



EnergieDienst

---

# **Wasserkraftschnecken – Bewertung und Auswertung durchgeführter Studien zum Thema Fischfreundlichkeit und Ableitung von Anforderungen an zukünftige Studien**

**Von: Tobias Wagner  
Jochen Ulrich  
Rolf Hezel**

**Datum: 20.10.2015**

**Inhalt**

Wasserkraftschnecken – Bewertung und Auswertung durchgeführter Studien zum Thema Fischfreundlichkeit und Ableitung von Anforderungen an zukünftige Studien .....		1
1	Einleitung / Problemstellung .....	3
2	Bewertung untersuchter Studien .....	4
2.1	Späh .....	4
2.2	Fishtek .....	4
2.2.1	Untersuchung im Jahr 2007 .....	4
2.2.2	Untersuchung im Jahr 2008 .....	6
2.2.3	Untersuchung im Jahr 2009 .....	7
2.3	TombeK .....	7
2.3.1	Gugelmühle .....	8
2.3.2	Rödermühle .....	8
2.4	Schmalz .....	9
2.4.1	Untersuchungsblock 1 (Juni + August 2009) .....	9
2.4.2	Untersuchungsblock 2 (August bis November 2009) .....	10
2.4.3	Untersuchungsblock 3 (Mai + Juni 2010) .....	11
2.5	Edler .....	12
2.6	BOKU .....	13
2.7	Brackley .....	14
2.8	Bracken .....	14
2.9	Gesamtbewertung .....	15
3	Scheuchwirkung .....	18
3.1	Fishtek .....	18
3.2	Brackley .....	18
3.3	Bracken .....	19
3.4	Beurteilung der Ergebnisse .....	19
4	Wie sieht die fischfreundliche Wasserkraftschnecke aus? .....	20
4.1	Einlaufbereich .....	20
4.2	Durchmesser, Gangzahl und Drehzahl .....	21
4.3	Spaltmaß .....	22
4.4	Auslaufbereich .....	22
4.5	Sonderbauformen .....	24
4.6	Zusammenfassung .....	24
5	Anforderungen an wissenschaftliche Arbeiten .....	25
5.1	Untersuchung der Fische .....	25
5.2	0-Messung .....	25
5.3	Fangvorrichtung .....	25
5.4	Hälterung .....	25
5.5	Artenspektrum und Individuenanzahl .....	25
5.6	Auswertung und Ergebnisdarstellung .....	26
5.7	Variation der Schneckenparameter .....	26
5.8	Aussagen zum Abwanderverhalten .....	26
5.8.1	Vor der Wasserkraftschnecke .....	26
5.8.2	Generelles Wanderverhalten .....	26
6	Forschungsbedarf zum Nachweis der Fischfreundlichkeit .....	28
7	Überprüfung ED-Projekte mit Anforderungen in Großbritannien .....	29
7.1	Anforderungen in Großbritannien .....	29
7.2	Vergleich von drei ED-Anlagen mit den Anforderungen .....	29
8	Zusammenfassung .....	31
9	Literaturverzeichnis .....	32
10	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....	34

## 1 Einleitung / Problemstellung

Wasserkraftschnecken werden immer häufiger zur Energiegewinnung eingesetzt, wenn herkömmliche Turbinen nicht sinnvoll oder wirtschaftlich betrieben werden können. Ein Vorteil dieser Technologie gegenüber herkömmlichen Turbinen liegt in der Fischfreundlichkeit. Wenn der sichere Fischabstieg über die Wasserkraftschnecke gewährleistet ist kann auf einen Feinrechen verzichtet werden und es treten keine Rechenverluste auf.

Über den Grad der Fischfreundlichkeit der Wasserkraftschnecken wird in Fachkreisen sowohl regional als auch länderübergreifend kontrovers diskutiert. Es gibt mittlerweile einige Studien, in denen der Fischabstieg mit lebenden Fischen untersucht wurde. Die Ergebnisse und die Methodik sind allerdings uneinheitlich und lassen für Betreiber und Fachbehörden viele Fragen offen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die bisher durchgeführten Studien hinsichtlich der Belastbarkeit ihrer Ergebnisse und ihrer Methodik zu beurteilen und Anforderungen an zukünftige Studien abzuleiten. Außerdem werden Anforderungen an fischfreundliche Wasserkraftschnecken formuliert und zukünftiger Forschungsbedarf ermittelt. Schließlich werden drei Projekte der Energiedienst AG mit den in Großbritannien geltenden Anforderungen für den Bau von Wasserkraftschnecken verglichen.

## 2 Bewertung untersuchter Studien

In einem ersten Schritt werden Studien, die die Auswirkungen von Wasserkraftschnecken auf abwandernde Fische untersuchen, zusammengestellt und die Ergebnisse verglichen. Dabei wird neben den Ergebnissen auch auf die Aussagekraft und Plausibilität der einzelnen Studien eingegangen.

### 2.1 Späh

Die älteste untersuchte Studie wurde im Jahr 2001 von Dr. Späh an der Nethe in Godelheim durchgeführt. Es handelt sich um eine vom Hersteller beauftragte Untersuchung zur Fischverträglichkeit. Die Arbeit ist nicht frei erhältlich. Daher beruhen die Erkenntnisse auf Daten aus anderen Quellen, in denen die Studie zitiert wird. Eine Aussage zur Plausibilität der Studie ist daher nicht möglich. Tabelle 1 enthält die wichtigsten Daten der Studie. Im Rahmen der Untersuchung wurden 158 Fische nach der Schneckenpassage untersucht, wovon 7 (4,4%) Schäden in Form von Schuppenverlusten oder geringfügigen Flossenschäden aufwiesen. [1] Die Verletzungen traten ausschließlich bei den Fischarten Döbel und Plötze auf. Die weiteren in der Untersuchung vorkommenden Fischarten sind Aal, Äsche, Bachforelle, Barsch, Gründling, Groppe und Hasel. [2]

<b>Technische Daten Schnecke:</b>		<b>Untersuchungsdaten:</b>	
Hersteller/Typ	Ritz-Atro	Jahr der Veröffentlichung	2001
Leistung [kW]	18,5	Standort	Godelheim
Fallhöhe $\Delta H$ [m]	4	Fluss	Nethe
Durchfluss $Q$ [ $m^3/s$ ]	0,62	Fischregion	Äsche
Durchmesser $d$ [m]	keine Angaben	Untersuchte Arten [n]	9
Drehzahl $n$ [ $min^{-1}$ ]	keine Angaben	Summe Individuen [n]	158
Länge [m]	8,44	Lebend ohne Schäden [%]	95,6
Aufstellwinkel $\alpha$ [°]	30	Lebend mit Schäden [%]	4,4
Rechen [mm]	keine Angaben	Tot [%]	0
Baujahr	2001		
Alter bei der Untersuchung	0		

Tabelle 1: Überblick zur Studie von Späh im Jahr 2001

#### Kritik:

- Studie nicht frei erhältlich
- Methodik nicht klar

### 2.2 Fishtek

Von Fishtek Consulting wurden mehrere Studien an der ersten in Großbritannien errichteten Wasserkraftschnecke durchgeführt.

#### 2.2.1 Untersuchung im Jahr 2007

In einer ersten Untersuchung im Jahr 2007 wurde die Fischfreundlichkeit mit eingesetzten Forellen und natürlich absteigenden Lachsen untersucht. Vor der eigentlichen Untersuchung wurden 100 Forellen in die Fangvorrichtung unterhalb der Schnecke gegeben und auf Schäden untersucht. Es hat sich gezeigt, dass 3% der Fische leichte Flossenschäden aufwiesen, die als regenerierbar einzustufen sind (unter 10%). Anschließend wurden insgesamt 377 Forellenspassagen ausgewertet, wobei die Fische vor der Passage auf bereits bestehende Verletzungen untersucht wurden. Dabei wurden immer etwa gleich viele Fische in drei Geschwindigkeitsstufen untersucht und nach einer 48-stündigen Hälterung erneut durch die

Schnecke geschickt. Durch dieses Vorgehen können auch noch Rückschlüsse auf die Auswirkungen mehrerer Schneckenpassagen auf Fische gezogen werden. Die Wasserkraftschnecke drehte sich im Schnitt mit 22, 25 und 30  $\frac{\text{U}}{\text{min}}$ . Daraus ergeben sich folgende Geschwindigkeiten am Rand der Einlaufkante:

- bei 22  $\frac{\text{U}}{\text{min}}$  folgt eine Geschwindigkeit von 2,5  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
- bei 25  $\frac{\text{U}}{\text{min}}$  folgt eine Geschwindigkeit von 2,9  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
- bei 30  $\frac{\text{U}}{\text{min}}$  folgt eine Geschwindigkeit von 3,5  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

In den drei Geschwindigkeitsklassen traten als einziges Schadensbild leichte Flossenschäden auf. Der Anteil an geschädigten Fischen lag dabei immer im Bereich der zuvor ermittelten Schäden durch die Fangvorrichtung. Dies lässt laut Autor vermuten, dass die Schneckenpassage keine Schädigungen bedingt hat.

Bei den natürlich abwandernden Lachsen konnte keine Kontrollmessungen der Schäden des Netzes durchgeführt werden aber es wird angenommen, dass die Verletzungsquote wieder bei 3% liegt. In einem ersten Untersuchungsteil wurden 249 Lachse nach dem Abstieg über die Wasserkraftschnecke untersucht und bei 4,4% wurden leichte Flossenschäden festgestellt. Abzüglich des Netzeinflusses bleiben 1,4% oder etwa 4 verletzte Lachse übrig. Da die Fische vor der Passage nicht untersucht wurden, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Verletzungen bereits vorher bestanden haben.

Diese beiden Untersuchungen fanden mit dem ursprünglichen Zustand der Wasserkraftschnecke statt. Aus den ersten gewonnen Erkenntnissen wurden Maßnahmen abgeleitet, um die Fischverträglichkeit noch weiter zu steigern. So wurde die Einlaufkante gekürzt, damit sie nicht mehr über den Trog hinausragt und die Rundung, durch die Fische eingeklemmt werden konnten, entfernt. Zusätzlich wurde die Einlaufkante mit einem Gummischutz versehen, der die Fische bei einem Aufprall schützen soll.

Nach diesen Modifikationen wurden weitere 220 Lachse untersucht und es konnten keine Schäden festgestellt werden. Zwar hatten 4% der Fische beim Einschwimmen Kontakt mit dem Hartgummi aber auch nach 48-stündiger Hälterung konnten keine Schäden festgestellt werden. Tabelle 2 zeigt die Daten der untersuchten Wasserkraftschnecke und die Ergebnisse der Studie. Auf die Schädigungsrate von 0,5% kommt man, wenn man die zuvor ermittelte Schädigung durch die Fangvorrichtung herausrechnet. Zusätzlich zu den Verletzungen wurden die Fische nach der Passage auch dahingehend untersucht, ob eine Desorientierung vorliegt. Diese kann nach der erfolgreichen Passage einer Turbine zu erhöhter Prädation führen, da die Fische kein Fluchtverhalten mehr zeigen. In dieser Untersuchung konnte allerdings keine Auswirkung der Schneckenpassage auf das Verhalten der Fische nachgewiesen werden. Die Untersuchung des Einflusses der Fangvorrichtung liefert zusätzliche wichtige Daten zur Beurteilung der Ergebnisse. Leider wurde diese Untersuchung in allen anderen untersuchten Studien nicht durchgeführt. [3]

<b>Technische Daten Schnecke:</b> .....	<b>Untersuchungsdaten:</b> .....
---	----------------------------------

Hersteller/Typ	keine Angaben	Jahr der Veröffentlichung	2007
Leistung [kW]	keine Angaben	Standort	Ashburton, UK
Fallhöhe $\Delta H$ [m]	4,5	Fluss	Dart
Durchfluss $Q$ [m <sup>3</sup> /s]	keine Angaben	Fischregion	Forelle / Lachs
Durchmesser $d$ [m]	2,2	Untersuchte Arten [n]	2
Drehzahl $n$ [min <sup>-1</sup> ]	20-31	Summe Individuen [n]	846
Länge [m]	11	Lebend ohne Schäden [%]	97,4
Aufstellwinkel $\alpha$ [°]	22	Lebend mit Schäden [%]	2,6
Rechen [mm]	keine Angaben	Tot [%]	0
Baujahr	2007		
Alter bei der Untersuchung	0		

Tabelle 2: Überblick zur Studie von Fishtek im Jahr 2007

Kritik:

- Die natürlich absteigenden Lachse wurden vor der Passage nicht untersucht

**2.2.2 Untersuchung im Jahr 2008**

Im Jahr 2008 wurden an der Wasserkraftschnecke am Fluss Dart im Fluss gefischte Aale und einige natürlich absteigende Lachskelts untersucht. Die Aale wurden vor und nach der Passage auf Schäden untersucht und anschließend sieben Tage gehältert um eine verzögerte Mortalität durch innere Verletzungen auszuschließen. Die Fische wurden in Gruppen von 4-5 Individuen vor der Schnecke eingesetzt und benötigten alle weniger als 15 Minuten zum Abstieg. Eine kurze Verzögerungsdauer ist vor allem bei stark verbauten Flüssen wichtig, damit die Fische nicht zu lang zum Absteigen brauchen. Die untersuchten Aale waren bis zu 80cm lang und 1,6kg schwer. Sie wurden, wie auch die Forellen, in den drei Geschwindigkeitsklassen getestet und passierten die Schnecke zu 99,38% unbeschadet. Nur ein Aal wies eine leichte Quetschung 5cm oberhalb des Schwanzendes auf. Er wurde 14 Tage beobachtet und dann lebend in den Fluss ausgesetzt. 28% der Aale wurden beim Einschwimmen von der Einlaufkante getroffen aber nicht verletzt. Die maximale Geschwindigkeit am äußeren Rand der Kante von  $3,6 \frac{m}{s}$  ist scheinbar zu niedrig für bleibende Schäden. Fast 90% der Aale sind in den Kammern nicht mit Kopf in Richtung Oberwasser geschwommen, sondern haben sich, vermutlich wegen einer zirkulierenden Strömung durch die Rotation der Schnecke, mit dem Kopf Richtung Kammerboden ausgerichtet. Dies verhindert ein Einklemmen des Schwanzes im Spalt zwischen Schnecke und Trog. Nach der Untersuchung mit gefangenen Aalen wurde noch der Abstieg von 11 Lachskelts registriert. Diese waren zwischen 47 – 98cm groß und 1,2 – 7,6kg schwer. Es wurde keinerlei Verletzung durch die Turbine festgestellt. In Tabelle 3 sind die relevanten Daten zur Untersuchung kurz zusammengefasst. Insgesamt kann die Methodik als sehr sicher eingeschätzt werden, da die meisten Fische sowohl vor als auch nach der Schneckenpassage auf Schäden untersucht wurden und auch eine ausreichend lange Zeit gehältert wurden um eine verzögerte Mortalität auszuschließen. [4]

<b>Technische Daten Schnecke:</b>		<b>Untersuchungsdaten:</b>	
Hersteller/Typ	keine Angaben	Jahr der Veröffentlichung	2008

Leistung [kW]	keine Angaben	Standort	Ashburton, UK
Fallhöhe $\Delta H$ [m]	4,5	Fluss	Dart
Durchfluss $Q$ [m <sup>3</sup> /s]	keine Angaben	Fischregion	Forelle / Lachs
Durchmesser $d$ [m]	2,2	Untersuchte Arten [n]	2
Drehzahl $n$ [min <sup>-1</sup> ]	20-31	Summe Individuen [n]	171
Länge [m]	11	Lebend ohne Schäden [%]	99,42
Aufstellwinkel $\alpha$ [°]	22	Lebend mit Schäden [%]	0,58
Rechen [mm]	keine Angaben	Tot [%]	0
Baujahr	2007		
Alter bei der Untersuchung	1		

Tabelle 3: Überblick zur Studie von Fishtek im Jahr 2008

Kritik:

- keine

**2.2.3 Untersuchung im Jahr 2009**

Ziel dieser im Jahr 2009 am Fluss Derwent durchgeführten Untersuchung war, herauszufinden, ob Fische eine Präferenz für einen Bypass zeigen, wenn dieser zusätzlich zur Wasserkraftschnecke angeboten wird. Die absteigenden Fische wurden aber auch auf Schäden untersucht, wobei ein Großteil der Fische auch vor der Schneckenpassage untersucht wurde. Tabelle 4 zeigt die verfügbaren Daten zur Untersuchung. Es wurde kein Fisch geschädigt. Auch die natürlich abgestiegenen Fische, die nicht vor der Passage untersucht wurden, wiesen keine neuen Verletzungen, sondern nur gelegentlich alte Bisspuren von Hechten auf. Zusätzlich zum Beleg des Verletzungsfreien Abstieges, konnte keine Präferenz für den angebotenen Bypass nachgewiesen werden. Fische vermeiden es also nicht gezielt, die Schnecke zu passieren. [5] Es wurde leider nur eine geringe Anzahl an Fischen untersucht. Die Methodik der Untersuchung ist aber vergleichbar mit den früheren Untersuchungen von Fishtek.

<b>Technische Daten Schnecke:</b>		<b>Untersuchungsdaten:</b>	
Hersteller/Typ	keine Angaben	Jahr der Veröffentlichung	2009
Leistung [kW]	24	Standort	Howsham Mill
Fallhöhe $\Delta H$ [m]	keine Angaben	Fluss	Derwent
Durchfluss $Q$ [m <sup>3</sup> /s]	keine Angaben	Fischregion	keine Angaben
Durchmesser $d$ [m]	keine Angaben	Untersuchte Arten [n]	14
Drehzahl $n$ [min <sup>-1</sup> ]	keine Angaben	Summe Individuen [n]	147
Länge [m]	keine Angaben	Lebend ohne Schäden [%]	100
Aufstellwinkel $\alpha$ [°]	keine Angaben	Lebend mit Schäden [%]	0
Rechen [mm]	100	Tot [%]	0
Baujahr	2008		
Alter bei der Untersuchung	1		

Tabelle 4: Überblick zur Studie von Fishtek im Jahr 2009

Kritik:

- keine

**2.3 Tombek**

Im Jahr 2009 wurden in Bayern mehrere Wasserkraftstandorte von Dipl.-Biol. Bernd Tombek untersucht. Darunter auch zwei Standorte mit Wasserkraftschnecken.

### 2.3.1 Gugelmühle

Die erste Schnecke befindet sich in Mittelfranken an der Wörnitz und weist eine Geschwindigkeit von  $3,2 \frac{m}{s}$  am Rand der Einlaufkante auf. Von Mai bis Juni 2007 wurden an ihr über 1500 natürlich absteigende Fische aus 19 Arten untersucht. Die Fische wurden nicht auf Vorschäden untersucht. Da bereits 1km stromauf die nächste Wasserkraftanlage betrieben wird, können Schäden durch diese Anlage nicht ausgeschlossen werden. Diese Wasserkraftschnecke passierten nur 67,28% der Fische ohne Schäden. Erstaunlich ist, dass nur 1,72% der Fische Schäden aufwiesen und gelebt haben. Von diesen 26 Fischen wiesen 86% schwer zuzuordnende Hautschäden auf. 31% der Fische waren nach der Schneckenpassage tot. Ein Großteil davon bestand aus Jungtieren, die ohne sichtbare Schäden verendet sind. Der Autor führt dies auf Druckschäden im Auslaufbereich der Schnecke zurück. Als Grund nennt er die geringe Einbautiefe im Unterwasser. Dadurch wird beim Eintauchen der untersten Schneckenwindung Luft ins Wasser eingebracht, verdichtet und anschließend wieder dekomprimiert. An einem Untersuchungstag mit einem leichten Hochwasser und dadurch gestiegenem Unterwasserspiegel konnte diese hohe Mortalität nicht beobachtet werden. [6]

In Tabelle 5 ist die Untersuchung zusammengefasst. Positiv an dieser Untersuchung ist, dass viele Individuen untersucht wurden und damit eine hohe statistische Aussagekraft der Daten zu erwarten ist. Bereits vorhandene Schäden oder Schäden durch die Fangtechnik werden nicht berücksichtigt.

<b>Technische Daten Schnecke:</b>		<b>Untersuchungsdaten:</b>	
Hersteller/Typ	Rehart	Jahr der Veröffentlichung	2009
Leistung [kW]	20	Standort	Gugelmühle-Mittelfranken
Fallhöhe $\Delta H$ [m]	1,8	Fluss	Wörnitz
Durchfluss $Q$ [ $m^3/s$ ]	1,5	Fischregion	Barbenregion
Durchmesser $d$ [m]	2,2	Untersuchte Arten [n]	19
Drehzahl $n$ [ $min^{-1}$ ]	28	Summe Individuen [n]	1516
Länge [m]	5,5	Lebend ohne Schäden [%]	67,28
Aufstellwinkel $\alpha$ [°]	19,1	Lebend mit Schäden [%]	1,72
Rechen [mm]	20-30	Tot [%]	31
Baujahr	2003		
Alter bei der Untersuchung	4		

Tabelle 5: Überblick zur Studie von Tombek im Jahr 2009 an der Gugelmühle

#### Kritik:

- Fische wurden nicht auf Vorschäden untersucht
- Schäden durch Fangtechnik können nicht ausgeschlossen werden

### 2.3.2 Rödermühle

Die zweite untersuchte Wasserkraftschnecke befindet sich in Unterfranken an der fränkischen Saale. Im Oktober 2007 wurden 129 abgestiegene Fische untersucht. 93,8% der Fische überstanden die Passage unverletzt. 4,7% wiesen Verletzungen auf, waren aber lebendig, und 1,5% wurden tot aufgefunden. Die Mortalitätsrate ist hier deutlich geringer als am Standort Gugelmühle. Die Daten der Schnecke und die Ergebnisse der Untersuchung sind in Tabelle 6 aufgeführt. Die fränkische Saale ist stark durch Wasserkraftnutzung und Hochwasserschutz verändert worden. Vorschäden können daher nicht ausgeschlossen werden. Die Fische wurden mit einem Hamen unterhalb der Wasserkraftschnecke gefangen. Angaben zur Häufigkeit der Leerungen werden nicht gemacht. Wie aus den Tabellen hervorgeht, handelt es sich um 4 beziehungsweise 6 Jahre alte Anlagen. Trotz der hohen Mortalität an der Gugelmühle führt der Autor aus „Neue Turbinensysteme, wie die untersuchten Wasserkraftschnecken, stellen bei richtiger Gestaltung ein erheblich verringertes Schadpotential für abwandernde Fische in Aussicht und sollten daher bevorzugt eingesetzt werden.“ [6, p. 75]. Er sieht die Ursachen für



die hohe Mortalität in einem Planungsfehler begründet und sieht kein generelles Schädigungspotential der Wasserkraftschnecken. [6]

<b>Technische Daten Schnecke:</b>		<b>Untersuchungsdaten:</b>	
Hersteller/Typ	Ritz-Atro	Jahr der Veröffentlichung	2009
Leistung [kW]	9,5	Standort	Rödermühle-Unterfranken
Fallhöhe $\Delta H$ [m]	1,1	Fluss	fränkische Saale
Durchfluss $Q$ [ $m^3/s$ ]	1	Fischregion	obere Barbenregion
Durchmesser $d$ [m]	keine Angaben	Untersuchte Arten [n]	16
Drehzahl $n$ [ $min^{-1}$ ]	keine Angaben	Summe Individuen [n]	129
Länge [m]	keine Angaben	Lebend ohne Schäden [%]	93,8
Aufstellwinkel $\alpha$ [°]	keine Angaben	Lebend mit Schäden [%]	4,7
Rechen [mm]	vert 200 + hor. 150	Tot [%]	1,5
Baujahr	2001		
Alter bei der Untersuchung	6		

Tabelle 6: Überblick zur Studie von Tombek im Jahr 2009 an der Rödermühle

#### Kritik:

- Fische wurden nicht auf Vorschäden untersucht
- Schäden durch Fangtechnik können nicht ausgeschlossen werden

## 2.4 Schmalz

In den Jahren 2009 und 2010 hat Dipl.-Biol. Wolfgang Schmalz den Fischabstieg an der Wasserkraftanlage Walkmühle an der Werra in Meiningen untersucht. Auftraggeber der Studie war die Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie. In dieser Studie wurde nicht nur der Abstieg über die Wasserkraftschnecke, sondern auch über die herkömmlichen Turbinen, die Fischaufstiegsanlagen und den Bypass untersucht. Aufgrund von unterschiedlichen Bedingungen ist die Studie in drei Blöcke geteilt. Die Ergebnisse werden in dieser Studie etwas anders präsentiert. Es wird zunächst nur zwischen verletzt und unverletzt unterschieden und nicht darauf eingegangen, ob die Fische mit Verletzung noch gelebt haben oder tot waren. Erst später wird dann die Zahl der verendeten Fische, die zur Untersuchung auf innere Verletzungen ins Labor gebracht wurden, aufgeführt. Hier ist aber nicht ersichtlich, ob die verendeten Fische Verletzungen aufwiesen oder nicht.

### 2.4.1 Untersuchungsblock 1 (Juni + August 2009)

Beim ersten Untersuchungsblock befand sich die Wasserkraftschnecke in einem schlechten Wartungszustand. Sie wurde im vorangegangenen Winter, laut Autor, durch intensive Eisbildung beschädigt, wodurch sich der Spalt zwischen Schnecke und Trog auf bis zu 7 Millimeter vergrößerte und die Kanten scharfe Grate bekamen. Dieser ungünstige Zustand hat sich auch auf das Ergebnis ausgewirkt. Hinzu kamen Probleme mit der Fangtechnik. Die Reuse riss mehrmals, wodurch die Fangzahlen deutlich verringert wurden. Ob der daraus resultierende Datenverlust auch Auswirkungen auf die Verletzungshäufigkeit hat kann nicht beurteilt werden. Da die Reuse durchgescheuert wurde kann aber davon ausgegangen werden, dass sie sich in einem turbulenten Strömungsbereich befunden haben muss, der vor allem schwimmschwache Fische während der Zeit in der Reuse zusätzlich gefährdet haben könnte.

Im ersten Untersuchungsblock wurden 47 natürlich absteigende Fische an der Wasserkraftschnecke gefangen und untersucht. 22 Fische wiesen keine Verletzungen auf. Von den 25 verletzten Fischen wiesen 19 Schürfungen und Schuppenverluste und 6 Fleischwunden auf. Insgesamt sind in diesem Untersuchungsblock 22 Fische verendet. 6 Davon zeitverzögert während der Hälterung. Bei der Untersuchung im Labor konnten keine inneren Muskelblutungen oder Wirbelsäulenverletzungen nachgewiesen werden.

In Tabelle 7 sind die Daten des ersten Untersuchungsblockes aufgeführt. Die Daten der Schnecke sind in den drei Blöcken identisch. Bei den Ergebnissen ist zu beachten, dass sich

die prozentualen Anteile der Fische „Lebend ohne Schäden“ und „Mit Schäden“ auf 100% summieren, da die toten Fische extra aufgeführt werden. [7]

<b>Technische Daten Schnecke:</b>		<b>Untersuchungsdaten:</b>	
Hersteller/Typ	Ritz-Atro	Jahr der Veröffentlichung	2010
Leistung [kW]	keine Angaben	Standort	Meiningen
Fallhöhe $\Delta H$ [m]	2,55	Fluss	Werra
Durchfluss $Q$ [ $m^3/s$ ]	1,5	Fischregion	Barbenregion
Durchmesser $d$ [m]	keine Angaben	Untersuchte Arten [n]	13
Drehzahl $n$ [ $min^{-1}$ ]	keine Angaben	Summe Individuen [n]	47
Länge [m]	keine Angaben	Lebend ohne Schäden [%]	46,8
Aufstellwinkel $\alpha$ [°]	keine Angaben	Lebend mit Schäden [%]	53,2
Rechen [mm]	197-240	Tot [%]	46,8
Baujahr	vermutlich 2009		
Alter bei der Untersuchung	0-1		

Tabelle 7: Überblick zum ersten Untersuchungsblock der Studie von Schmalz im Jahr 2010

#### Kritik:

- schlechter Wartungszustand der Schnecke
- Fische wurden nicht auf Vorschäden untersucht
- Schäden durch Fangtechnik können nicht ausgeschlossen werden
- Unklare Formulierungen in der Studie machen die Auswertung schwierig

### 2.4.2 Untersuchungsblock 2 (August bis November 2009)

Nach den ersten Untersuchungsergebnissen wurde die Schnecke durch die Herstellerfirma gewartet. Die scharfkantigen Windungen wurden entgratet, der Spalt zwischen Schnecke und Trog auf 3-4mm verkleinert und die Einlaufkante mit einem Gummischutz versehen. Vor allem von September bis November führte die hohe Laubmenge zu Problemen. So riss die Reuse beispielsweise am 21.09.2009. Dadurch fiel die Fangmenge erneut geringer aus. Insgesamt konnten mit 343 Fischen aber deutlich mehr gefangen werden als im ersten Untersuchungsblock.

18,4% der Fische wiesen keinerlei Verletzungen auf. Von den 81,7% mit Verletzungen hatten 80,2% Schuppenverluste. Nur 4 Fische wiesen Fleischwunden und 1 wies eine Teildurchtrennung auf. Die schweren Verletzungen gingen von 12,8 auf 1,5% zurück. Die Schuppenverluste betrafen vor allem Fische, die keine besonders fest sitzenden Schuppen besitzen. Dazu zählen Plötze und Blei, die in diesem Untersuchungsblock 70,6% aller untersuchten Fische ausmachten. Die großen Laubmengen in der Reuse können für einen Teil der Verletzungen verantwortlich sein. In diesem Block wurden 278 Fische, das entspricht etwa 81% aller gefangenen Fische, im Labor untersucht. Es wurden keine Muskelblutungen oder Wirbelsäulenverletzungen nachgewiesen. 213 Fische wurden direkt nach der Entnahme aus der Reuse konserviert. Es wird nicht angegeben ob diese Fische alle verendet waren oder nicht. Von den übriggebliebenen 130 Tieren verendeten 65 zeitverzögert. Eine Aussage über die Mortalität ist nicht möglich. Sie könnte zwischen 19% und 81% liegen. Eine detailliertere Beschreibung der konservierten Fische erfolgte laut Autor nicht, da das Herbstlaub für hohe Verletzungen verantwortlich war und die Verletzungen daher nicht eindeutig der Schnecke zugeordnet werden können [7, p. 73].

Tabelle 8 fasst die Daten dieses Untersuchungsblockes zusammen. In der abschließenden Beurteilung zu dieser Studie wird auf die Verwertbarkeit des Ergebnisses näher eingegangen. [7]

<b>Technische Daten Schnecke:</b>		<b>Untersuchungsdaten:</b>	
Hersteller/Typ	Ritz-Atro	Jahr der Veröffentlichung	2010
Leistung [kW]	keine Angaben	Standort	Meiningen
Fallhöhe $\Delta H$ [m]	2,55	Fluss	Werra

Durchfluss Q [m <sup>3</sup> /s]	1,5	Fischregion	Barbenregion
Durchmesser d [m]	keine Angaben	Untersuchte Arten [n]	14
Drehzahl n [min <sup>-1</sup> ]	keine Angaben	Summe Individuen [n]	343
Länge [m]	keine Angaben	Lebend ohne Schäden [%]	18,4
Aufstellwinkel α[°]	keine Angaben	Lebend mit Schäden [%]	81,6
Rechen [mm]	197-240	Tot [%]	19-81
Baujahr	vermutlich 2009		
Alter bei der Untersuchung	0-1		

Tabelle 8: Überblick zum zweiten Untersuchungsblock der Studie von Schmalz im Jahr 2010

Kritik:

- Fische wurden nicht auf Vorschäden untersucht
- Schäden durch Fangtechnik können nicht ausgeschlossen werden
- hohes Laubaufkommen in der Reuse
- Unklare Formulierungen in der Studie machen die Auswertung schwierig
- Die Schäden lassen sich nicht der Schnecke zuordnen (Aussage Autor)

**2.4.3 Untersuchungsblock 3 (Mai + Juni 2010)**

Im dritten Auswertungsblock waren von 341 gefangenen Fischen 68% unverletzt. Weitere 30,5% wiesen Schuppenverluste auf und nur 1,5% zeigten schwerere Verletzungen. Insgesamt sind 146 Fische direkt oder zeitverzögert ohne Vorschäden verendet. Muskelblutungen oder Wirbelsäulenschäden konnten bei keinem der 146 Tiere nachgewiesen werden. Zusätzlich wurde im Mai eine gesonderte Untersuchung mit einer vermehrten Reusenleerung (alle 30 Minuten) durchgeführt. Von den 100 gefangenen Fischen wiesen 75 keine Verletzungen und 25 Schuppenverluste auf. Die Verletzungsrate konnte dadurch also um 7% reduziert werden. Tabelle 9 fasst die Ergebnisse kurz zusammen. In der Zusammenfassung stellt der Autor fest, dass ein zusätzlicher Feinrechen mit 10mm Stababstand an diesem Standort keine Verbesserung bedeuten würde, da die meisten betroffenen Fische auch diesen passieren könnten. [7]

<b>Technische Daten Schnecke:</b>		<b>Untersuchungsdaten:</b>	
Hersteller/Typ	Ritz-Atro	Jahr der Veröffentlichung	2010
Leistung [kW]	keine Angaben	Standort	Meiningen
Fallhöhe ΔH [m]	2,55	Fluss	Werra
Durchfluss Q [m <sup>3</sup> /s]	1,5	Fischregion	Barbenregion
Durchmesser d [m]	keine Angaben	Untersuchte Arten [n]	22
Drehzahl n [min <sup>-1</sup> ]	keine Angaben	Summe Individuen [n]	341 / 100
Länge [m]	keine Angaben	Lebend ohne Schäden [%]	68 / 75
Aufstellwinkel α[°]	keine Angaben	Lebend mit Schäden [%]	32 / 25
Rechen [mm]	197-240	Tot [%]	43 / X
Baujahr	vermutlich 2009		
Alter bei der Untersuchung	0-1		

Tabelle 9: Überblick zum dritten Untersuchungsblock der Studie von Schmalz im Jahr 2010

Kritik:

- Fische wurden nicht auf Vorschäden untersucht
- Schäden durch Fangtechnik können nicht ausgeschlossen werden
- Unklare Formulierungen in der Studie machen die Auswertung schwierig

Insgesamt ist die Plausibilität und Bewertung der Ergebnisse kritisch zu beurteilen. Im ersten Untersuchungsblock befand sich die Schnecke in einem schlechten Wartungszustand. Die

Untersuchung in diesem Zustand liefert daher keine Ergebnisse, die Rückschlüsse auf ordnungsgemäß gewartete Anlagen zulassen. Des Weiteren ist durch die geringe Individuenanzahl keine hohe statistische Sicherheit gegeben. Hinzu kommt, dass alle in dieser Studie untersuchten Fische natürlich abgestiegen sind und Vorschäden daher nicht ausgeschlossen werden können. Im zweiten Untersuchungsblock lässt sich durch die höhere Individuenanzahl eine bessere statistische Aussage treffen. Allerdings sind die Auswirkungen der Fangtechnik (Reuse und 10mm Edelstahlgitter im Auslaufbereich der Schnecke) und des Laubaufkommens nicht abzuschätzen. So sagt der Autor, wie bereits unter 2.4.2 erwähnt, dass die Zuordnung der Verletzungen zur Wasserkraftschnecke nicht möglich ist. Die Ergebnisse dieses Auswertungsblockes können daher nicht zur Beurteilung der Fischfreundlichkeit von Wasserkraftschnecken herangezogen werden. Die Angaben zu den verendeten Fischen lassen leider nicht immer Rückschlüsse darauf zu, ob die Fische nach der Schneckenpassage verendet waren oder zu Untersuchungszwecken getötet wurden. Des Weiteren wird in der Zusammenfassung der Studie nur noch auf die schwer verletzten Tiere und diejenigen mit Schuppenverlusten eingegangen. Die verendeten Tiere werden hier nicht mehr erwähnt. Aufgrund der Methodik ist fraglich, inwieweit die Ergebnisse eine Aussagekraft besitzen. Was anhand der vorliegenden Daten aber ersichtlich ist, ist dass das Schädigungspotential auch von der Fischpopulation im Gewässer abhängt. Jungfische und Fische mit nicht besonders fest sitzenden Schuppen sind anfälliger für Verletzungen als robustere Tiere. Wie hoch die Schuppenverluste dieser empfindlichen Fische allein durch die Wasserkraftschnecke sind kann leider nicht beurteilt werden.

## 2.5 Edler

Dipl.-Biol. Christian Edler et al. führten im Auftrag des Landesfischereiverbandes Westfalen Lippe e.V. im Jahr 2011 eine Untersuchung zur Abwanderung und Schädigung von Fischen an der Wasserkraftschnecke Rhede-Krechting durch. Insgesamt wurden 3797 Fische an der Wasserkraftschnecke gefangen und auf Schäden untersucht. Eine Untersuchung im Labor oder eine Nachhälterung fand nicht statt. 91,5% überstanden die Schneckenpassage unverletzt. 3,5% wiesen nach der Passage Verletzungen auf, waren aber lebendig. Von diesen 3,5% oder 133 Fischen wiesen 83,1% Schuppenverluste, Abschürfungen oder leichte Flossenschäden auf. Nur 23 Fische wiesen schwerere Verletzungen auf. 5% der Fische wurden tot aufgefunden. 4,6% ohne und 0,4% mit sichtbaren Schäden. Die ebenfalls untersuchte Fischaufstiegsanlage wies bei 545 Fischen nur 75,2% unverletzte Tiere auf. 23% waren tot ohne sichtbare Schäden. Tabelle 10 zeigt, wie der Autor die Folgemortalität der unterschiedlichen Verletzungen abschätzt.

Abschätzung der Folgemortalitäten (Edler)	
Schuppenverluste:	Abhängig von Wassertemperatur und Rest-Fitness der Fische
Flossenschäden	gering
Abschürfungen/Fleischwunden	hoch, abhängig vom Verletzungsgrad
Teildurchtrennungen	hoch

Tabelle 10: Abschätzung der Folgemortalität [1]

In der Zusammenfassung führt der Autor aus, dass bei guter Wartung ein geringes bis mittleres Risiko für mechanische Verletzungen besteht. Vor allem für diadrome Arten wie Aal oder Lachs und auch Fische mit kleinen fest sitzenden Schuppen besteht ein sehr geringes Verletzungsrisiko. Die Schädigungsraten sind zwischen den untersuchten Arten sehr unterschiedlich, was darauf hindeutet, dass die Fischfauna im Gewässer einen Anteil an der zu erwartenden Verträglichkeit der Wasserkraftschnecke hat. [1]

Die Anzahl der untersuchten Fische ist mit über 3500 Individuen sehr groß. Die statistische Aussagekraft dürfte dementsprechend groß sein. Allerdings wurden die Fische nicht vor dem Abstieg untersucht. Der Autor gibt an, dass sich stromauf des untersuchten Standortes keine Wasserkraftanlagen befinden. Dies schließt Verletzungen durch Fressfeinde oder ähnliches aber nicht aus. Die mögliche Auswirkung der Fangvorrichtung wird auch hier nicht betrachtet.

Eine verzögerte Mortalität wird ebenfalls nicht berücksichtigt. Die in Tabelle 11 aufgeführten Werte für die Schädigungen könnten also sowohl etwas niedriger als auch höher sein.

<b>Technische Daten Schnecke:</b>		<b>Untersuchungsdaten:</b>	
Hersteller/Typ	Ritz-Atro	Jahr der Veröffentlichung	2011
Leistung [kW]	55	Standort	Krechting
Fallhöhe $\Delta H$ [m]	2,6	Fluss	Bocholter Aa
Durchfluss $Q$ [ $m^3/s$ ]	2,5	Fischregion	untere Barbenregion
Durchmesser $d$ [m]	2,6	Untersuchte Arten [n]	18
Drehzahl $n$ [ $min^{-1}$ ]	keine Angaben	Summe Individuen [n]	3797
Länge [m]	keine Angaben	Lebend ohne Schäden [%]	91,5
Aufstellwinkel $\alpha$ [°]	keine Angaben	Lebend mit Schäden [%]	3,5
Rechen [mm]	100 horizontal	Tot [%]	5
Baujahr	2006		
Alter bei der Untersuchung	5		

Tabelle 11: Überblick zur Studie von Edler et al. im Jahr 2011

#### Kritik:

- Fische wurden nicht auf Vorschäden untersucht
- Schäden durch Fangtechnik können nicht ausgeschlossen werden

## 2.6 BOKU

Im Zuge der Untersuchungen der neu entwickelten Wasserkraftschnecke „Hydroconnect“ führte die Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), neben Untersuchungen zum Fischeaufstieg und Aufstieg von Makrozoobenthos, Fischabstiegsversuche durch. Hierfür wurden insgesamt 140 Tiere der Arten Bachforelle, Regenbogenforelle und Koppe vor der Wasserkraftschnecke eingesetzt. Hiervon sind 96 Fische, dies entspricht 69%, abgestiegen. Alle abgestiegenen Fische haben die Schneckenpassage ohne Verletzungen überstanden. [8]

Tabelle 12 gibt einen Überblick über die Studie. Die Methodik der Studie ist als gut zu bewerten, da die Fische direkt vor und nach der Passage auf Verletzungen untersucht wurden und somit bereits bestehende Schäden oder Verletzungen nach dem Abstieg ausgeschlossen werden konnten. Zusätzlich wurden diverse Größen und Altersstadien untersucht und die Fische wurden nicht direkt vor der Schnecke platziert, sondern sie hatten die Wahl abzusteigen oder nicht.

<b>Technische Daten Schnecke:</b>		<b>Untersuchungsdaten:</b>	
Hersteller/Typ	Hydroconnect	Jahr der Veröffentlichung	2014
Leistung [kW]	keine Angaben	Standort	Niederösterreich
Fallhöhe $\Delta H$ [m]	3,32	Fluss	Jeßnitz
Durchfluss $Q$ [ $m^3/s$ ]	0,2	Fischregion	keine Angaben
Durchmesser $d$ [m]	keine Angaben	Untersuchte Arten [n]	3
Drehzahl $n$ [ $min^{-1}$ ]	20	Summe Individuen [n]	96
Länge [m]	keine Angaben	Lebend ohne Schäden [%]	100

Aufstellwinkel $\alpha$ [°]	keine Angaben	Lebend mit Schäden [%]	0
Rechen [mm]	keine Angaben	Tot [%]	0
Baujahr	vermutlich 2011		
Alter bei der Untersuchung	3		

Tabelle 12: Überblick zur Studie der BOKU im Jahr 2014

Kritik:

- Nur 3 Arten wurden untersucht

## 2.7 Brackley

Robert Brackley führt zurzeit eine Studie zu abwandernden Lachsen an drei Standorten in Schottland durch. Erste Ergebnisse stellte er auf der Fish Passage Conference am 24.06.2015 in Groningen vor. Das Hauptziel der Studie ist die Untersuchung der zeitlichen Verzögerung beim Abstieg über Wasserkraftschnecken. Im Rahmen dieser Studie hat der Autor auch Fische auf Schäden untersucht, nachdem sie die Wasserkraftschnecke passiert hatten. Untersucht wurden 44 Fische, wobei durch Blutuntersuchungen Rückschlüsse auf innere Verletzungen gezogen wurden. Wie auch in Tabelle 13 zu sehen ist, zeigte keiner der untersuchten Fische äußere oder innere Verletzungen. In seinem Vortrag äußerte sich Robert Brackley nicht über den genauen Untersuchungsstandort, weswegen keine Daten zur untersuchten Wasserkraftschnecke vorliegen. [9]

Da die Studie bisher nicht abgeschlossen und veröffentlicht wurde, sondern nur in Form eines Vortrages vorliegt, ist die Methodik nicht vollständig bekannt. Die Aussagekraft der Studie kann daher erst nach der Veröffentlichung beurteilt werden.

<b>Technische Daten Schnecke:*</b>		<b>Untersuchungsdaten:</b>	
Hersteller/Typ	keine Angaben	Jahr der Veröffentlichung	2015
Leistung [kW]	60	Standort	Craigpot
Fallhöhe $\Delta H$ [m]	2,2	Fluss	Don
Durchfluss $Q$ [ $m^3/s$ ]	4	Fischregion	keine Angaben
Durchmesser $d$ [m]	2,9	Untersuchte Arten [n]	1
Drehzahl $n$ [ $min^{-1}$ ]	keine Angaben	Summe Individuen [n]	44
Länge [m]	5,4	Lebend ohne Schäden [%]	100
Aufstellwinkel $\alpha$ [°]	22	Lebend mit Schäden [%]	0
Rechen [mm]	keine Angaben	Tot [%]	0
Baujahr	keine Angaben		
Alter bei der Untersuchung	keine Angaben		

Tabelle 13: Überblick zur Studie von Brackley im Jahr 2015

\* Auch wenn bisher nur wenige genaue Daten der Wasserkraftschnecke bekannt sind, sind die Anforderungen aus Kapitel 7.1 sicher eingehalten, da der Standort in Großbritannien liegt.

Kritik:

- Studie ist noch nicht veröffentlicht

## 2.8 Bracken

Im Jahr 2012 untersuchte Fiona Bracken am Standort Howsham Mill am Fluss Derwent absteigende Neunaugen. Bei ersten Untersuchungen wurden sowohl in den Netzen unter der Wasserkraftschnecke als auch in Netzen unterhalb des Wehres verletzte und tote Neunaugen gefunden. Die Ursache der Schäden konnte so nicht ermittelt werden, weswegen 131 Neunaugen mittels Elektrofischung gefangen und untersucht wurden. Die Fische wurden anschließend direkt vor der Wasserkraftschnecke ausgesetzt und die Netze alle 30 Minuten geleert. Da das Netz nicht den gesamten Auslaufbereich der Wasserkraftschnecke abdeckte

konnten nur 66 (50,4%) nach der Passage wieder gefangen werden. Die meisten davon bereits nach 15 Minuten, was auf keine nennenswerte Verzögerung beim Abwandern schließen lässt. Bei den Untersuchungen nach der Schneckenpassage zeigte nur ein Neunauge (1,5%) eine Verschlechterung des Schwimmverhaltens. Äußere Verletzungen traten nicht auf. Eine Hälterung der Fische geschah nicht. Tabelle 14 gibt einen Überblick über die Studie. Die Größe der untersuchten Fische lag zwischen 5 und 13 cm. [10]

Durch die Untersuchung der Fische vor der Passage und die häufigen Leerungen der Netze können sowohl Vorschäden als auch Verletzungen durch die Fangvorrichtung reduziert werden. Da keine Hälterung erfolgte können keine Aussagen über eine mögliche verzögerte Mortalität getroffen werden. Moursund et al. kommen zu dem Schluss, dass für junge Neunaugen die Auswirkungen eines Feinrechens wahrscheinlich größer sind als die Passage durch die Schnecke [11].

<b>Technische Daten Schnecke:</b>		<b>Untersuchungsdaten:</b>	
Hersteller/Typ	keine Angaben	Jahr der Veröffentlichung	2012
Leistung [kW]	24	Standort	Howsham Mill
Fallhöhe $\Delta H$ [m]	keine Angaben	Fluss	Derwent
Durchfluss $Q$ [ $m^3/s$ ]	keine Angaben	Fischregion	keine Angaben
Durchmesser $d$ [m]	keine Angaben	Untersuchte Arten [n]	1
Drehzahl $n$ [ $min^{-1}$ ]	keine Angaben	Summe Individuen [n]	66
Länge [m]	keine Angaben	Lebend ohne Schäden [%]	98,5
Aufstellwinkel $\alpha$ [°]	keine Angaben	Lebend mit Schäden [%]	1,5
Rechen [mm]	100	Tot [%]	0
Baujahr	2008		
Alter bei der Untersuchung	4		

Tabelle 14: Überblick zur Studie von Bracken im Jahr 2013

#### Kritik:

- Es erfolgte keine Hälterung

## 2.9 Gesamtbewertung

Abschließend werden die Studien in Tabelle 15 verglichen. Dabei werden sie auf die Erfüllung bestimmter Kriterien überprüft. Diese Kriterien sind:

- Artenreichtum:
  - grün: typisches Artenspektrum/Leitfischart des Standorts untersucht
  - gelb: ausreichendes Artenspektrum untersucht
  - rot: nur einzelne / standortuntypische Arten untersucht
- Fangtechnik
  - grün: Beurteilung der Schäden durch Fangtechnik möglich oder durch geringe Verweildauer ausgeschlossen
  - gelb: Schäden durch Fangtechnik nicht auszuschließen aber durch häufige Leerung minimiert
  - rot: Schäden durch Fangtechnik nicht auszuschließen und durch lange Verweildauer oder äußere Einflüsse (Laub, hohes Fischeaufkommen) zu erwarten
- Untersuchung der Fische
  - grün: Untersuchung der Fische vor der Passage, direkt danach und mit zusätzliche Hälterung
  - gelb: Untersuchung der Fische direkt nach der Passage mit zusätzlicher Hälterung

- rot: Untersuchung der Fische direkt nach der Passage
- Ergebnisaufbereitung
  - grün: Unterscheidung der Verletzungsarten und detaillierte Beschreibung für alle Arten
  - gelb: Unterscheidung der Verletzungsarten und detaillierte Beschreibung für einige Arten
  - rot: Angabe der Schädigungs- und Mortalitätsrate

Die Felder für die Fangtechnik und die Untersuchung der Fische konnten bei der Studie von Späh nicht ausgefüllt werden, da die Studie nicht im Original vorliegt und in der Quelle keine Details genannt werden.

Studie	Artenreichtum	Fischarten	Fangtechnik	Untersuchung der Fische	Ergebnisaufbereitung
<b>Späh</b>		potamodrom und diadrom			
<b>Fishtek</b>					
2007		Lachssmolts / Forelle			
2008		Aale / Lachskelts			
2009		potamodrom und diadrom			
<b>Tombek</b>					
Gugelmühle		potamodrom und Aal			
Rödermühle		potamodrom und Aal			
<b>Schmalz</b>					
6.+8. 2009		potamodrom und 2 Aale			
8.-11. 2009		potamodrom			
5.+6. 2010		potamodrom und 3 Aale			
<b>Edler</b>		potamodrom und 13 Aale			
<b>BOKU</b>		Regenbogen-/ Bachforelle und Koppe			
<b>Brackley *</b>		Lachssmolts			
<b>Bracken</b>		Neunaugen			

Tabelle 15: Bewertung der untersuchten Studien

\* Die Studie von Brackley liegt noch nicht vor, weswegen nicht zu allen Punkten eine Bewertung abgegeben werden kann. Aus der Präsentation seiner vorläufigen Ergebnisse auf der Fish Passage Conference in Groningen ist zu schließen, dass die Methodik sehr gut ist.

### Bewertung der Methodik

Ein Vergleich der Studien untereinander ist nur bedingt möglich, da die Methodik immer leicht unterschiedlich ist. Am ehesten lassen sich die Studien von Fishtek, Edler, BOKU und Bracken vergleichen. In diesen Studien sind die Ergebnisse ähnlich aufbereitet und die Wasserkraftschnecken sind ungefähr zur gleichen Zeit gebaut worden.



Zu der Wasserkraftschnecke, die in der Studie von Schmalz untersucht wurde gibt es kaum technische Daten. Dies erschwert eine Beurteilung zusätzlich, da nicht auszuschließen ist, dass die hohen Schädigungsraten durch eine zu hohe Drehzahl erfolgten.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Untersuchungen mit potamodromen Arten erhebliche Mängel aufweisen. Untersuchungen in denen nur Lachse untersucht wurden waren hingegen methodisch gut.

### **Bewertung der Ergebnisse**

Die Ergebnisse der Studien fallen unterschiedlich aus. Für Lachssmolts und Aale wurde nachgewiesen, dass keine Schädigungen bei der Passage einer Wasserkraftschnecke auftreten. Bei Untersuchungen mit potamodromen Arten liegen die Schädigungsraten im Bereich von 0-81,4%. Allerdings sind wie bereits oben erwähnt die Studien zu den potamodromen Arten mit erheblichen Mängeln behaftet und dürfen daher nicht für eine Beurteilung heran gezogen werden. Zusätzlich hat sich gezeigt, dass die Fangtechnik einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Ergebnisse haben kann.

Eine Auswertung wie von EBEL 2013 gemacht, in der nur die reinen Zahlenwerte in einer Tabelle verglichen werden ist daher ungeeignet. Auf Grund der unterschiedlichen Methodik und Ergebnisaufbereitung dürfen manche Ergebnisse nicht berücksichtigt werden und die Bildung eines Mittelwerts der Schädigungsraten ist nicht zulässig.

### 3 Scheuchwirkung

Neben dem Risiko für Verletzungen wurde in zwei Studien auch die Scheuchwirkung von Wasserkraftanlagen untersucht. Wenn Fische durch die Strömungsverhältnisse oder die Geräusche der eintauchenden Schneckenwindungen davon abgehalten werden abzusteigen kann sich dies, vor allem bei diadromen Arten, negativ auf die Population auswirken. Die zwei gefunden Studien setzen auf unterschiedliche Methoden um eine Auswirkung der Wasserkraftschnecke zu untersuchen.

#### 3.1 Fishtek

Im Jahr 2009 hat Fishtek Consulting am Fluss Derwent eine Untersuchung zum Abstiegsverhalten durchgeführt. Den Fischen wurde dabei ein alternativer Wanderweg über einen Bypass angeboten. Insgesamt sind 194 Fische aus 14 verschiedenen Arten im Untersuchungszeitraum abgestiegen. 147 Fische sind über die Wasserkraftschnecke und 22 über den Bypass abgestiegen. 25 Fische blieben im Oberwasser und sind nicht abgestiegen. Die statistische Auswertung und ein Vergleich mit den zu erwartenden Fischzahlen anhand der Abflussaufteilung bei einer passiven Verdriftung ergaben keine Präferenzen für den Bypass. Der Autor kommt zu dem Schluss, dass Fische nicht aktiv einen alternativen Wanderweg wählen wenn keine zusätzliche Barriere in Form eines Rechens vorhanden ist. Eine Scheuchwirkung der Wasserkraftschnecke konnte nicht nachgewiesen werden. [5] Die Daten zur Studie sind auch in Tabelle 16 zu sehen. Aussagen über die Zeit, die die Fische vor der Wasserkraftschnecke verbrachten, werden nicht gemacht. Eine Zeitverzögerung ist aber auch nur für Fische wie den Aal oder den Lachs relevant.

<b>Untersuchungsdaten:</b>	
Jahr der Veröffentlichung	2009
Fluss	Derwent
Untersuchte Arten [n]	14
Summe Individuen [n]	194
Ergebnis	- Keine erkennbare Präferenz für den Bypass - Keine Scheuchwirkung der Wasserkraftschnecke

Tabelle 16: Überblick zur Studie von Fishtek im Jahr 2009

#### 3.2 Brackley

Robert Brackley hat am Standorten Craigpot in Schottland abwandernde Lachse untersucht und in einem Vortrag einige Ergebnisse kurz vorgestellt. Um den Wanderweg und die zeitliche Dauer auswerten zu können wurden 163 Lachssmolts gefangen und mit Sendern versehen. Die Signale konnten mit mehreren im Fluss verteilten Antennen aufgefangen werden. Damit lässt sich die Route jedes einzelnen Fisches genau verfolgen. Über die zeitliche Differenz zwischen zwei Registrierungen können auch Rückschlüsse auf die Aufenthaltsdauer in einem bestimmten Bereich gezogen werden. Insgesamt sind 44 Fische über die Wasserkraftschnecke abgestiegen. Nur 5 Individuen hielten sich länger als 15 Minuten im Zulaufkanal auf. Die restlichen 39 (88,7%) stiegen innerhalb von 15 Minuten ab. Es tritt also keine Verzögerung beim Abwandern auf. [9] Eine Zusammenfassung der Untersuchungsdaten liefert Tabelle 17. Genauere Aussagen sind erst in der Veröffentlichung zu erwarten. Möglicherweise beinhaltet diese dann auch weitere Untersuchungen oder genauere Auswertungen.

<b>Untersuchungsdaten:</b>	
Jahr der Veröffentlichung	-
Fluss	Don
Untersuchte Arten [n]	1
Summe Individuen [n]	163
Ergebnis	- Zeitliche Verzögerung im Schnitt unter 15 Minuten - Keine Scheuchwirkung der Wasserkraftschnecke

Tabelle 17: Überblick zur Studie von Brackley im Jahr 2015

### 3.3 Bracken

Im Zusammenhang mit der unter 2.8 beschriebenen Studie wurde auch die Verteilung der Neunaugen auf die unterschiedlichen Abstiegswege erfasst. Hierbei konnte kein aktives Verhalten der Neunaugen festgestellt werden, sondern die Verteilung lässt auf ein passives Verdriften schließen. Zusätzlich wurde bei direkt vor der Wasserkraftschnecke ausgesetzten Neunaugen keine große zeitliche Verzögerung festgestellt. Die maximale Verzögerung betrug 30 Minuten aber die meisten wurden bereits nach 15 Minuten in den Netzen aufgefunden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 18 zusammengefasst.

<b>Untersuchungsdaten:</b>	
Jahr der Veröffentlichung	2013
Fluss	Derwent
Untersuchte Arten [n]	1
Summe Individuen [n]	-
Ergebnis	- Zeitliche Verzögerung maximal 30 Minuten, im Schnitt 15 Minuten - Keine Scheuchwirkung der Wasserkraftschnecke

Tabelle 18: Überblick zur Studie von Bracken im Jahr 2013

### 3.4 Beurteilung der Ergebnisse

Die Studien kommen zu dem Ergebnis, dass abwandernde Fische im Mittel 15 Minuten (Einzelexemplare maximal 30 Minuten) vor einer Wasserkraftschnecke verweilen bevor sie absteigen. Dies würde selbst bei einer Staustrecke mit 9 Wasserkraftschnecken einer maximalen Verzögerung von 4,5 Stunden entsprechen. Bezogen auf die gesamte Dauer der Wanderung wäre dies vernachlässigbar. Eine Präferenz für einen zusätzlich angebotenen Bypass konnte von Fishtek nicht festgestellt werden. Auch Bracken konnte bei den Untersuchten Neunaugen kein aktives Verhalten feststellen. Die Fänge entsprachen ungefähr der Verteilung der Abflüsse.

## 4 Wie sieht die fischfreundliche Wasserkraftschnecke aus?

In den untersuchten Studien wurden verschiedene Ursachen für Schäden an Fischen genannt, die durch ein angepasstes Design entfernt oder vermindert werden können.

### 4.1 Einlaufbereich

Im Einlaufbereich ist darauf zu achten, dass die Einlaufkante nicht über den Trog hinausragt und gerade verläuft. Durch eine Rundung können Fische eingeklemt und verletzt werden. Solch eine Rundung ist in Abbildung 1 zu sehen.

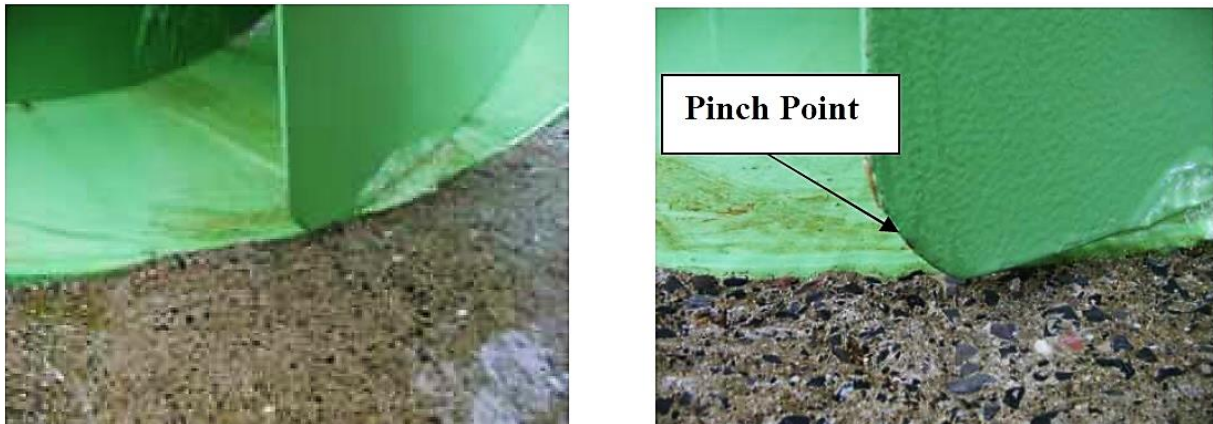


Abbildung 1: Überstehende Einlaufkante mit Rundung. [3]

Als zusätzlicher Schutz muss in Großbritannien die Einlaufkante mit einem Gummi- oder Schaumstoffschutz versehen werden, der den Aufschlag abdämpft, sollte ein Fisch getroffen werden. Ein solcher Schutz ist in Abbildung 2 zu sehen. Für alle Kanten der Windungen gilt, dass sie abgerundet sein müssen und keine scharfen Kanten aufweisen dürfen.

In Großbritannien wurden Regeln aufgestellt für den Einbau eines Kantenschutzes. Liegt die Spitzengeschwindigkeit unter  $3,5 \frac{m}{s}$  reicht ein Kantenschutz aus Hartgummi laut Pete Kibel [13, p. 25] aus, damit Fische beim Kontakt nicht verletzt werden. Für Spitzengeschwindigkeiten über  $3,5 \frac{m}{s}$  wird ein Kantenschutz aus Schaumstoff vorgeschrieben. Dieser ist weicher und verdrängt mehr Wasser (siehe Kapitel 7).

Der Übergang von natürlicher Sohle zum Trog der Wasserkraftschnecke ist so zu gestalten, dass alle Fische mit den hydraulischen Bedingungen im Einlaufbereich zurecht kommen und kein Fluchtverhalten ausgelöst wird. Hierfür sollte die Einströmung in die Wasserkraftschnecke gerichtet und turbulenzarm sein. Zusätzlich ist darauf zu achten, dass sich eine möglichst gleichförmige Beschleunigung unter Vermeidung von steilen Geschwindigkeitsgradienten einstellt. [12, p. 302]

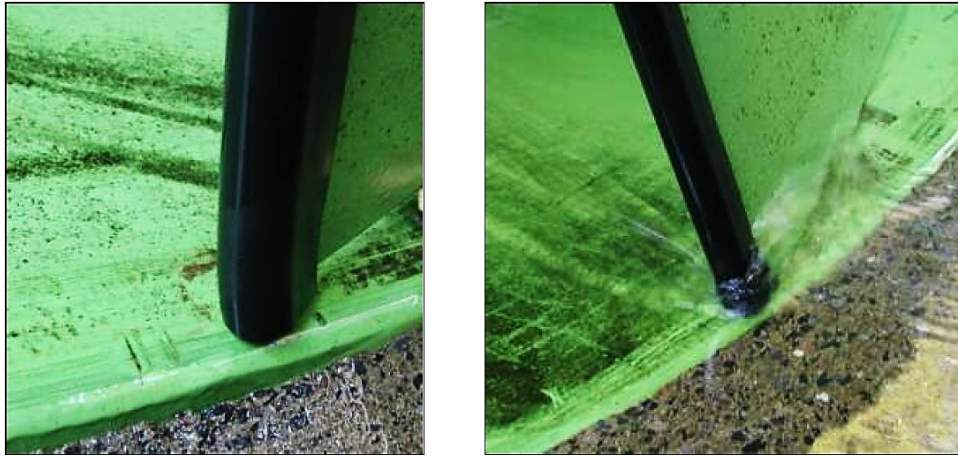


Abbildung 2: Einlaufkantenschutz [3]

## 4.2 Durchmesser, Gangzahl und Drehzahl

Die Zusammenhänge zwischen Durchmesser, Gangzahl und Drehzahl bestimmen erstens das Zeitfenster in dem ein Fisch in die Wasserkraftschnecke einschwimmen kann und zweitens die Geschwindigkeit mit der ein Fisch von der ins Wasser eintauchenden Einlaufkante getroffen werden kann.

Das Zeitfenster zum Einschwimmen erhöht sich mit Reduktion der Gangzahl (üblich sind Gangzahlen zwischen 3 und 5), Erhöhung des Durchmessers und Reduktion der Drehzahl. Für 3-gängige Anlagen können daher kleinere Durchmesser als für 4- oder 5-gängige Anlagen gewählt werden (siehe Kapitel 7).

Bei großen Durchflüssen wird in der Regel der Durchmesser erhöht um die Wassermenge abführen zu können. Nach heutigem Kenntnisstand wurden bei Wasserkraftschnecken Durchmesser bis 5m realisiert. Je größer der Durchmesser umso größer werden allerdings auch die Spitzengeschwindigkeit der Einlaufkante am äußersten Radius. Ist die Wassermenge zu groß, müssen ggfs. zwei Anlagen mit einem kleineren Durchmesser geplant werden. Die Größe des Durchmessers kann bei der Anlagenplanung auch entsprechend der Größe der im Gewässer heimischen Fische gewählt werden. Je größer der Durchmesser bei gleichbleibendem Abfluss gewählt wird, desto geringer wird die Drehzahl. Dies wirkt sich ebenfalls positiv auf das Zeitintervall aus, das den Fischen beim Einschwimmen zur Verfügung steht.

Nach Angaben der Hersteller und den in der Literatur verfügbaren Aussagen spielt die Spitzengeschwindigkeit an der Einlaufkante DIE wesentliche Rolle bei der Fischfreundlichkeit der Wasserkraftschnecken [17].

Betrachtet man die Parameter in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit und den Wirkungsgrad der Wasserkraftschnecke ergeben sich andere Anforderungen. Um die Kosten zu senken muss die Wasserkraftschnecke mit einem möglichst geringen Durchmesser und wenig Gängen ausgeführt werden, da so Material gespart werden kann. Daraus resultiert bei gleicher Wassermenge eine höhere Drehzahl. Für einen höheren Wirkungsgrad sind mehr Gänge von Vorteil.

Bei der Planung einer Wasserkraftschnecke ist daher eine Optimierung hinsichtlich Fischfreundlichkeit, Wirtschaftlichkeit und Wirkungsgrad erforderlich.

### 4.3 Spaltmaß

Um das Risiko einer Verletzung während der Passage zu minimieren muss der Spalt zwischen Windungen und Trog möglichst gering gehalten werden. Dies verbessert außerdem den Wirkungsgrad, da weniger Wasser zwischen den Becken fließt. Ausführungen, bei denen Schnecke und Trog miteinander verbunden sind, weisen keinen Spalt auf und sind somit besonders sicher. Das Verletzungsrisiko bei einem kleinen Spalt ist sehr gering und fällt im Vergleich zu den anderen genannten Punkten kaum ins Gewicht [7 p.62+68]. In Abbildung 3 ist eine Anlage zu sehen, bei der der Spalt aufgrund einer Beschädigung zu groß ist. Laut mündlicher Aussage eines Herstellers von Wasserkraftschnecken ist es auch wichtig, dass der Spalt gleichmäßig über den gesamten Schnecken-trog verläuft. Veränderungen im Spaltmaß können sich negativ auf die Fischfreundlichkeit auswirken. [17]

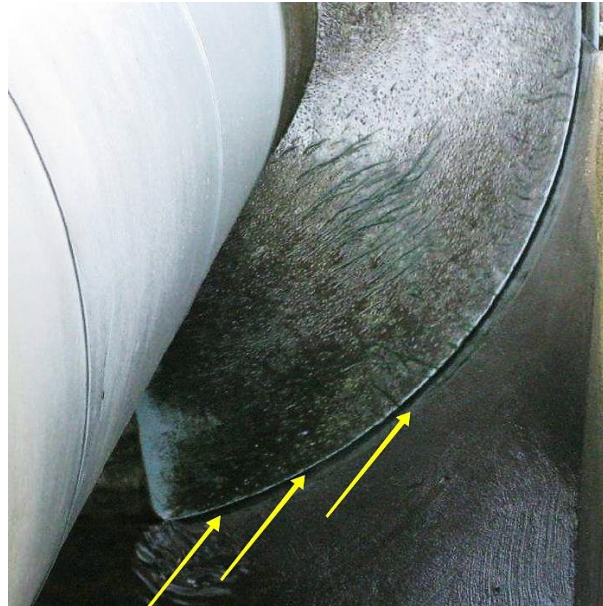


Abbildung 3: Großer Spalt zwischen Windung und Trog aufgrund einer Beschädigung [7]

### 4.4 Auslaufbereich

Um Druckschäden zu vermeiden, ist darauf zu achten, dass die Wasserkraftschnecke gut ins Unterwasser eingebunden ist. Dies bedeutet, dass durch die Drehung der Schnecke an der letzten Windung möglichst wenig Luft ins Wasser eingebracht werden sollte. Der Auslaufbereich sollte nicht verbaut sein, damit sich schwimmschwache oder desorientierte Fische im turbulenten Bereich hinter der Wasserkraftschnecke nicht verletzen können.

Nachfolgend sind drei unterschiedlich gestaltete Auslaufbereiche zu sehen. In Abbildung 4 ist eine Wasserkraftschnecke am Fluss Dart in Großbritannien zu sehen. Es ist zu erkennen, dass der Auslaufbereich in einem felsigen Bereich liegt. Besonders schwimmschwache Fische könnten sich bei zu hohen Strömungsgeschwindigkeiten an den Felsen verletzen.



Abbildung 4: Auslaufbereich einer Wasserkraftschnecke am Fluss Dart – Schwimmschwache Fische können sich bei ungünstigen Strömungsverhältnissen an den Felsen verletzen (Quelle: [3])

Abbildung 5 ist eine Wasserkraftschnecke an der Werra in Deutschland zu sehen. Man sieht deutlich das turbulent ausströmende Wasser. Dies kann zur Desorientierung der Fische führen, wodurch die Gefahr durch Fressfeinde steigt. Positiv ist, dass die Betonkonstruktion nur wenig ins Unterwasser ragt. Dadurch ist das Risiko für schwimmschwache Fische gegen das Hindernis zu stoßen gering.



Abbildung 5: Auslaufbereich einer Wasserkraftschnecke an der Werra – Positiv ist die Gestaltung der Betonkonstruktion, negativ ist die turbulente Abströmung (Quelle: [7])

In Abbildung 6 ist eine Wasserkraftschnecke an der Wörnitz in Deutschland zu sehen. Der Auslaufbereich ist aufgrund eines Hochwassers deutlich eingestaut. Bauart bedingt können Fische im Unterwasser nicht durch den Kontakt mit einem Hindernis verletzt werden. Bei normalen Abflüssen ragt die Schnecke allerdings nicht weit genug ins Unterwasser wodurch es zu den oben beschriebenen Druckschäden kommen kann.



Abbildung 6: Auslaufbereich einer Wasserkraftschnecke an der Wörnitz – Positiv ist, dass keine Hindernisse im Auslaufbereich vorhanden sind, negativ ist die geringe Einbautiefe bei normalen Abflüssen (Quelle: [6])

Bei modernen Schnecken wird durch eine spezielle Windungsgestaltung im Auslaufbereich eine nahezu laminare Abströmung erreicht. Neben der Umlaufgeschwindigkeit sehen die Hersteller in der Auslaufgestaltung den zweiten wesentlichen Faktor für die Fischfreundlichkeit der Wasserkraftschnecken [17].

## 4.5 Sonderbauformen

Einen Spezialfall stellen Wasserkraftschnecken dar, bei denen sich die Windungen in einem geschlossenen Rohr bewegen. Diese Konstruktion weist keinen Spalt auf, ist aber beispielsweise nicht für Flüsse mit hohem Geschwemmselaufkommen geeignet, da sich das Totholz in den Kammern verkanten kann. Die Wartung dieser Schneckenart ist sehr aufwendig. Hydroconnect bietet eine solche Rohrschnecke für Durchflüsse bis  $6,5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$  an. Die größte in Betrieb befindliche Anlage von Hydroconnect wird mit  $1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$  betrieben. [14]

## 4.6 Zusammenfassung

Als wesentlich für die Fischfreundlichkeit der Wasserkraftschnecken dürften die Umlaufgeschwindigkeit und die Gestaltung des Auslaufs gelten. Unter Berücksichtigung der oben genannten Punkte bei der Anlagenplanung kann davon ausgegangen werden, dass die absteigenden Fische die Anlage unbeschadet durchwandern können. Um diesen Zustand zu erhalten sind regelmäßige Inspektionen des Spaltabstandes, der Windungskanten und des Einlaufbereiches durchzuführen. Die endgültige Gestaltung einer Wasserkraftschnecke stellt eine Optimierung hinsichtlich Fischschutz, betrieblichen Belangen und Wirtschaftlichkeit dar.



## 5 Anforderungen an wissenschaftliche Arbeiten

Aus den in Kapitel 1 untersuchten Studien haben sich Anforderungen an wissenschaftliche Arbeiten zur Fischfreundlichkeit von Wasserkraftschnecken ergeben. In diesem Kapitel wird versucht eine Aussagekräftige Methodik zu erarbeiten und die einzelnen Punkte zu erläutern. Es spielt hierbei keine Rolle, ob die Studie an einem Wasserkraftstandort an einem Gewässer oder einer Testanlage im Labor durchgeführt wird. Eine Testanlage in einem Labor hat allerdings den Vorteil, dass unterschiedliche Konfigurationen untersucht werden können.

### 5.1 Untersuchung der Fische

Um Vorschäden ausschließen zu können, sollten die Fische vor der Schneckenpassage untersucht und die vorhandenen Verletzungen wie Flossenschäden oder ähnliches dokumentiert werden oder nur unverletzte Fische bei der Untersuchung zum Einsatz kommen. Dieses Vorgehen verhindert, dass Verletzungen, die durch Fressfeinde oder Kontakt mit Ästen oder Steinen beim natürlichen Schwimmen im Fluss entstanden sind, in die Auswertung mit einbezogen werden. Um Schädigungen durch die bei Freilandstudien benötigte Fangvorrichtung im Unterwasser zu minimieren müssen die Fische möglichst zeitnah nach der Passage entnommen und untersucht werden.

### 5.2 0-Messung

Da durch die zeitnahe Entnahme der Fische eine Schädigung aber nicht vollständig ausgeschlossen werden kann ist eine zusätzliche 0-Messung nötig. Hierfür werden die Fische ohne Schneckenpassage in die Fangvorrichtung gegeben und nach dem normalen Leerungsintervall auf Schäden untersucht. Die vorgefundenen Schädigungen müssen dann nachher von der Gesamtschädigung abgezogen werden.

### 5.3 Fangvorrichtung

Je nach Situation kann die Fangvorrichtung das Ergebnis erheblich verfälschen. Verletzungsraten von 3% [3] bis 7% [7] sind dokumentiert aber vor allem im Herbst wenn zusätzlich Laub die Netze füllt können diese Werte noch deutlich höher liegen. Wird die Untersuchung im Labor durchgeführt kann auf den Einsatz von Reusen gänzlich verzichtet werden, da die Fische den Versuchskanal nicht verlassen können. Werden die unter 5.1 und 5.2 genannten Punkte beachtet, können vorgefundene Verletzungen direkt der Wasserkraftschnecke zugeordnet werden.

### 5.4 Hälterung

Um Rückschlüsse auf innere Verletzungen ziehen zu können, sollten die Fische ausreichend lange gehältert werden. Dadurch können auch Aussagen über eine verzögerte Mortalität getroffen werden.

### 5.5 Artenspektrum und Individuenanzahl

Um statistisch gesicherte Aussagen treffen zu können sollten möglichst viele Fische die Wasserkraftschnecke passieren. Pro untersuchte Fischart muss eine repräsentative Anzahl ausgewertet werden. Um die Anzahl der Fische gering zu halten, können Fische auch mehrmals über die Schnecke absteigen gelassen werden. Zwischen den einzelnen Abstiegen sollte aber genug Zeit liegen. Da die Verletzungsanfälligkeit stark von der Art abhängt, sollten möglichst viele unterschiedliche Fischarten untersucht werden. In natürlichen Gewässern sollte

daher ein möglichst breites Spektrum der vorkommenden Arten und in Laboruntersuchungen möglichst alle relevanten Arten unterschiedlicher Fischregionen näher betrachtet werden.

## 5.6 Auswertung und Ergebnisdarstellung

Werden die oben genannten Punkte erfüllt, lassen sich verlässliche Aussagen über die Schädigungsrate der untersuchten Wasserkraftschnecke treffen. Um diese Ergebnisse mit denen anderer Studien vergleichen zu können, sollten die Ergebnisse eine einheitliche Form aufweisen. Die untersuchten Fische werden in die vier Kategorien „Lebend ohne Schäden“, „Lebend mit Schäden“, „Tot mit Schäden“ und „Tot ohne Schäden“ eingeteilt. So ist auf einen Blick zu sehen, wie viele Fische die Anlage ohne Verletzungen passieren konnten und wie hoch die Mortalität beziehungsweise Schädigungsrate ist. Zusätzlich sollten die einzelnen Verletzungsarten wie Schuppenverluste, Flossenschäden oder Fleischwunden dokumentiert werden. Die Ergebnisse müssen pro Fischart angegeben werden um Rückschlüsse auf Flüsse mit einer ähnlichen Population ziehen zu können aber auch über alle untersuchten Arten gemittelt um eine Aussage über die untersuchte Anlage zu treffen.

## 5.7 Variation der Schneckenparameter

Wird die Studie in einem Labor durchgeführt sollten unterschiedliche Schneckenvarianten untersucht werden um ein möglichst allgemeines Ergebnis zu erhalten. Zu den zu variierenden Größen gehören die Drehzahl, der Durchmesser, der Aufstellwinkel und die Gangzahl. An bestehenden Anlagen lässt sich dies nicht durchführen, weswegen es hier nötig ist mehrere unterschiedliche Anlagen zu untersuchen.

## 5.8 Aussagen zum Abwanderverhalten

Neben den Aussagen zur direkten Schädigung der Fische ist auch das Verhalten bei der Wanderung interessant. Um darüber Auskünfte machen zu können, können die nachfolgend erläuterten Verfahren eingesetzt werden.

### 5.8.1 Vor der Wasserkraftschnecke

Um Einflüsse auf das Wanderverhalten direkt vor Wasserkraftschnecken zu untersuchen sollten die Fische nicht direkt vor der Schnecke eingesetzt werden, sondern in einem gewissen Abstand, der ihnen erlaubt den Abstieg zu verweigern. Der Bereich vor der Schnecke sollte mit Kameras überwacht werden um das Verhalten der Fische zu dokumentieren.

### 5.8.2 Generelles Wanderverhalten

Um Einblick in das generelle Wanderverhalten zu erlangen können sogenannte Passive Integrated Transponder (PIT) tags eingesetzt werden. Dabei handelt es sich um kleine Chips, mit denen Fische ausgestattet werden können. In Abbildung 7 ist zu sehen, wie klein diese Sender sind. Anders als bei GPS-Sendern kann die Position nicht direkt erfasst werden, sondern muss an ausgewählten Stellen mit Antennen aufgenommen werden.

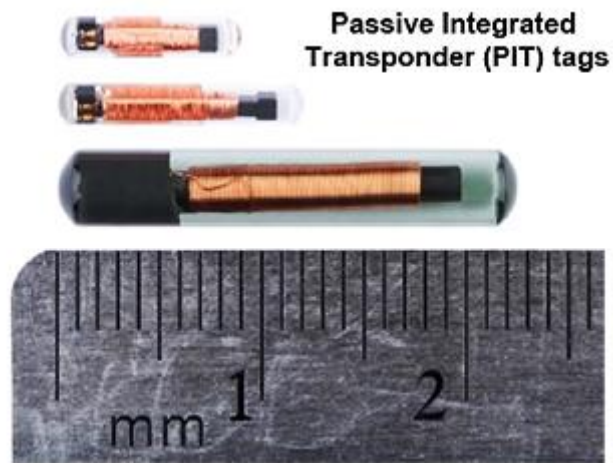


Abbildung 7: PIT Tags unterschiedlicher Größe [15]

So kann beispielsweise erfasst werden, welche Fische durch die Turbine schwimmen und welche Bypasssysteme zum Abstieg nutzen. Zusätzlich kann die Verweildauer in einem bestimmten Bereich ermittelt werden. Auch eine Rückkehr in einen bereits durchschwommenen Abschnitt kann registriert werden. In Abbildung 8 ist ein möglicher Aufbau eines solchen Versuches dargestellt.

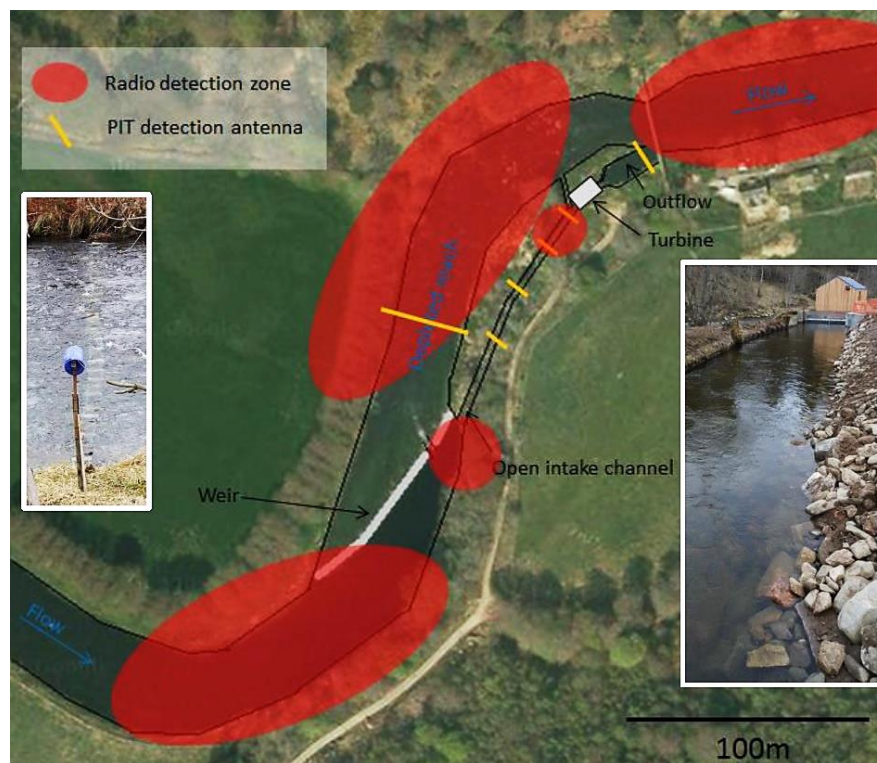


Abbildung 8: Mögliches Messschema beim Einsatz von PIT Tags [9]

## **6 Forschungsbedarf zum Nachweis der Fischfreundlichkeit**

Um in Bezug auf den Fischabstieg als fischfreundlich gelten zu können, müssen Wasserkraftschnecken zwei wesentliche Punkte erfüllen. Als erstes müssen die Fische die Schnecke ohne dauerhafte Schäden passieren können. Der zweite Punkt ist vor allem für diadrome Arten von Bedeutung. Um den Lebenszyklus nicht zu beeinträchtigen ist es wichtig, dass die Fische nicht zu lange an einem Wanderhindernis verweilen.

Zum ersten Punkt, dem Schädigungspotential wurden bereits einige Studien durchgeführt. Vor allem Lachssmolts wurden hinreichend auf Schädigungen durch Wasserkraftschnecken untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass nur ein sehr geringes bis kein Schädigungspotential vorhanden ist. Für potamodrome Arten liegen nur wenige Untersuchungen vor, von denen manche methodisch schlecht durchgeführt wurden, weswegen für diese Arten noch weitere Studien nötig sind.

Zum zweiten Punkt, dem Einfluss auf das Wanderverhalten der Fische, gibt es kaum Ergebnisse. Es gibt bisher nur drei Untersuchungen dazu, die einen geringen Einfluss auf das Wanderverhalten vermuten lassen. Es sind allerdings noch weitere Studien nötig um diese Ergebnisse zu bekräftigen.

## 7 Überprüfung ED-Projekte mit Anforderungen in Großbritannien

### 7.1 Anforderungen in Großbritannien

Die Anforderungen an geplante Wasserkraftschnecken (WKS) in Großbritannien legen eindeutig fest, wann eine solche Anlage ohne zusätzlichen Feinrechen betrieben werden darf. Die Forderungen sind nachfolgend aufgeführt:

- 100mm Grobrechen
- Einlaufkantenschutz aus Hartgummi bis zu einer Geschwindigkeit von  $3,5 \frac{m}{s}$  an der Außenkante
- WKS mit Geschwindigkeiten von mehr als  $3,5 \frac{m}{s}$  an der Außenkante müssen mit einem komprimierbaren Gummischutz ausgerüstet werden
- 3-gängig: Mindestdurchmesser: 1,4m; maximale Drehzahl:  $32 \frac{U}{min}$
- 4-gängig: Mindestdurchmesser: 2,2m; maximale Drehzahl:  $30 \frac{U}{min}$
- 5-gängig: Mindestdurchmesser: 3,0m; maximale Drehzahl:  $24 \frac{U}{min}$
- WKS mit variabler Geschwindigkeit werden bevorzugt
- Fische mit einer Länge von mehr als 60cm müssen durch Rechen vom Einschwimmen in die WKS abgehalten werden
- WKS mit Geschwindigkeiten über  $5 \frac{m}{s}$  an der Außenkante oder 5m Durchmesser müssen mit einem Rechen ausgerüstet werden um große Fische abzuhalten
- Die Einlaufkante muss mindestens 10mm hinter dem Trogbeginn verlaufen bevor der Schutz montiert wird
- Der Gummischutz muss 5mm hinter dem Trogbeginn verlaufen
- Der Spalt zwischen Schnecke und Trog darf maximal 5mm betragen und muss regelmäßig überprüft werden
- Der Gummischutz muss regelmäßig überprüft werden
- Nachweis über im Gewässer vorhandene Fische (Größe) muss erbracht werden

Erfüllt die Anlage und auch das Gewässer die Anforderungen darf die WKS ohne Feinrechen erbaut und betrieben werden. [16]

### 7.2 Vergleich von drei ED-Anlagen mit den Anforderungen

Nachfolgend werden zwei Anlagen von Energiedienst mit den Anforderungen in Großbritannien verglichen. Bei der in Tabelle 19 zu sehenden Anlage in Hausen handelt es sich um ein bereits in Betrieb befindliches Kraftwerk mit zwei Wasserkraftschnecken. Die grün hinterlegten Punkte erfüllen die Anforderungen oder übertreffen diese, wie im Fall der Düse zur Dämpfung des Wasserschlages im Unterwasser. Bei dem gelb hinterlegten Punkt für den Spaltabstand liegen die geforderten Werte im Bereich des Intervalls. Eine Überschreitung der zulässigen Werte ist allerdings auch möglich. Beim Grobrechen liegt der Grund für den größeren Stababstand in der horizontalen Ausrichtung des Rechens. In der Wiese kommen Fische mit einer Höhe größer 100mm vor, die durch den Rechen bei einem Stababstand von 100mm abgehalten würden. Beim rot hinterlegten nicht vorhandenen Kantenschutz wird die Auflage nicht erfüllt. Ein Betrieb

ohne Feinrechen wäre in Großbritannien in dieser Konstellation daher nicht zulässig. Ein solcher Kantenschutz ließe sich aber leicht nachrüsten.

Kenngrößen	Anforderungen GB	Hausen
Flügelzahl:	4	4
Durchmesser:	min. 2,2 m	3,4 m
Drehzahl:	max. 30 U/min	22,3 U/min
Spaltabstand:	max. 5 mm	4 bis 6 mm
Ausführung Einlaufbereich:	Einlaufkante 10 mm hinter Trog	Einlaufkante hinter Trog
Einlaufkantenschutz ja/nein:	ja	nein
Gestaltung des Auslaufbereichs:	keine	Düse zur Dämpfung des Wasserschlages
Daten Grobrechen:	100 mm	150 mm horizontal
Standort (Gewässer, größter Fisch):	Fische kleiner 60 cm	Wiese (Fische kleiner 60 cm)

Tabelle 19: Vergleich der Wasserkraftschnecke in Hausen mit den Anforderungen in Großbritannien

Der Vergleich für ein in der Planung befindliches Ausleitungskraftwerk ist in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zu sehen. Da es sich hier um eine Wasserkraftschnecke mit drei Gängen handelt, sind die Anforderungen für den Durchmesser und die Drehzahl etwas niedriger. Für den Grobrechen gilt die gleiche Begründung wie schon beim vorangegangenen Vergleich. Ein Einlaufkantenschutz ist auch hier nicht vorgesehen und das Spaltmaß liegt mit 8mm deutlich über der zulässigen Grenze von 5mm. Es handelt sich hier aber um ein Ausleitungskraftwerk, das das Wasser aus einem Kanal erhält in dem keine Fische vorkommen. Der Fischabstieg wird an der Wasserfassung realisiert. Daher wird bei der Wasserkraftschnecke nicht auf die höchste Fischfreundlichkeit geachtet.

Kenngrößen	Anforderungen GB	Maulburg
Flügelzahl:	3	3
Durchmesser:	min. 1,4 m	3,9 m
Drehzahl:	max. 32 U/min	22
Spaltabstand:	max. 5 mm	8 mm
Ausführung Einlaufbereich:	Einlaufkante 10 mm hinter Trog	Einlaufkante hinter Trog
Einlaufkantenschutz ja/nein:	ja	nein
Daten Grobrechen:	100 mm	150 mm horizontal
Standort (Gewässer, größter Fisch):	Fische kleiner 60 cm	Wiese (Fische kleiner 60 cm)

Tabelle 20: Vergleich der geplanten Wasserkraftschnecke in Maulburg mit den Anforderungen in Großbritannien

Der obige Vergleich macht deutlich, dass bereits realisierte und geplante Wasserkraftschnecken der Energiedienstgruppe die Anforderungen in Großbritannien in weiten Teilen erfüllen. Der fehlende Einlaufkantenschutz lässt sich auch an bestehenden Anlagen leicht und kostengünstig nachrüsten. Die Wasserkraftschnecken wären in Großbritannien also genehmigt worden und dürften ohne weiteren Bypass betrieben werden.

## 8 Zusammenfassung

Die bisher durchgeführten Auswertungen zur Fischfreundlichkeit von Wasserkraftschnecken (z.B. Ebel 2013) geben die Zusammenhänge nur unvollständig wider und führen zu falschen Schlussfolgerungen. Denn in den Kapiteln 2 und 3 wurde festgestellt, dass bei den bisher durchgeführten Studien zum Teil erhebliche Mängel in der Methodik bestehen. Die Ergebnisse der mangelhaften Studien können daher nicht zur Beurteilung der Fischfreundlichkeit von Wasserkraftschnecken herangezogen werden. Des Weiteren ist ein Vergleich der einzelnen Studien auf Grund der stark unterschiedlichen Methodik und Ergebnisaufbereitung nicht immer möglich.

Es zeigt sich aber, dass die Untersuchungen zu Lachsen und Aalen methodisch weitgehend gut durchgeführt wurden, wohingegen Untersuchungen zu potamodromen Arten meist größere Mängel aufwiesen. Bei den Untersuchungen zu absteigenden Lachsen hat sich gezeigt, dass diese die Wasserkraftschnecke ohne Schäden passieren.

Zur Scheuchwirkung von Wasserkraftschnecken liegen bisher drei Studien vor, die alle zu dem gleichen Ergebnis kommen. Weder bei Lachsen, Neunaugen oder den untersuchten potamodromen Fischarten konnte eine aktive Meidung der Wasserkraftschnecke festgestellt werden. Die zeitliche Verzögerung betrug im Mittel 15 Minuten (Einzelexemplare maximal 30 Minuten). Eine starke Beeinträchtigung des Wanderverhaltens liegt nach diesen ersten Erkenntnissen also nicht vor.

In Kapitel 4 sind die wichtigsten konstruktiven Vorgaben aufgeführt, die dazu beitragen eine Wasserkraftschnecke fischfreundlich zu gestalten. Insbesondere Umlaufgeschwindigkeit und Auslaufgestaltung spielen eine wichtige Rolle. Werden die Anlagen auf die für die Fischfreundlichkeit relevanten Punkte ausgelegt, kann davon ausgegangen werden, dass Fische die Wasserkraftschnecke ohne bleibende Schäden passieren können. Um diesen Zustand zu erhalten sind regelmäßige Überprüfungen des Zustands der Anlage und gegebenenfalls Wartungen nötig.

Ausgehend von den unterschiedlichen Untersuchungsmethoden wurde in Kapitel 5 eine Methodik entwickelt, um die Belastbarkeit der Ergebnisse verschiedener Studien und deren Vergleich zu erleichtern. Zusätzlich lassen sich die eventuell dokumentierten Schäden eindeutiger der Wasserkraftschnecke zuordnen, wenn Vorschäden ausgeschlossen und die Schädigungen durch die Fangvorrichtung berücksichtigt werden.

In Kapitel 6 wird auf den noch bestehenden Forschungsaufwand eingegangen. Dabei fiel auf, dass zu diadromen Fischarten bereits viele positive Ergebnisse vorliegen. Weiterer Untersuchungsbedarf besteht bei potamodromen Arten und zur Scheuchwirkung von Wasserkraftschnecken.

Von besonderer Bedeutung erschien es den Autoren, zu prüfen ob aktuell realisierte oder geplante Anlagen bereits den in Großbritannien geltenden Anforderungen für fischfreundliche Wasserkraftschnecken entsprechen. Dies konnte für die von Energiedienst realisierten / geplanten Anlagen (mit Ausnahme des einfach nachrüstbaren Einlaufkantenschutzes) nachgewiesen werden.

Abschließend lässt sich feststellen, dass Wasserkraftschnecken, die die wesentlichen Kriterien zur Fischfreundlichkeit erfüllen mit hoher Wahrscheinlichkeit keine oder nur sehr geringe Auswirkungen auf die absteigenden Fische haben und daher als fischfreundlich zu bezeichnen sind.

## 9 Literaturverzeichnis

- [1] C. Edler, O. Diestelhorst und M. Kock, „Untersuchungen zur Abwanderung und Schädigung von Fischen an der Wasserkraftschnecke Rhede-Krechting (Bocholter Aa, Kreis Borken) im Sommer und Herbst 2010. Abschlussbericht im Auftrag des Landesfischereiverbandes Westfalen und Lippe e.V.“, Bochum, 2011.
- [2] G. Stein, „Wasserbodenstein,“ [Online]. Available: <http://www.wasserbodenstein.de/html/wasserkraftschnecke.html>. [Zugriff am 20.07.2015].
- [3] P. Kibel, „Fish Monitoring and Live Fish Trials. Archimedes Screw Turbine, River Dart; Phase 1 Report: Live fish trials, smolts, leading edge assessment, disorientation study, outflow monitoring,“ 2007.
- [4] P. Kibel, „Archimedes Screw Turbine Fisheries Assessment. Phase II: Eels and Kelts,“ 2008.
- [5] P. Kibel, T. Coe und R. Pike, „Assesment of fish passage through the Archimedes Turbine and associated by-wash,“ 2009.
- [6] P. Tombek, „Untersuchungen zur Effektivität alternativer Triebwerkstechniken und Schutzkonzepte für abwandernde Fische beim Betrieb von Kleinwasserkraftanlagen,“ 2009.
- [7] W. Schmalz, „Untersuchungen zum Fischabstieg und Kontrolle möglicher Fischschäden durch die Wasserkraftschnecke an der Wasserkraftanlage Walkmühle an der Werra Meiningen,“ 2010.
- [8] B. Zeringer, M. Grigull und S. Auer, „Abstiegsversuch an der Wasserkraftschnecke "HYDROCONNECT" mit "Albrecht fishLift inside" an der Jeßnitz in Niederösterreich,“ BOKU, 2014.
- [9] R. Brackley, „Migration of Atlantic salmon at low-head Archimedean screw hydropower schemes,“ 2015.
- [10] F. Bracken und M. Lucas, „Potential impacts of small-scale hydroelectric power generation on downstream moving lampreys,“ *River Research and Applications* 29, pp. 1073-1081, 2013.
- [11] R. Moursund, D. Dauble und M. Langeslay, „Turbine intake diversion screens: investigating effects on Pacific lamprey,“ *Hydro Review* 22, pp. 40-46, 2003.
- [12] G. Ebel, *Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen - Handbuch Rechen- und Bypasssysteme*, Halle (Saale), 2013.
- [13] P. Kibel und T. Coe, *Archimedean Screw risk assessment: strike and delay*



probabilities, 2011.

- [14] [Online]. Available: <http://www.hydroconnect.at/>. [Zugriff am 29 September 2015].
- [15] [Online]. Available:  
[http://www.dfw.state.or.us/MRP/finfish/black\\_rockfish/images/pit\\_tags.jpg](http://www.dfw.state.or.us/MRP/finfish/black_rockfish/images/pit_tags.jpg). [Zugriff am 2 September 2015].
- [16] Environment Agency, „Guidance for run-of-river hydropower - Screening requirements,“ 2013.
- [17] Anonymus, Mündliche Mitteilung der führenden Schneckenhersteller am 16.06.2015 im Umweltministerium Baden-Württemberg

## 10 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungen:

Abbildung 1: Überstehende Einlaufkante mit Rundung. [3] .....	20
Abbildung 2: Einlaufkantenschutz [3] .....	21
Abbildung 3: Großer Spalt zwischen Windung und Trog aufgrund einer Beschädigung [7] .....	22
Abbildung 4: Auslaufbereich einer Wasserkraftschnecke am Fluss Dart – Schwimmschwache Fische können sich bei ungünstigen Strömungsverhältnissen an den Felsen verletzen (Quelle: [3]) .....	23
Abbildung 5: Auslaufbereich einer Wasserkraftschnecke an der Werra – Positiv ist die Gestaltung der Betonkonstruktion, negativ ist die turbulente Abströmung (Quelle: [7]) .....	23
Abbildung 6: Auslaufbereich einer Wasserkraftschnecke an der Wörnitz – Positiv ist, dass keine Hindernisse im Auslaufbereich vorhanden sind, negativ ist die geringe Einbautiefe bei normalen Abflüssen (Quelle: [6]) .....	24
Abbildung 7: PIT Tags unterschiedlicher Größe [15] .....	27
Abbildung 8: Mögliches Messschema beim Einsatz von PIT Tags [9] .....	27

### Tabellen:

Tabelle 1: Überblick zur Studie von Späh im Jahr 2001 .....	4
Tabelle 2: Überblick zur Studie von Fishtek im Jahr 2007 .....	6
Tabelle 3: Überblick zur Studie von Fishtek im Jahr 2008 .....	7
Tabelle 4: Überblick zur Studie von Fishtek im Jahr 2009 .....	7
Tabelle 5: Überblick zur Studie von Tombek im Jahr 2009 an der Gugelmühle .....	8
Tabelle 6: Überblick zur Studie von Tombek im Jahr 2009 an der Rödermühle .....	9
Tabelle 7: Überblick zum ersten Untersuchungsblock der Studie von Schmalz im Jahr 2010 .....	10
Tabelle 8: Überblick zum zweiten Untersuchungsblock der Studie von Schmalz im Jahr 2010 .....	11
Tabelle 9: Überblick zum dritten Untersuchungsblock der Studie von Schmalz im Jahr 2010 .....	11
Tabelle 10: Abschätzung der Folgemortalität [1] .....	12
Tabelle 11: Überblick zur Studie von Edler et al. im Jahr 2011 .....	13
Tabelle 12: Überblick zur Studie der BOKU im Jahr 2014 .....	14
Tabelle 13: Überblick zur Studie von Brackley im Jahr 2015 .....	14
Tabelle 14: Überblick zur Studie von Bracken im Jahr 2013 .....	15
Tabelle 15: Bewertung der untersuchten Studien .....	16
Tabelle 16: Überblick zur Studie von Fishtek im Jahr 2009 .....	18
Tabelle 17: Überblick zur Studie von Brackley im Jahr 2015 .....	19
Tabelle 18: Überblick zur Studie von Bracken im Jahr 2013 .....	19
Tabelle 19: Vergleich der Wasserkraftschnecke in Hausen mit den Anforderungen in Großbritannien .....	30
Tabelle 20: Vergleich der geplanten Wasserkraftschnecke in Maulburg mit den Anforderungen in Großbritannien .....	30