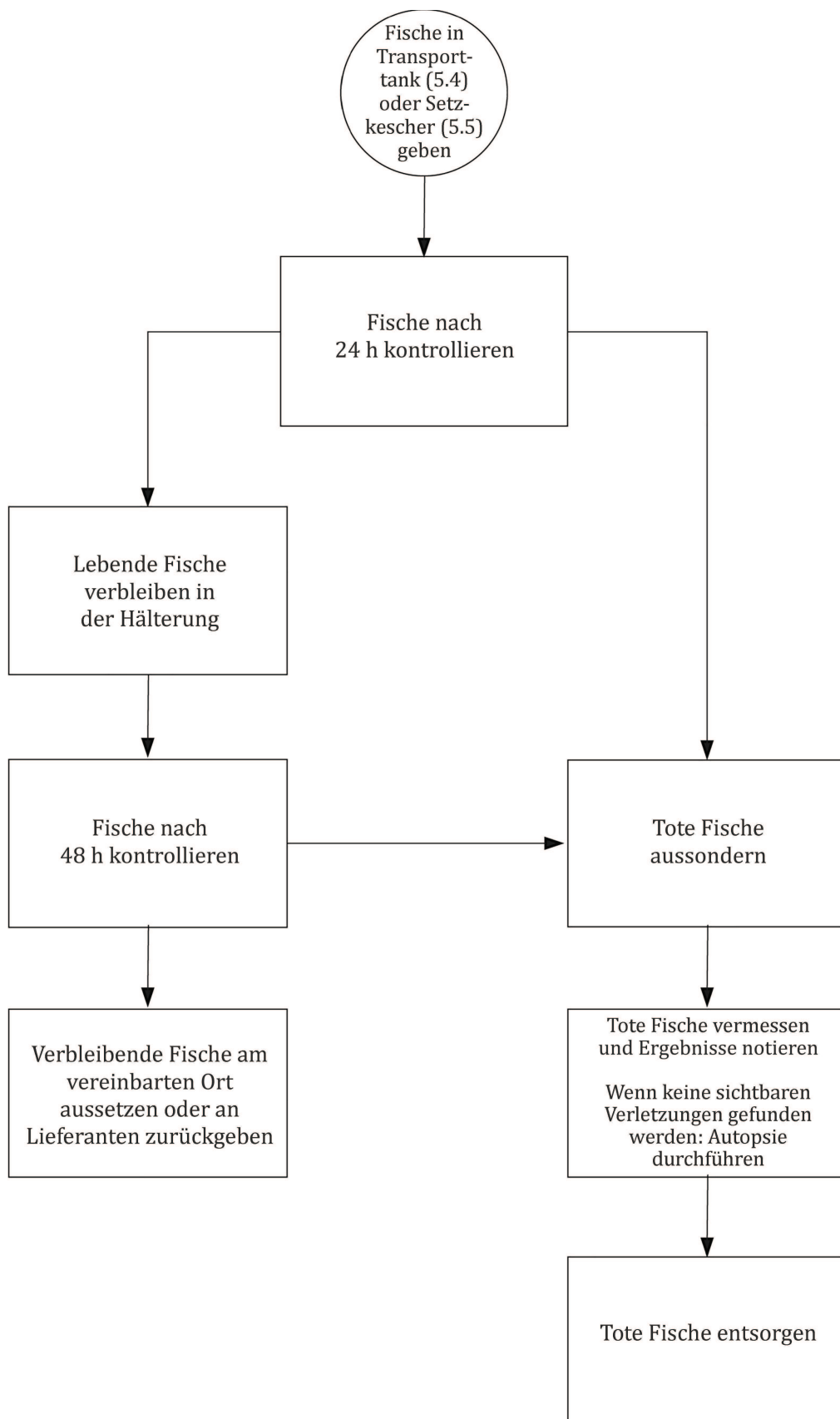


Bild 10 — Ablaufdiagramm Teil 5: Überprüfung auf verzögerte Mortalität und Abschluss der Prüfung der Überlebensrate

6.4 Betriebsbedingungen

Die Betriebsbedingungen einer Pumpe oder Turbine sind als eine spezifische Kombination von Durchfluss durch die Maschine, Förder- bzw. Fallhöhe, Wellendrehzahl sowie Impeller- oder Läufer- und Leitschaufeleinstellungen definiert.

An einer bestehenden Pumpe oder Turbine vorgenommene Feldversuche werden unter den vor Ort vorherrschenden normalen Betriebsbedingungen oder unter den Betriebsbedingungen vorgenommen, die während der Migrationsperioden der zu prüfenden Fische üblicherweise angetroffen werden. Nicht geeignet sind Prüfungen bei ungewöhnlich hohem oder niedrigem Wasserstand oder bei Betriebsbedingungen, die im Hinblick auf die Fischmortalität als ungünstigster Fall angesehen werden, wenn diese im Laufe eines Jahres nur selten vorkommen.

Die Betriebsbedingungen eines Feldversuchs werden vom Kunden definiert und müssen von den lokalen Umweltschutzbehörden vor der Prüfung der Überlebensrate von Fischen genehmigt werden.

Laborprüfungen werden bei den Bemessungsbedingungen der Pumpe oder Turbine sowie bei der angestrebten Fall- bzw. Förderhöhe oder bei verschiedenen Betriebsbedingungen innerhalb eines Zielbereichs an Betriebsbedingungen vorgenommen. Zielbetriebsbedingungen sind die an dem bzw. den Standorten, an denen die Maschine (üblicherweise) in der Praxis installiert wird, herrschenden Bedingungen. Prüfungen können an einem maßstabsgetreuen Modell vorgenommen werden. Dabei müssen die Größe der Maschine, die Länge der Fische und die Betriebsbedingungen während der Prüfung der Überlebensrate geometrisch ähnlich zum jeweiligen originalmaßstäblichen Äquivalent und kinematisch gleich sein (Abschnitt 8). Letzteres bedeutet, dass die Fall- bzw. Förderhöhe in einer maßstabsgetreuen Prüfung gleich dem Zielwert der Fall- bzw. Förderhöhe in der Praxis ist.

Die manometrische Förderhöhe bei einer Laborprüfung sollte durch Herstellen einer statischen Druckhöhendifferenz zwischen Druck- und Saugseite realisiert werden, nicht durch Drosseln mit einem Ventil.

6.5 Auswahl und Herkunft der Fische

6.5.1 Fischarten und Größenklassen

Die im Feldversuch verwendeten Fischarten und Größenklassen werden so ausgewählt, dass sie die Arten und Größenklassen der Fische widerspiegeln, die in die Anlage eingezogen werden. Die Auswahl wird vor der Prüfung der Überlebensrate von Fischen vom Kunden im Einvernehmen mit lokalen Umweltbehörden getroffen und hängt von den spezifischen Merkmalen des Standorts (z. B. Siebvorrichtungen, die das Eindringen bestimmter Arten oder Größen wirksam verhindern), der Art des Gewässers mit dem spezifischen Fischbestand und den relevanten (geschützten) Fischarten, die in dem Gewässer leben oder durch dieses migrieren, ab. Die mögliche zukünftige Entwicklung eines Gewässers im Hinblick auf die dort lebenden Arten darf berücksichtigt werden. Wenn die Beschaffung oder Prüfung von Zielarten (im Falle von seltenen, gefährdeten oder stark gefährdeten Arten) beschränkt ist, dürfen stärker verbreitete Arten als Ersatz verwendet werden.

Laborprüfungen werden mit Fischarten durchgeführt, die am bzw. an den Standorten, an denen die Maschine (üblicherweise) installiert wird, anzutreffen sind. Die in Westeuropa je nach Art des Gewässers zu prüfenden Fischarten sind in Tabelle 1 angegeben. Laborprüfungen werden (mindestens) mit der angegebenen Standard-Größenklasse durchgeführt. Die Prüfungen können an einem maßstabsgetreuen Modell vorgenommen werden. Dabei müssen die Größe der Maschine und die Länge der Fische geometrisch ähnlich zum jeweiligen originalmaßstäblichen Äquivalent sein (Abschnitt 8).

Tabelle 1 — Standard-Fischarten und -Größenklassen für Laborprüfungen der Überlebensrate

Gewässer	Familie	Art	Größenklasse	
			durchschnittliche Länge	minimale und maximale Länge
Polder/Marschland	Anguillidae	Silberaal und/oder Glasaal	80 cm 8 cm	70–90 cm 7–10 cm
	Cyprinidae	Rotaugen oder Brachse oder Güster	22.5 cm	20–25 cm
Fluss	Anguillidae	Silberaal	80 cm	70–90 cm
	Salmonidae	junger Lachs, junge Regenbogenforelle oder junge Atlantische Forelle und/oder adulte Tiere	20 cm 55 cm	15–25 cm 40–70 cm
Tidebecken/Meer	Moronidae	Seebarsch	40 cm	30–50 cm
	Pleuronectidae	Flunder	30 cm	25–35 cm

Zusätzlich müssen bei der Prüfung von offenen archimedischen Schrauben auch kleine Aale (30 cm bis 60 cm, durchschnittliche Länge 45 cm) geprüft werden. Das Risiko des Verfangens in Spalten von offenen archimedischen Schrauben wird in B.2.1.2 erläutert.

6.5.2 Anzahl der Fische

Eine Prüfung der Überlebensrate von Fischen besteht aus der Aussetzung und dem nachfolgenden Wiedereinfangen von zwei Losen von Fischen unter denselben Betriebsbedingungen: einer Prüfgruppe und einer Kontrollgruppe. Die Fische beider Gruppen sind von derselben Art und Größenklasse und befinden sich in einem ähnlichen Gesundheitszustand. Die Kontrollgruppe dient dazu, die durch die Handhabung und das Wiedereinfangen verursachte Mortalität zu beurteilen. Diese wird verwendet, um die Mortalität der Prüfgruppe zu korrigieren und die passagebedingte Mortalität zu bestimmen. Idealerweise sind die Fischlängen innerhalb einer Gruppe symmetrisch um den Mittelwert verteilt.

Bei der Prüfung der Überlebensrate von Fischen sollte die minimale Anzahl an Fischen verwendet werden, die zu verlässlichen Ergebnissen führt [4]. Auf Basis einer Vorabschätzung der Passageüberlebenswahrscheinlichkeit S und der Überlebensrate der Kontrollgruppe S_c kann die erforderliche Anzahl an Prüf- und Kontrollfischen zur Erreichung eines gewünschten absoluten Fehlers ϵ und eines Signifikanzwerts α geschätzt werden, z. B. ein Vertrauensintervall von $\pm 5\%$ zu einem Vertrauensniveau von 95 %. Details siehe D.2 und D.3.

Wenn a priori keine Überlebensraten geschätzt werden können, kann eine Auswahl aus 100 wieder eingefangenen Fischen aus jeder Gruppe akzeptabel sein. Für Überlebensraten S und S_c über 90 % ergibt dies einen absoluten Fehler von weniger als $\pm 10\%$ für ein Vertrauensintervall von 95 %.

Die Anzahl der wieder eingefangenen Fische darf kleiner als die Anzahl der ausgesetzten Fische in einer Gruppe sein. In den Einlauf eingesetzte Fische können vor der Passage entkommen, und Fische können das Fangnetz umgehen oder durch Öffnungen zwischen Netz und Pumpen- oder Turbinengehäuse entkommen. Der Anteil der entkommenen Fische hängt von der Fischart, der Länge und den Betriebsbedingungen der Pumpe oder

Turbine ab. Die (geschätzte) Wahrscheinlichkeit des Wiedereinfangens muss bei der Gesamtzahl der für eine Prüfung der Überlebensrate benötigten Fische berücksichtigt werden.

Anhang D enthält weitere Informationen über die Beziehung zwischen der Anzahl der Fische und dem absoluten Fehler einer Prüfung der Überlebensrate von Fischen.

6.5.3 Herkunft der Fische

Für die Prüfung der Überlebensrate müssen Zuchtfische verwendet werden. Nur wenn dies nicht möglich ist, kann (je nach nationalen Rechtsvorschriften) die Verwendung von Wildfischen erwogen werden, wenn wissenschaftlich begründet wird, dass der Zweck der Prüfung ohne Verwendung von Wildfischen nicht erzielt werden kann.

ANMERKUNG Es wird auf die Richtlinie 2010/63/EU [4] hingewiesen.

6.6 Vorbereitung einer Prüfung der Überlebensrate von Fischen

6.6.1 Transport der Fische zum Prüfort

Wenn Fische aus einer Zucht oder aus dem Wildbestand zum Prüfort transportiert werden, muss dies im Herkunftswasser geschehen. Es sollte ein Transporttank (5.3) mit einer kontinuierlichen Sauerstoffzufuhr verwendet werden.

Vor dem grenzüberschreitenden Transport innerhalb der EU müssen die Fische von einem Tierarzt untersucht werden. Der Spediteur sollte im Besitz von TRACES-Dokumenten sein (Trade Control and Expert System).

6.6.2 Akklimatisierung der Fische vor Ort

Nach dem Eintreffen der Fische am Prüfort müssen sie an das Wasser des Prüforts akklimatisiert werden. Wasser vom Prüfort wird nach und nach mit dem Transportwasser gemischt, sodass das Transportwasser über eine Zeitspanne von etwa 30 min vollständig durch Wasser vom Prüfort ersetzt ist.

Im Allgemeinen können Salzwasserfische nur an einem Prüfort auf See verwendet werden. Außer bei Meeresfischen mit einer hohen Toleranz gegenüber Wasser mit einem niedrigen Salzgehalt (z. B. Flundern) ist eine Akklimatisierung an das Wasser im Prüfstand, das einen anderen Salzgehalt haben kann, erforderlich. Die Akklimatisierung erfolgt durch langsames Mischen des Herkunftswassers (Seewasser) mit dem Prüfwasser, bis der Salzgehalt des Wassers dem des Prüfwassers entspricht. Die für eine vollständige Akklimatisierung an das Prüfwasser benötigte Zeitspanne hängt von der Differenz des Salzgehalts zwischen dem Herkunfts- und dem Prüfwasser ab und ist daher bei jedem Experiment anders.

6.6.3 Hälterung der Fische vor Ort

6.6.3.1 Allgemeines

Nach dem Transport zum Prüfort und der Akklimatisierung werden die Fische 24 h bis 48 h lang gehältert, damit sie sich von möglichem transportbedingtem Stress erholen. Alle Fische müssen unter denselben Bedingungen (Besatzdichte, Sauerstoffkonzentration, Temperatur, Wasserqualität und -zufuhr) gehältert werden.

Die Fische werden auf eine der folgenden Weisen gehältert:

- in Hältertanks (5.4) mit einer kontinuierlichen Durchströmung mit Wasser vom Prüfort. Im Hältertank kann ein geeignetes knotenfreies Netz vorhanden sein, um die Fische leicht aus dem Hältertank entnehmen zu können. Dieses ist das bevorzugte Hälterverfahren.
- in großen (norwegischen) Setzkeschern (5.5), die falls möglich unmittelbar neben dem Prüfort im Wasser platziert werden.

6.6.3.2 Anforderungen an die Hälterung von Fischen in Hältertanks

Hältertanks (5.4) müssen mit einer Pumpenanlage ausgestattet sein, die für eine kontinuierliche Durchströmung mit Frischwasser und so für gute und stabile Hälterungsbedingungen (Sauerstoffzufuhr, Temperatur und Wasserqualität) sorgt. Hältertanks stets mit einem Deckel oder einer Plane abdecken.

ANMERKUNG Der Zweck der Abdeckung besteht darin, eine möglichst ruhige und dunkle Umgebung für die Prüftiere zu schaffen, um den Stress zu minimieren, und zu verhindern, dass Fische entkommen oder Raubvögeln zum Opfer fallen.

6.6.3.3 Anforderungen an die Hälterung in Setzkeschern

Bei Verwendung von Setzkeschern (5.5) gelten die folgenden Anforderungen:

- Es muss eine für die verwendete Fischart ausreichende Durchströmung vorhanden sein.
- Fischarten aus stehenden Gewässern (z. B. Cypriniden) müssen in Setzkeschern mit einer optimalen Durchflussgeschwindigkeit von 0,1 m/s (nicht mehr als 0,3 m/s) gehältert werden. Fischarten aus Fließgewässern (z. B. Salmoniden) müssen in Setzkeschern mit einer minimalen Durchflussgeschwindigkeit von 0,3 m/s (nicht mehr als 0,5 m/s) gehältert werden. Wenn der Durchfluss die genannten Untergrenzen nicht erreicht, muss von oben über ein Rohrsystem Frischwasser in die Setzkescher gesprüht werden.
- Setzkescher müssen mit weichem Netz bedeckt sein.

6.6.4 Fütterung der Fische

Prüfungen der Überlebensrate von Fischen dauern üblicherweise einige Tage bis zu einer Woche. Eine ergänzende Fütterung ist nicht notwendig.

6.6.5 Fangnetz

Auf der Ablaufseite der Turbine oder Pumpe wird unter Berücksichtigung der Anforderungen nach 5.1 ein zum Prüfaufbau im Feld oder im Labor passendes Fangnetz installiert. Das Netz wird dicht am Auslaufbauwerk der Pumpe oder Turbine abgeschlossen, um die Zahl der entkommenden Versuchsfische und der eindringenden stromabwärts lebenden Fische zu minimieren.

Vor der eigentlichen Prüfung der Überlebensrate von Fischen wird die Wiedereinfangvorrichtung bei unterschiedlichen Durchflussgeschwindigkeiten des Prüfprogramms verwendet, um den Anteil der Fische zu bestimmen, denen es gelingt, zu entkommen, und um den durch die Netze und das Wiedereinfangen verursachten Schaden zu beurteilen. Wenn die nachfolgenden Prüfergebnisse Anlass dazu bieten, wird die Konstruktion angepasst und optimiert.

6.6.6 Vorrichtung zum Aussetzen von Fischen

Unter Berücksichtigung der Anforderungen nach 5.2 wird eine zum Prüfaufbau im Feld oder im Labor passende Vorrichtung zum Aussetzen von Fischen installiert. Diese Vorrichtung dient dazu,

- Prüffische in den Einlauf einer Pumpe oder Turbine auszusetzen,
- Kontrollfische in das ablaufseitige Fangnetz einer Pumpe oder Turbine auszusetzen.

Wenn der Aufbau der Vorrichtung oder die Umstände am Prüfort eine wechselnde Platzierung der Vorrichtung nicht zulassen, sollte eine identische zweite Aussetzvorrichtung für die Verwendung am Ablauf der Pumpe oder Turbine konstruiert werden. Die zweite Vorrichtung sollte vor der Aussetzung von Prüffischen auf der Zulaufseite der Pumpe oder Turbine entfernt werden.

Die Aussetzung der Prüffische erfolgt nahe am Zugang oder im Einlauf (Druckrohrleitung, Saugleitung oder Saugkasten) einer Pumpe oder Turbine. Wenn das Einlaufbauwerk einen Rechen umfasst, muss der Aussetz-

punkt dem Rechen nachgeordnet sein. Falls nötig wird der Rechen vorübergehend entfernt, um den Zugang zu erleichtern.

Der Aussetzpunkt im Einlauf darf ein Kompromiss sein, der die Möglichkeit folgender Aspekte berücksichtigt:

- systematischer Messfehler: Der Aussetzpunkt der Prüffische auf der Zulaufseite einer Pumpe oder Turbine wirkt sich auf die Bahnlinie der Fische durch die Anlage und damit auf die Verletzungswahrscheinlichkeit und die Mortalität aus. Es empfiehlt sich, den Aussetzpunkt so weit wie möglich stromaufwärts vom Impeller oder Läufer anzuordnen.
- Flucht vor der Passage: Fische können mit dem Versuch, stromaufwärts zu flüchten, auf ihre Aussetzung reagieren. Werden die Fische näher am Impeller oder Läufer eingesetzt, wo die Strömungsgeschwindigkeiten im Einlaufbauwerk üblicherweise größer sind, verringert sich ihre Chance, zu flüchten.

Der optimale Aussetzpunkt hängt von der Durchflussrate durch die Maschine sowie der Art und Länge der Fische ab.

Die Berücksichtigung systematischer Messfehler ist bei großen Pumpen und Turbinen besonders wichtig. Es empfiehlt sich, eine Prüfgruppe von Fischen in kleinere Lose zu unterteilen und die Aussetzpunkte dieser Lose über den Querschnitt des Einlaufkanals zu verteilen.

6.7 Durchführung einer Prüfung der Überlebensrate von Fischen

6.7.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt wird das Verfahren für die Durchführung einer Prüfung der Überlebensrate für eine gegebene Fischart und Größenklasse bei festen Betriebsbedingungen der Pumpe oder Turbine beschrieben. An einer Prüfung der Überlebensrate von Fischen sind zwei Gruppen von Fischen beteiligt: eine Prüfgruppe und eine Kontrollgruppe. Natürlich unterscheiden sich die Punkte, an dem die Gruppen in die Anlage eingesetzt werden, voneinander, doch sind Handhabung und Verfahren ansonsten für die beiden Gruppen identisch.

6.7.2 Aussetzen und Wiedereinfangen

Vor der eigentlichen Prüfung der Überlebensrate werden 10 Fische in den Einlauf der Maschine ausgesetzt, wieder eingefangen und beobachtet. Die Prüfung wird nur fortgesetzt, wenn nach der Passage nicht mehr als 3 Fische tot (oder tödlich verletzt) sind.

Prüf- und Kontrollfischgruppen werden derselben Population mit derselben Herkunft entnommen. Alle Hälterungs-, Handhabungs-, Aussetz- und Wiedereinfangverfahren sind für beide Gruppen identisch.

Vorbereitung der Gruppe (Bild 7):

Mit einem Kescher wird dem Hältertank (5.4) oder dem Setzkescher (5.5) ein Los Fische entnommen. Die Fische werden in einem kleinen Transportbehälter (5.6) zum Kontrollpunkt gebracht. Alle Fische werden genau auf vorhandene Verletzungen untersucht. Verletzte Fische werden ausgesondert. Falls erforderlich wird die Länge aller Fische auf einen Zentimeter gemessen, um sicherzustellen, dass sie in die erforderliche Größenklasse fallen, und sie werden zufällig der Prüf- oder Kontrollgruppe zugeordnet (idealerweise ist die Verteilung der Länge der Fische in der Prüf- und Kontrollgruppe identisch und symmetrisch zum Mittelwert). Fische, die nicht in die erforderliche Größenklasse fallen, werden ausgesondert.

Die auszusetzenden Fische in jeder Gruppe werden gezählt und die Anzahl wird in einem Protokoll notiert. Das Aussetzen und Wiedereinfangen der beiden Gruppen (Prüf- und Kontrollgruppe) erfolgt separat nacheinander sowie unter identischen Betriebsbedingungen der Maschine, d. h. die Kontrollgruppe wird bei laufender Maschine in die Wiedereinfangvorrichtung eingesetzt.

Aussetz-/Wiedereinfangverfahren (Bild 8):

Die Fische werden zur Vorrichtung zum Aussetzen (5.2) transportiert und vorsichtig ausgesetzt. Die für das Aussetzen der Fische aufgewendete Zeitspanne wird aus Gründen des Tierwohls und um mögliche Schädigungen in der Wiedereinfangvorrichtung zu begrenzen auf ein Minimum begrenzt.

Nach dem Aussetzen aller Fische einer Gruppe, spätestens jedoch 10 min nach Beginn der Prüfung, wird die Pumpe oder Turbine abgeschaltet (bei einem Feldversuch nur dann, wenn die Bedingungen im Feld dies zulassen). Die wieder eingefangenen Fische werden dem Fangnetz (5.1) entnommen und mit einem Kescher in einen großen Hältertank verbracht, damit sie sich erholen. Die Fische werden in einen Transporttank (5.6) verbracht und mit einer kleinen Dosis eines Betäubungsmittels (5.8) sediert.

6.7.3 Beurteilung der Verletzungen der Fische

Unmittelbar nachdem die Fische in den Hältertank verbracht wurden, um sich vom Versuchsablauf zu erholen, wird damit begonnen, tote Tiere auszusondern und zu zählen. Schwer verletzte Tiere (Kategorie 3 in Tabelle 2) werden ausgesondert, gezählt und euthanasiert (5.8). Nach der Erholung (normales Schwimmverhalten) werden die lebenden Fische mit einer kleinen Dosis eines Anästhetikums (5.8) sediert und im Detail auf mögliche Verletzungen untersucht.

ANMERKUNG Sedierte Fische sind leicht handzuhaben und weniger gestresst, und die Untersuchung auf Verletzungen kann stattfinden.

Die detaillierte Untersuchung und Klassifizierung der Verletzungen der Fische wird unmittelbar nach der Prüfung der Überlebensrate (Bild 9) sowie 48 h nach der Prüfung (Bild 10) nach dem im Folgenden beschriebenen Verfahren vorgenommen.

Die sedierten Fische werden einzeln auf Verletzungen untersucht. Die Länge jedes einzelnen Fisches wird gemessen und die Verletzung wird nach Tabelle 2 klassifiziert. Fische der Kategorien 3 und 4 werden wie folgt fotografiert:

- mit dem Kopf nach links auf dem Messbrett (5.7);
- detaillierte Fotos aller Verletzungen.

Länge, Art und Klasse der Verletzungen werden im Protokoll notiert. Die Gesamtanzahl der wieder eingefangenen Fische der Gruppe sowie die Anzahl der Fische in den Kategorien 3 und 4 werden im Protokoll notiert.

Tote Fische ohne sichtbare Verletzungen werden autopsiert (6.7.3).

Tabelle 2 — Klassifizierung in Verletzungskategorien

		Kategorie
1.		gesunde, unverletzte Fische
2.		leicht verletzte Fische
	2.1	gerötete und/oder verletzte Augen
	2.2	gerötete und/oder verletzte Flossen
	2.3	leichte Kratzer, Prellungen und/oder Verlust von Schuppen auf < 20 % der Oberfläche
3.		schwer (tödlich) verletzte Fische
	3.1	erheblicher Verlust von Schuppen auf > 20 % der Oberfläche [5]
	3.2	Schnittverletzungen, Platzwunden, abgetrennte Körperteile
	3.3	Frakturen
	3.4	schwer verletzte oder fehlende Augen

Tabelle 2 (fortgesetzt)

		Kategorie
	3.5	schwer verletzte Kiemen oder Kiemendeckel
	3.6	schwere Platzwunden und/oder Blutungen
	3.7	anormales Schwimmverhalten
4.		tote Fische

Die gesunden, unverletzten Fische (Kategorie 1) und die leicht verletzten Fische (Kategorie 2) werden in einem Hältertank (5.4) oder einem Setzkescher (5.5) gehältert. Diese Fische werden 48 h lang gehältert, während ihr Zustand (6.7.6) und die Wasserqualität (6.7.5) überwacht werden. Die Fische dürfen nicht gefüttert werden.

Während einer Zeitspanne von 48 h werden die Fische mindestens zweimal täglich kontrolliert. Tot angetroffene Fische werden notiert und unmittelbar aus der Hälterung entfernt. Tote Fische ohne sichtbare Verletzungen werden autopsiert (6.7.3).

Nach der Hälterperiode von 48 h werden die Fische auf anormale Verhaltensweisen kontrolliert und die Befunde werden notiert. In schweren Fällen werden die Fische euthanasiert, und es wird eine Autopsie durchgeführt. Nach der zweiten Beurteilung der Verletzungen werden die lebenden Fische nicht mehr benötigt (6.7.4).

Es darf entschieden werden, nach einer Hälterung von 48 h eine kleine Anzahl (zufällig ausgewählter) Fische zu euthanasieren und eine Autopsie durchzuführen, um versteckte Schäden in ansonsten gesund scheinenden Fischen aufzudecken.

6.7.4 Autopsie toter Fische

Prüf- und Kontrollfische, die unmittelbar nach der Prüfung oder während der 48-stündigen Hälterung nach der Prüfung ohne sichtbare Verletzungen tot vorgefunden werden, sowie Tiere mit einem stark abnormalen Verhalten während der 48-stündigen Hälterung nach der Prüfung müssen einer Autopsie unterzogen werden. Zusätzlich darf auch eine kleine Stichprobe dem Augenschein nach gesunder Fische euthanasiert und autopsiert werden.

Bei der Autopsie ist auf folgende Punkte zu achten:

- mögliche Wirbelsäulenfrakturen;
- innere Verletzungen;
- Barotrauma.

Fische mit einem Barotrauma zeigen eines oder mehrere der folgenden Merkmale:

- eine verletzte oder gerissene Schwimmblase;
- Luftblasen in den Augen;
- Luftblasen im Gewebe.

6.7.5 Beendigung einer Prüfung der Überlebensrate von Fischen

Fische, die sich in einem guten Gesundheitszustand befinden, werden am Ende der Studie je nach Genehmigung oder Empfehlung der lokalen Behörden in einem geeigneten Gewässer ausgesetzt oder an den Lieferanten zurückgegeben. Das Aussetzen von Fischen erfordert die schriftliche Zustimmung der Wasserwirtschaftsbe-

hörde und des Eigentümers des Gewässers. Die Zustimmung muss vor den Prüfungen der Überlebensrate von Fischen eingeholt werden.

6.7.6 Wasserqualität

Während der Prüfung der Überlebensrate muss die Wasserqualität im Prüfstand bzw. (bei einem Feldversuch) vor Ort sowie in den Hälterungseinrichtungen vor und nach dem Aussetzen und dem Wiedereinfangen genau überwacht werden. Die folgenden Messungen der Wasserqualität werden mindestens zweimal täglich durchgeführt:

- Sauerstoffkonzentration;
- Temperatur;
- Wasserdurchflussrate.

Die Daten werden im Tierwohltagebuch (6.7.6) notiert.

Es wird sichergestellt, dass die Wasserqualität des Prüfstands der Wasserqualität im Hältertank (6.4), in dem die Fische gehältert werden, entspricht. Der langfristige Betrieb einer Pumpe oder Turbine in einer Laborumgebung kann zu einer Erhöhung der Wassertemperatur führen. Bei der Durchführung einer Prüfung an einer Gruppe von Fischen sind die folgenden Bedingungen einzuhalten:

- Dauer der Prüfung: ≤ 15 min;
- Umgebungs- und Wassertemperatur für Salmoniden: 10 °C bis 15 °C;
- Umgebungs- und Wassertemperatur für andere Fischarten: 15 °C bis 20 °C.

6.7.7 Tierwohltagebuch

Während aller Prüfungen wird ein Tierwohltagebuch (5.9) geführt. Alle für das Tierwohl nachteiligen Situationen sowie die Bedingungen während der Hälterung und der Durchführung der Prüfungen (Sauerstoffkonzentration, Wassertemperatur, Zulaufvolumenstrom) (6.7.5) werden notiert.

Anhang E enthält Beispiele für Parameter, die im Tierwohltagebuch notiert werden sollten. Auch ggf. auftretende Zwischenfälle und unerwartete Situationen werden notiert (z. B. Verhaltensänderungen der Fische oder ein unzureichender Wasserzulauf zu den Hältertanks aufgrund von Verstopfungen der Versorgungs- oder Austragsleitungen).

6.8 Berechnung der Passageüberlebenswahrscheinlichkeit

Die Passageüberlebenswahrscheinlichkeit S sollte nach folgender Gleichung als Quotient der Überlebensraten von Prüf- und Kontrollfischen berechnet werden:

$$S = \frac{S_t}{S_c} \quad (1)$$

Dabei ist:

- S die Passageüberlebenswahrscheinlichkeit;
- S_t die Überlebensrate der Prüffische bei der Prüfung der Überlebensrate;
- S_c die Überlebensrate der Kontrollfische bei der Prüfung der Überlebensrate.

Überlebensraten in einer Prüfung der Überlebensrate werden wie folgt berechnet:

$$S_t = \frac{t}{N_t} \quad (2)$$

und

$$S_c = \frac{c}{N_c} \quad (3)$$

Dabei ist:

- t die Anzahl der wieder eingefangenen lebenden Prüffische;
- N_t die Gesamtzahl der wieder eingefangenen (lebenden und toten) Prüffische;
- c die Anzahl der wieder eingefangenen lebenden Kontrollfische;
- N_c die Gesamtzahl der wieder eingefangenen (lebenden und toten) Kontrollfische.

ANMERKUNG Bei vielen Studien der Passageüberlebenswahrscheinlichkeit wird die Überlebensrate anhand der Anzahl der ausgesetzten Fische in der Gruppe ermittelt statt anhand der Anzahl der wieder eingefangenen Fische. Weitere Informationen siehe Anhang D.

Prüfungen der Überlebensrate für eine bestimmte Fischart und Größenklasse und bei einem bestimmten Arbeitspunkt können mehrfach repliziert werden, z. B. an mehreren Tagen oder für verschiedene Aussetzpunkte in großen Einlaufbauwerken, ggf. mit kleineren Prüf- und Kontrollgruppen von Fischen. Nach der Zusammenfassung der Daten dieser replizierten Prüfungen kann die Abschätzung der Passageüberlebenswahrscheinlichkeit nach Gleichung (1) berechnet werden.

Die unmittelbare Passageüberlebenswahrscheinlichkeit S_I wird durch Bestimmung von t und c direkt nach der die Aussetzung und das Wiedereinfangen umfassenden Prüfung berechnet. Die verzögerten Passageüberlebenswahrscheinlichkeiten S_{24h} und S_{48h} werden durch die Bestimmung von t und c nach einer Hälterperiode von 24 h bzw. 48 h berechnet. Die Gesamt-Passageüberlebenswahrscheinlichkeit ist der kleinste der Werte für S_I , S_{24h} und S_{48h} .

Die verzögerte Überlebenswahrscheinlichkeit kann höher als die unmittelbare Überlebenswahrscheinlichkeit sein, wenn sich in der Kontrollgruppe nach der Hälterung eine erhöhte Mortalität zeigt, nicht jedoch in der Prüfgruppe. Eine solche verzögerte Mortalität in der Kontrollgruppe steht wahrscheinlich nicht in Zusammenhang mit dem Fangen im Netz und dem Einsammeln und sollte nicht in die Ergebnisse einfließen.

Es ist möglich, den absoluten Fehler (oder das Vertrauensintervall) der sich ergebenden Passageüberlebenswahrscheinlichkeit S für ein gegebenes Wahrscheinlichkeitsniveau abzuschätzen. Details siehe D.3.

6.9 Bericht

Der abschließende Bericht der Prüfung der Überlebensrate sollte mindestens die folgenden Angaben enthalten:

a) Einleitung:

- Grund, Zweck, behandelte Themen;
- Begründung der getroffenen Wahl zwischen Laborprüfung und Feldversuch;
- Begründung der gewählten Betriebsbedingungen der geprüften Maschine;

- Begründung der Gesamtzahl der zu verwendenden Fische und Fischarten sowie der Anzahl der zu prüfenden Gruppen und der Anzahl der Fische in jeder Gruppe.

b) Verfahren und Materialien:

- Beschreibung des Prüforts (Feldversuch) bzw. des Prüfstands (im Labor);
- (typische) Betriebsbedingungen während der Saison der Fischpassage;
- Typ der Pumpe oder Turbine, Leistungsmerkmale;
- zu- und ablaufseitiger Naben- und Gesamtdurchmesser des Impellers oder Läufers, Anzahl der Schaufeln;
- Dauer der Prüfung(en) der Überlebensrate von Fischen;
- Betriebsbedingungen während der Prüfung(en) der Überlebensrate von Fischen:
 - Wasserstände, Druck- bzw. Fallhöhe;
 - Durchfluss;
 - Wellendrehzahl.
- Prüftiere:
 - Fischart und Herkunft;
 - Größenklasse(n);
 - Anzahl je Prüf- und Kontrollgruppe;
 - Transport und Handhabung.
- Bestimmung von Verletzungen in vier Kategorien (Tabelle 2)
- Materialien:
 - Transport;
 - Hälterung der Fische;
 - Vorrichtung zum Aussetzen von Fischen;
 - Fangnetz.

c) Ergebnisse für jede Prüfung der Überlebensrate von Fischen:

- Fischart und Größenklasse;
- Bedingungen während der Prüfung der Überlebensrate:
 - Luft- und Wassertemperatur;
 - Sauerstoffkonzentration;
 - Uhrzeit.

- Betriebsbedingungen:
 - Wasserstände, Druck- bzw. Fallhöhe;
 - Wellendrehzahl;
 - Leistungsaufnahme (Pumpe) bzw. -abgabe (Turbine);
 - Impeller- bzw. Läuferschaufelwinkel;
 - Öffnungswinkel der Einlass-Leitschaufel.
- separat für die Prüf- und Kontrollgruppen:
 - Anzahl der ausgesetzten Fische;
 - Anzahl der (lebend und tot) wieder eingefangenen Fische;
 - Anzahl der unmittelbar toten oder schwer verletzten (und euthanasierten) Fische nach dem Wiedereinfangen;
 - für jeden wieder eingefangenen Fisch:
 - Länge;
 - Verletzungskategorie unmittelbar nach dem experimentellen Verfahren und nach 48 h Hälterung;
 - Art der Verletzung;
 - Fotografien schwerer Verletzungen.
 - Anzahl der toten Fische nach 24 h Hälterung;
 - Anzahl der toten Fische nach 48 h Hälterung;
 - detaillierter Bericht über alle nennenswerten Punkte, z. B. Treib- und Schwemmgutlast, was ist gut gelaufen, was nicht und warum.

d) Schlussfolgerungen und Empfehlungen:

- Für jede Prüfung der Überlebensrate von Fischen:
 - separat für die Prüf- und Kontrollgruppen: Wiedereinfang- und Überlebenswahrscheinlichkeit (unmittelbar und verzögert nach 24 h und 48 h);
 - Passageüberlebensrate der Pumpe oder Turbine (unmittelbar und verzögert nach 24 h und 48 h);
 - geschätzte Vertrauensintervalle (z. B. 90 %, 95 % oder 99 % Vertrauensniveau).
- Allgemeine Schlussfolgerungen:
 - Bewertung der Überlebenswahrscheinlichkeit der geprüften Fischarten und Größenklassen bei Betrieb der Pumpe oder Turbine unter den geprüften Betriebsbedingungen;
 - Bewertung des Prüfverfahrens auf Basis der Ergebnisse für die Wiedereinfang- und Überlebensraten der Kontrollgruppen.

— Empfehlungen:

- Verbesserung der Überlebenswahrscheinlichkeit der Fische, z.B. im Hinblick auf günstige Betriebsbedingungen;
- Optimierung der Prüfmaterialien und/oder -verfahren.

e) Literaturhinweise;

f) Anhänge:

- Produktdatenblatt der Anlage;
- detaillierter Datensatz der beobachteten Verletzungen.

7 Berechnungsverfahren zur Beurteilung der Überlebensrate von Fischen

7.1 Mortalität durch Schaufelkollision

Bei Kreiselpumpen und Turbinen mit geringer bis mittlerer Fall- bzw. Förderhöhe resultieren Verletzungen von Fischen in erster Linie aus Kollisionen mit sich bewegenden Rotorschaukeln [6] [7] [8] [9] [10]. Bei offenen archimedischen Schrauben werden Verletzungen von Fischen hingegen nur in begrenztem Umfang durch Kollisionen mit der Vorderkante der Schraube verursacht [11]. Stattdessen werden Verletzungen eher dadurch verursacht, dass Fische im Spalt zwischen Schraube und Trog eingeklemmt werden (siehe B.2.1.2).

Das in diesem Abschnitt umrissene Berechnungsverfahren behandelt spezifisch die durch Kollision mit sich bewegenden Schaufeln verursachte Mortalität. Es tragen jedoch auch andere Faktoren zur Fischmortalität bei, etwa Kollisionen mit (im Einlauf, im Diffusor oder in der Einlaufspirale zu findenden) Leitschaufeln, das Einklemmen von Fischen im Spalt zwischen sich bewegenden Schaufeln und dem stationären Gehäuse oder Schleißring, das Verfangen zwischen rotierenden Schaufeln und stationären Leitschaufeln sowie Druckänderungen und Scherung; es wird auf die Leitfäden in Anhang B verwiesen. Werden diese Leitfäden befolgt, zeigt das Berechnungsverfahren gute Prognosekapazitäten.

Die Berechnung der Mortalität durch Schaufelkollision nutzt zwei Modelle:

- ein Schaufelkontaktmodell (auch als Schaufelkollisionsmodell bezeichnet), das die Wahrscheinlichkeit einer Kollision zwischen einem Fisch und einer Schaufel prognostiziert;
- ein empirisches Modell zur Prognose der Verstümmelungsrate, die die Wahrscheinlichkeit repräsentiert, dass eine Kollision tödlich ist.

Die Überlebenswahrscheinlichkeit eines die Anlage passierenden Fisches wird berechnet durch

$$S = 1 - P_m = 1 - f_{MR}P_{Co} \quad (4)$$

Dabei ist:

S die Passageüberlebenswahrscheinlichkeit (dimensionslose Zahl);

P_m die Mortalität durch Schaufelkollision (dimensionslose Zahl);

f_{MR} die Verstümmelungsrate (dimensionslose Zahl);

P_{Co} die Kollisionswahrscheinlichkeit (dimensionslose Zahl).

Bei der Bestimmung der Kollisionswahrscheinlichkeit und der Verstümmelungsrate sollten die in 7.2 bzw. 7.6 umrissenen Verfahren befolgt werden.

7.2 Kollisionswahrscheinlichkeit

Die Wahrscheinlichkeit einer Kollision zwischen einem Fisch und der Vorderkante einer Schaufel wird berechnet mit

$$P_{co} = \frac{L_{eff,m} \cdot |\Omega r - v_m \tan \alpha - w_f \sin \alpha|}{\max(2\pi r / N_r - L_{eff,t}, \epsilon) \cdot |v_m + w_f \cos \alpha|} \quad (5)$$

Dabei ist:

- $L_{eff,m}$ die effektive Länge des Fisches in der meridionalen Ebene (in m);
- $L_{eff,t}$ die effektive Länge des Fisches in der tangentialen Ebene (in m);
- N_r die Anzahl der Rotorschaukeln (dimensionslose Zahl);
- Ω die Winkelgeschwindigkeit (in rad/s);
- r der Abstand der Position des Fisches von der Rotationsachse am Ort der Kollision (in m);
- v_m die Wassergeschwindigkeit in der meridionalen Ebene am Ort der Kollision (in m/s);
- w_f die Geschwindigkeit des Fisches relativ zum Wasser (in m/s);
- ϵ ein kleiner positiver Wert, der P_{co} 1 werden lässt, wenn $L_{eff,t} > 2\pi r / N_r$ (in m);
- α der Winkel zwischen der Richtung des Geschwindigkeitsvektors des Wassers und der meridionalen Ebene am Ort der Kollision (in rad).

Die Kollisionswahrscheinlichkeit ist auf einen Wertebereich zwischen 0 und 1 begrenzt.

Der Winkel α ist von null verschieden, wenn bereits rotierendes Wasser in den Rotor einläuft. Dies geschieht z. B. in einer Spiralturbine, bei der die Einlaufleitschaufeln den einlaufenden Wasserstrom in Rotation versetzen. Es gelten die folgenden Bedingungen:

$\alpha > 0$ wenn das in den Rotor strömende Wasser in Richtung der Schaufelrotation rotiert;

$\alpha < 0$ wenn das in den Rotor strömende Wasser gegen die Richtung der Schaufelrotation rotiert.

Die Winkelgeschwindigkeit wird berechnet durch

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (6)$$

Dabei ist:

Ω die Winkelgeschwindigkeit (in rad/s);

n die Wellendrehzahl (in min^{-1}).

7.3 Geschwindigkeit in der meridionalen Ebene

Der Mittelwert der Geschwindigkeit in der meridionalen Ebene v_m kann wie folgt bestimmt werden:

Für archimedische Schrauben, Kreiselpumpen oder Turbinen:

$$v_m = \frac{Q}{A} \quad (7)$$

Dabei ist:

v_m die Wassergeschwindigkeit in der meridionalen Ebene (in m/s);

Q der Volumenstrom (in m³/s);

A der Strömungsquerschnitt (in m²).

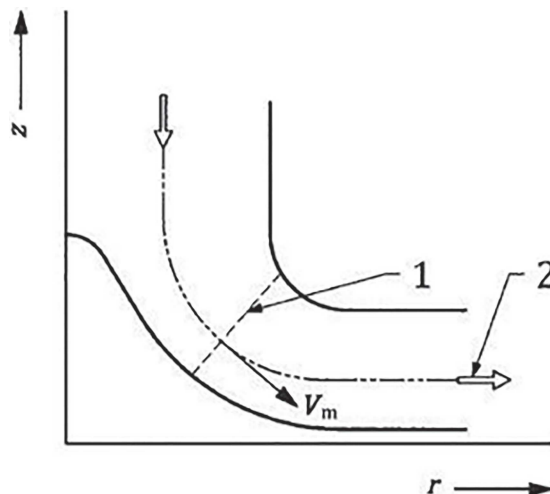
Bild 11 zeigt die meridionale Geschwindigkeit in einer Pumpe. Die Situation in einer Turbine ist gleich, nur die Geschwindigkeitsvektoren sind umgekehrt.

Für eine archimedische Schraube kann auch die folgende Gleichung angewendet werden:

$$v_m = \frac{nS_A}{60} \quad (8)$$

Dabei ist:

S_A die Steigung der archimedischen Schraube (in m).



Legende

- 1 Strömungsquerschnitt A
- 2 Stromlinie
- r Radius
- z axiale Position
- v_m Wassergeschwindigkeit in der meridionalen Ebene

Bild 11 — Pumpenrotorgeometrie, Stromlinie und Geschwindigkeit in der meridionalen Ebene

7.4 Relative Geschwindigkeit der Fische

Es wird angenommen, dass Fische sich mit dem Wasser bewegen und eine Schwimmbewegung entweder in Fließrichtung des Wassers oder in der entgegengesetzten Richtung ausführen. Die relative Geschwindigkeit w_f repräsentiert die Geschwindigkeit des Fisches relativ zum Wasser. Für w_f gelten die folgenden Bedingungen:

$w_f > 0$ wenn der Fisch sich in Richtung der lokalen Wassergeschwindigkeit bewegt;

$w_f = 0$ wenn der Fisch sich stationär mit der relativen Geschwindigkeit null bewegt;

$w_f < 0$ wenn der Fisch sich in entgegen der lokalen Wassergeschwindigkeit bewegt.

Die Schwimmbewegung von Fischen darf nur berücksichtigt werden, wenn eine ausreichende Sicherheit vorliegt, z. B. durch Beobachtungen. Bei Fehlen begründeter Informationen zur Geschwindigkeit der Fische relativ zum Wasser wird die relative Geschwindigkeit mit 0 angesetzt (keine relative Geschwindigkeit).

7.5 Effektive Fischlänge

Es wird davon ausgegangen, dass die Fische parallel zum Wasserstrom ausgerichtet sind. Die effektive Länge eines Fisches wird dann wie folgt berechnet:

$$L_{eff,m} = L_{max} \cos(|\alpha| - \theta_0) \quad (9)$$

$$L_{eff,t} = L_{max} \sin(\alpha + \theta_0) \quad (10)$$

$$L_{max} = \sqrt{L_f^2 + B_f^2} \quad (11)$$

$$\theta_0 = \operatorname{atan}\left(\frac{B_f}{L_f}\right) \quad (12)$$

Dabei ist:

$L_{eff,m}$ die effektive Länge des Fisches in der meridionalen Ebene (in m);

$L_{eff,t}$ die effektive Länge des Fisches in der tangentialen Ebene (in m);

L_f die Länge der Fische (in m);

α der Winkel, den die Längsachse des Fisches mit der meridionalen Ebene aufspannt (in rad), siehe 7.2;

B_f die maximale Größe des Fisches in einer zu seiner Längsachse senkrechten Ebene (in m).

Hinweis: $L_{eff,t}$ kann bei einer negativen Vorrotation ($\alpha < 0$) negativ sein.

Es kann davon ausgegangen werden, dass Fische nur bei Vorhandensein eines Rohrbogens direkt vor dem Rotor eine zufällige Orientierung einnehmen, wie im Falle einer vertikal montierten Pumpe mit einer Ansaugkammer zu sehen ist. In diesem Fall

— ergibt sich die effektive Länge von Schuppenfischen zu:

$$L_{eff,m} = \frac{2L_{max}}{\pi} \left(\sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta_0\right) + \sin\theta_0 \right) \text{ und } L_{eff,t} = 0 \quad (13)$$

— die effektive Länge von Aalen ergibt sich zu:

$$L_{eff,m} = 0,8L_f \text{ und } L_{eff,t} = 0 \quad (14)$$

7.6 Verstümmelungsrate

Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Kollision eines Fisches mit einer Schaufel zu einer tödlichen Verletzung führt, wird durch die Verstümmelungsrate f_{MR} angegeben. Diese Rate hängt von der Kollisionsgeschwindigkeit, der Länge des Fisches und der Dicke der Schaufelvorderkante ab.

Die Verstümmelungsrate für Schuppenfische wird abgeschätzt mit:

$$f_{MR} = \left(a \ln\left(\frac{L_f}{d}\right) + b \right) (v_{strike} - v_{crit}) \quad (15)$$

Die Verstümmelungsrate für Aale wird abgeschätzt mit:

$$f_{MR} = a \frac{L_f}{d} (v_{strike} - v_{crit}) \quad (16)$$

Dabei ist/sind:

- d die Dicke der Schaufelvorderkante (in m);
- v_{strike} die Kollisionsgeschwindigkeit (in m/s);
- v_{crit} die kritische Kollisionsgeschwindigkeit (in m/s);
- a, b empirische Parameter (dimensionslose Zahl).

Die Parameter a , b , und v_{crit} sind in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3 — Parameter a , b und v_{crit} [12]

Fischart		Schuppenfische			Aale
L_f/d	[-]	0 – 2	2 – 10	10 – 25	1 – 25
a	[-]	0,053 1	0,082 9	0,032 7	0,002 4
b	[-]	0,020 2	– 0,002 1	0,114 6	—
v_{crit}	[m/s]	4,8	4,8	4,8	8

Die Verstümmelungsrate f_{MR} ist auf einen Wertebereich zwischen 0 und 1 begrenzt. Die Verstümmelungsrate variiert entlang der Schaufelvorderkante, da im Allgemeinen sowohl Kollisionsgeschwindigkeit als auch Schaufeldicke variieren.

Wenn die Kollisionsgeschwindigkeit v_{strike} geringer ist als die kritische Geschwindigkeit v_{crit} , so wird die Verstümmelungsrate mit 0 angesetzt.

$\ln$ ist der natürliche Logarithmus:

$$\ln(x) = \log_e(x) \quad (17)$$

7.7 Kollisionsgeschwindigkeit

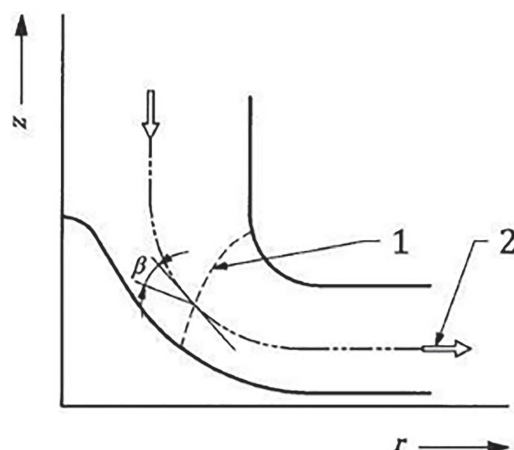
Die lokale Kollisionsgeschwindigkeit v_{strike} ist definiert als:

$$v_{strike} = \sqrt{[(v_m + w_f \cos \alpha) \cos \beta]^2 + [(\Omega r - v_m \tan \alpha - w_f \sin \alpha) \cos \delta]^2} \quad (18)$$

Dabei ist:

- v_m die Wassergeschwindigkeit in der meridionalen Ebene am Ort der Kollision (in m/s);
- β der lokale Winkel in der meridionalen Ebene (in rad), der ein Maß für den Winkel zwischen dem Geschwindigkeitsvektor des Wassers und dem zur Schaufelvorderkante lotrechten Vektor am Kollisionsort ist (Bild 12);
- δ der lokale Neigungswinkel im Strömungsquerschnitt (Bild 11), der ein Maß für den Winkel zwischen der Umfangsrichtung und dem zur Schaufelvorderkante lotrechten Vektor am Kollisionsort ist (Bild 13).

Im Allgemeinen variiert die Kollisionsgeschwindigkeit entlang der Schaufelvorderkante.



Legende

1 Schaufelvorderkante

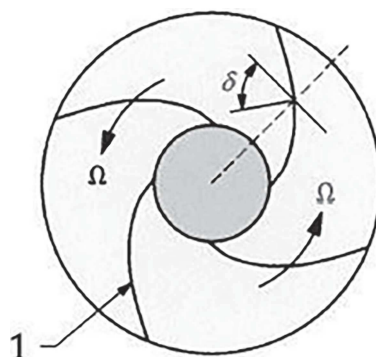
2 Stromlinie

r Radius

z axiale Position

β lokaler Winkel in der meridionalen Ebene, der ein Maß für den Winkel zwischen dem Geschwindigkeitsvektor des Wassers und dem zur Schaufelvorderkante lotrechten Vektor ist

Bild 12 — Definition des Winkels β in der meridionalen Ebene einer Pumpe



Legende

1 Schaufelvorderkante

δ lokaler Neigungswinkel im Strömungsquerschnitt (Bild 11), der ein Maß für den Winkel zwischen der Umfangsrichtung und dem zur Schaufelvorderkante lotrechten Vektor ist

Ω Winkelgeschwindigkeit

Bild 13 — Definition des Winkels δ im Strömungsquerschnitt einer Axialpumpe

7.8 Schaufeldicke

Die Dicke (d) der Schaufelvorderkante wird als der zweifache Krümmungsradius der Rundung an der Schaufelvorderkante am Kollisionssort berechnet. Dies ist in Bild 14 dargestellt.