

# Telemetrie - Möglichkeiten und Grenzen der Methodik



Armin Peter, Dr.  
FishConsulting GmbH, Hagmattstr. 7, 4600 Olten/Schweiz  
e-mail: [apeter@fishconsulting.ch](mailto:apeter@fishconsulting.ch)  
[www.fishconsulting.ch](http://www.fishconsulting.ch)



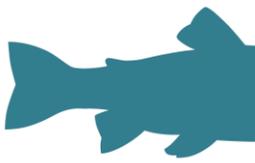
Augsburg, 4.12.2019 8. Workshop Forum Fischschutz und Fischabstieg

## Frage an das Publikum

Sind Sie der Auffassung, dass zuverlässige Methoden fürs Monitoring existieren, um das Verhalten der Fische beim Abstieg an Kraftwerken ausreichend zu dokumentieren ?

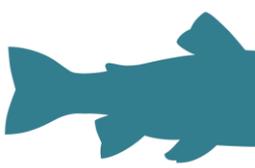


Resultat der Umfrage:  
100 % grüne Karten



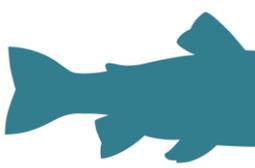
# Inhalt

- Was ist Biotelemetry
- Präsentation von drei Methoden
- Vor- und Nachteile der Methoden
- Anwendungsbereiche / Möglichkeiten
- Grenzen/Nachteile



## Ziel

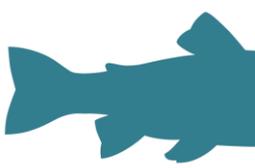
- Kann das Erreichen der identifizierten Fischschutzziele durch Funktionskontrolle oder Monitoring evaluiert werden
- methodische Möglichkeiten zur Überprüfung der Zielerreichung
- Fokus auf Methodik «Telemetrie»
- damit verbundene Unsicherheiten



## Präsentation von drei Telemetriemethoden

- PIT-Tagging (RFID, HDX)
- Radiotelemetrie
- Akustische Telemetrie





## Biotelemetrie

Instrumentelle Technik um Information von einem lebenden Organismus und seiner Umwelt zu gewinnen und an einen entfernten Beobachter zu übertragen  
(Slater 1965)

Meist Kabellose Übertragung eines hörbaren Signals oder elektronischer Daten, um den Aufenthaltsort eines markierten Fisches festzustellen.

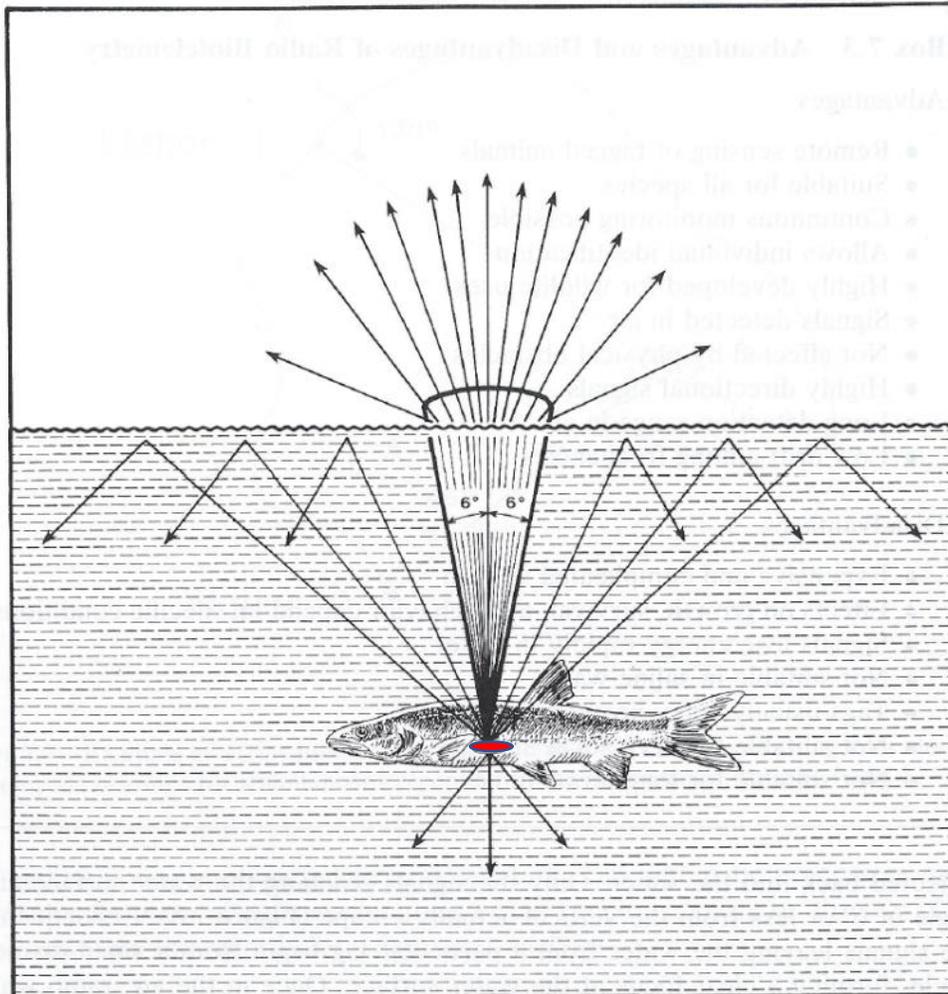
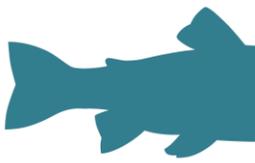


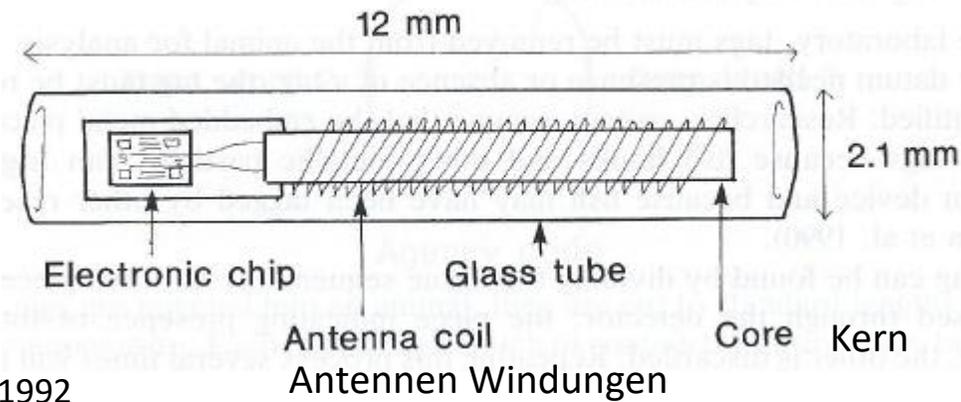
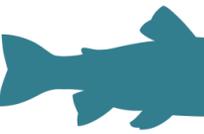
Bild aus Tyus 1982



# 1. PIT Tagging (Passive Integrated Transponder Tags)



- PIT tags sind seit 1987 im Einsatz
- keine interne Batterie, wird nur aktiviert, wenn die Marke einem elektromagnetischen Feld ausgesetzt ist, lange Lebensdauer
- Marke wurde in kleine Salmoniden (55 mm Gabellänge) ohne wesentliche Auswirkungen auf Wachstum und Mortalität eingepflanzt
- Detektion bis 32 mal pro s, bis 5 m Fließgeschwindigkeit
- minimale Fischgröße von zirka 100 mm Gabellänge empfohlen
- sehr erprobte Methode



PIT tag  
Bild aus Nielsen 1992

Das Lesegerät produziert ein magnetisches Feld, welches an den Windungen der Antenne Energie induziert. Wenige Volts versorgen den Chip mit Strom. Die Lage des PIT tags im magnetischen Feld ist entscheidend. Bei Präsenz von mehreren Marken kommt es zu Kollisionen.

Frequenz 134.2 KHz

## HDX tags

erhältlich in folgenden Grössen:

12 x 2.15 mm

23 x 3.65 mm

32 x 3.65 mm

12 mm, 0.1 g



23 mm, 0.7 g



32 mm, 1.0 g

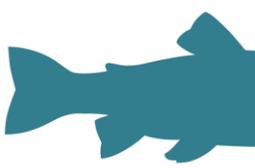


**HDX tags** (half-duplex): das Antennenfeld wird dauernd ein/aus geschaltet: intervallmässig, zweiphasig. 50 ms aus-senden, 50 ms auf Signale von Transpondern hören.

14 scans pro s,

Antennenlängen bis 60 m möglich, geringer Stromverbrauch, Selbstbau von Antennen.

**FDX Systeme** emittieren ein kontinuierliches magnetisches Feld, welches die Marke lädt. Sie hören gleichzeitig auf leicht abweichender Frequenz. 30 Leseintervalle pro s

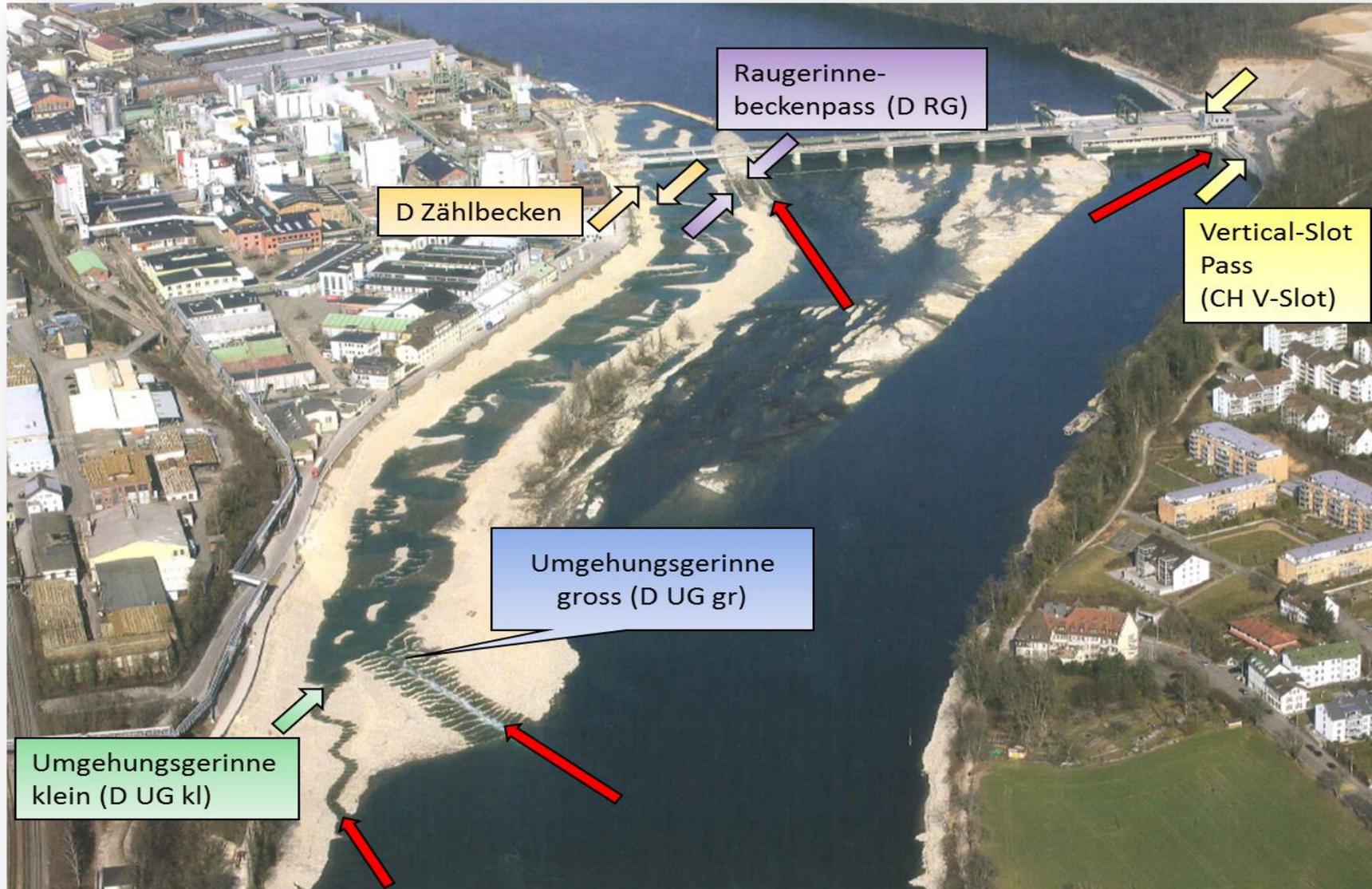
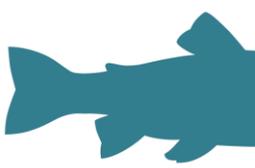


## Markierung mit PIT-TAG

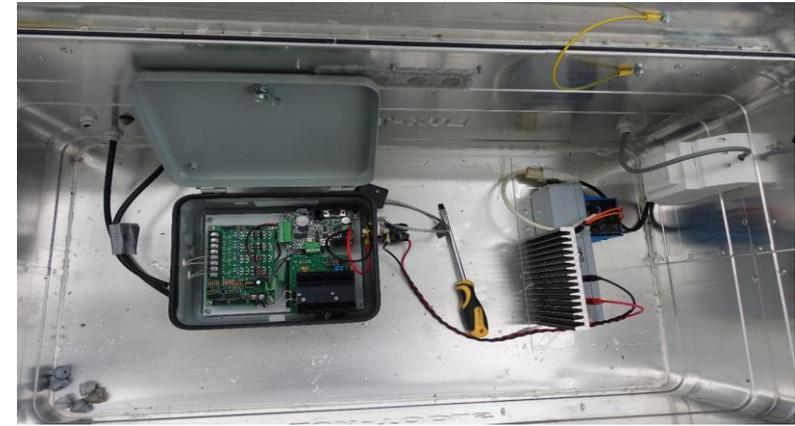
- Betäubung der Fische mit Nelkenöl, Anästhesiestufe 4-5
- Schnitt mit Skalpell, ventral in Körperhöhle



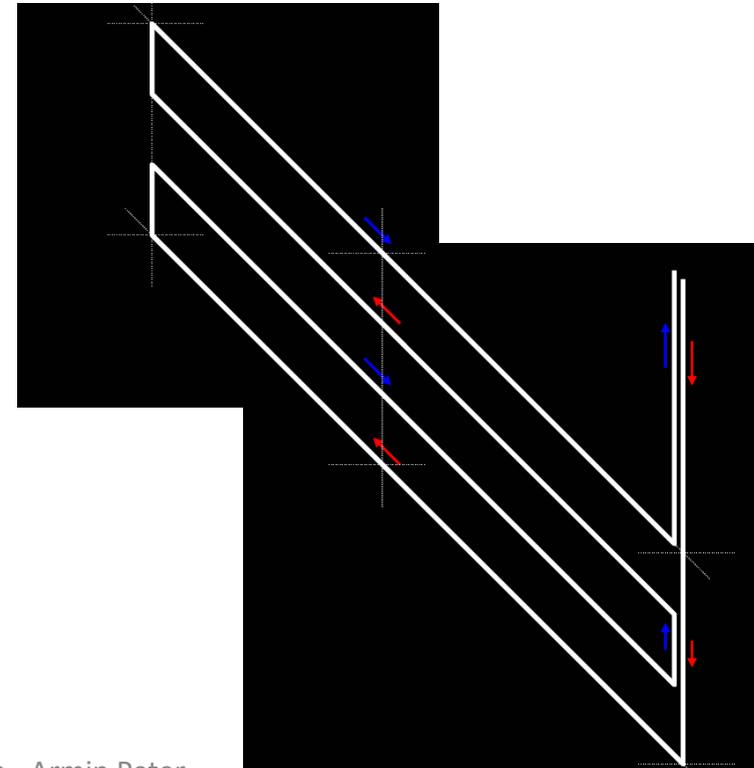
# KW Rheinfelden



Bild© Energiedienst



Antenne im Umgehungsgerinne  
Aare Ruppoldingen  
Antenne 12 m breit, tiefe Stellen



Fisch-  
treppe  
mit PIT-  
Tag  
Antenne



Louver  
System  
mit  
Bypass



Schlitz beim  
KW Rheinfelden  
Rhein CH

PIT tag  
Antennen  
am **Vernon Dam**  
**Connecticut River USA**<sup>14</sup>

# Haltbarkeit der PIT tags und Effekte auf Fische

Ostrand et al. 2012

Haltbarkeit nach 6 Monaten für 0+-Fische:

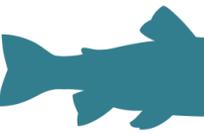
- Coho 100 %, Steelhead 95 %, Cutthroat trout 97 %, Bulltrout 99 %  
Überlebensraten 97-99 %, ausser Bulltrout 88 %

**Effekt auf 0+-Bachforellen** (Richard et al. 2013). 12 mm tags haben keinen Einfluss auf Mortalität, Wachstum und Überleben für Forellen 56-63 mm.

**Effekt auf Aale:** PIT tags haben einen Langzeiteffekt auf das Wachstum von Aalen (Mazel et al. 2013)

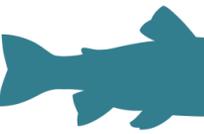
# 20 mm Horizontalrechen, Bypass - KW Schiffmühle an Limmat CH





## Typische Anwendungsbereiche für PIT-Tagging beim Fischabstieg

- Abstiegskorridore an kleinen Kraftwerken erfassen  
z. B. Bypass, Turbinenpassage
- Abstieg über Fischpass
- Generell wird PIT-Tagging häufiger bei  
Studien zur Aufwanderung verwendet  
(Einstiege bei Fischtreppen, Passagezeit)



## Möglichkeiten der PIT-Tags

- individuelle Marken in verschiedenen Grössen
- geeignet für viele Arten und Grössenklassen
- extrem lange Haltbarkeit der Marke - Langzeitstudien
- rasche Markierung
- Kein Handling für Erkennen der Fische (Lesen im Wasser)

## Grenzen/Nachteile

- geringe Lesedistanzen (max. 1 m)
- Equipment ja nach Fragestellung aufwendig
- Marke äusserlich nicht sichtbar
- erfahrenes Personal notwendig
- Kollisionen durch mehrere Tags möglich



## 2. Radiotelemetrie

Radiotelemetrie eignet sich für Flüsse und Bäche mit geringer Leitfähigkeit und geringer Tiefe (max. 5-10 m). Radiotelemetrie ist also für lineare Systeme ideal.

Radiofrequenzen: 30 – 225 MHz, meist 148-172 MHz

Radiowellen breiten sich im Wasser und in der Luft aus.

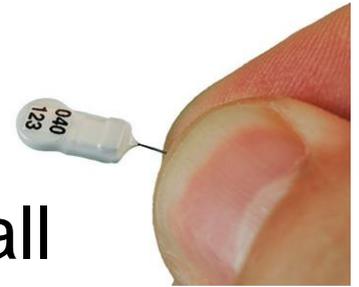
Das Gewicht eines Senders sollte 2 % des Körpergewichts des Fisches nicht übersteigen. Das Implantieren eines Senders ist ein grösserer Eingriff und verlangt höchste Sorgfalt. Der Sender enthält eine Antenne (20-30 cm lang) sowie eine Batterie, seine Lebensdauer ist somit beschränkt.

# Radiotelemetrie Sender: Grössen und Lebensdauer



Nanotags

Kleinsten Sender 0.25 g, 5x3x10 mm  
33 Tage Lebensdauer bei Sendeintervall  
von 10 s



Uncodierte/codierte Sender für Langzeitstudien  
z.B. 11 g schwer, 882 Tage Lebensdauer bei 10 s  
25 g schwer, Lebensdauer 2929 Tage bei 5 s

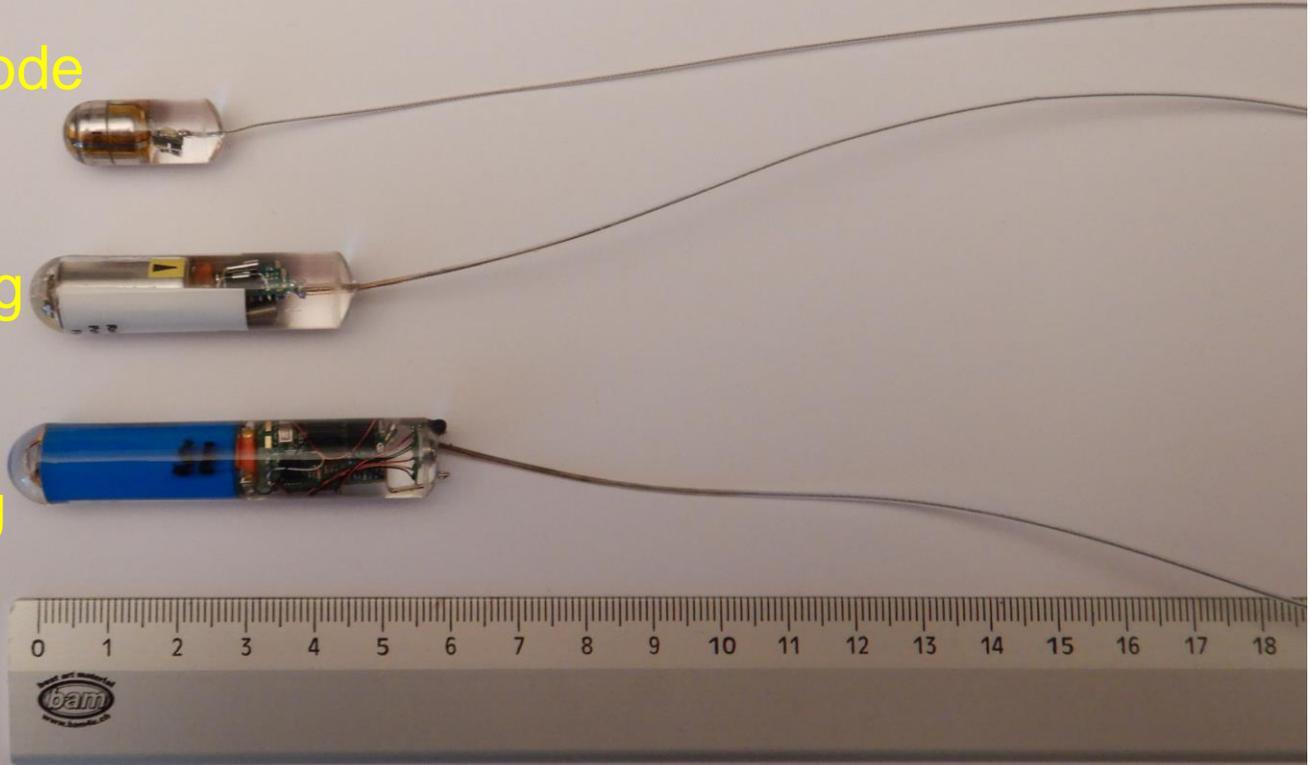


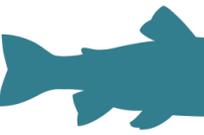
Sender mit Sensoren, z. B. Temperatur, Tiefe  
oder Bewegungsdetektion  
z.B. 12 g, zirka 340 Tage bei 5 s

Nano Tag mit Code  
3 g

Tag mit Code 8 g

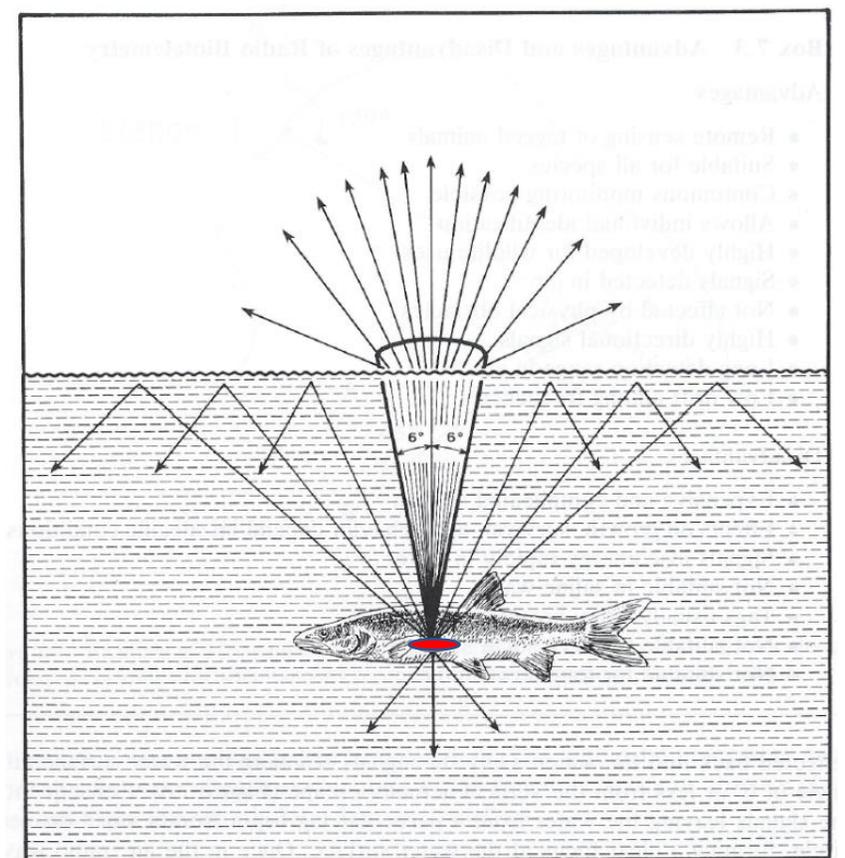
Sensor Tag 12 g





Groppe mit Radiotelemetriesender,  
(0.4 g, Lebensdauer 60 Tage)  
und chirurgisch geschlossener  
Wunde



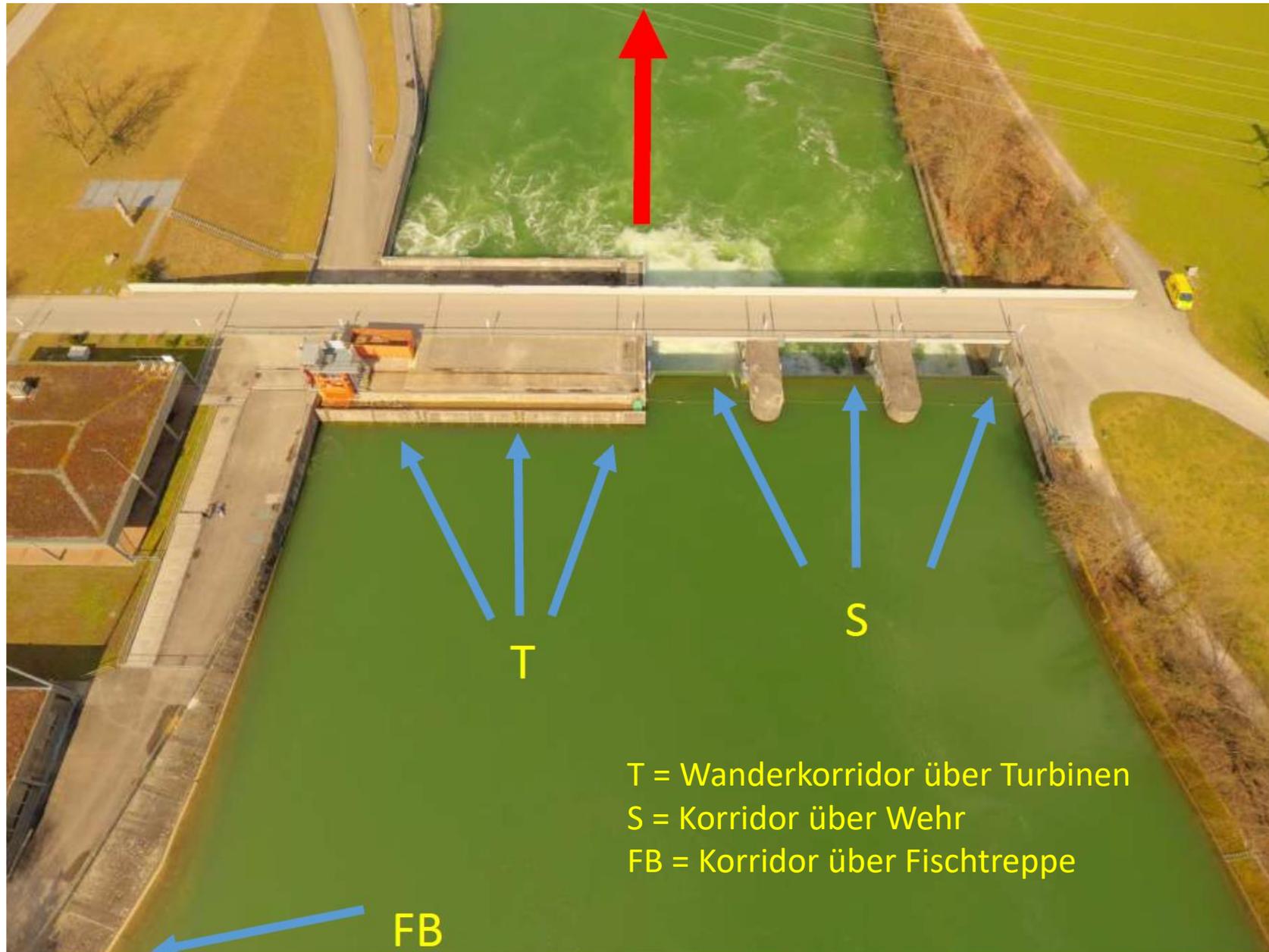


aus Tyus 1982

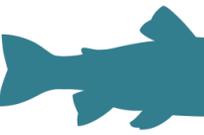
- Beispiele für Projekte: Äschen im Ticino
- Abstiegsverhalten Lachs und Aale Sieg,  
KW Unkelmühle



# Kraftwerk Bannwil Aare FIHydro Projekt



T = Wanderkorridor über Turbinen  
S = Korridor über Wehr  
FB = Korridor über Fischtreppe



Kraftwerk Bannwil  
links: Oberwasser  
Rechts: Unterwasser



# Effekte von Radiotelemetrie auf Fische

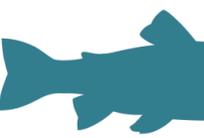


- Effekte durch Markierung auf Mortalität, Wachstum, Schwimmleistung sind möglich
- minimale bis signifikante Mortalität (in seltenen Fällen) ist dokumentiert
- Markenverluste sind möglich, aber sehr selten
- dokumentierte Auswirkungen auf Zielfischart sind vor dem Markieren zu studieren
- indirekte Effekte (Verhalten, Physiologie) möglich
- Beeinflussung des Schwimmverhaltens hängt von der Fischart und der Markiermethode ab
- Senderbefestigung: 3 mögliche Methoden mit Vor- und Nachteilen

Literatur für Radiotelemetrie mit vielen neueren Artikeln

Adams, N.S., J.W. Beeman, and J.H. Eiler. Editors. 2012. Telemetry techniques:

A user guide for fisheries research. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.

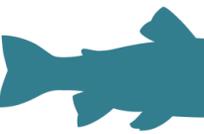


## Möglichkeiten

- Ortung des Fisches ist jederzeit möglich
- für alle Arten geeignet
- detaillierte Wanderungsinformationen
- Erfassen der Mortalität bei der Abwanderung
- Signaldetektion in der Luft und im Wasser
- Ortung über sehr weite Distanzen möglich

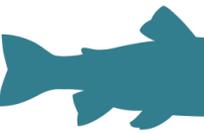
## Grenzen/Nachteile

- sehr zeitintensiv
- sehr teure Methode (Sender und Equipment)
- negative Auswirkungen auf Fische möglich
- in Seen und Salzwasser nicht geeignet
- Antenne ausserhalb des Körpers



## Typische Anwendungsbereiche von Radiotelemetrie beim Fischabstieg

- Durchschwimmen des Stauraumes
- Annäherung an das Kraftwerk
- Erfassen des Abwanderungskorridors
- Zeitverzögerungen vor Kraftwerk
- Infos zur Turbinenpassage (welche Turbine, ev. Schwimmtiefe)
- Turbinenmortalität
- Verhalten nach Kraftwerkspassage, lineare Verfolgung



### 3. Akustische Telemetrie

Starke Zunahme der akustischen Telemetrie-Anwendungen in den letzten 10 Jahren.

Es gibt zwei Typen von akustischer Telemetrie:

- **Aufzeichnen von Präsenz/Absenz**

Von einander unabhängige Empfänger registrieren die Position der Fische, durch die Auswertung ergibt sich ein Bewegungs- oder Wanderungsmuster

- **Positionssysteme (Habitatsbenützung)**

Positionssysteme zeichnen detaillierte, hoch-aufgelöste Schwimmbewegungen innerhalb eines beschränkten Areal auf, basierend auf Detektionenvon mehreren miteinander verbundenen Empfängern:

2 D oder 3 D Analysen sind möglich.

Detektionsweite: Mehrere Hundert Meter

Positionierung des Fisches: exakte Positionierung wie bei keiner anderen Methode

Für 3D Analysen braucht es mindestens eine Detektion auf vier Hydrophonen

Frequenzen: < 300 kHz bei ruhigen Umgebungen,  
z. B. 16-69 kHz

oft aber im Bereich von 300-500 kHz (lärmige Umgebung)

Komponenten

**Transmitter** (Marke) emittiert kurze Pings, welche sich im Wasser ausbreiten, 1500 m/s Geschwindigkeit

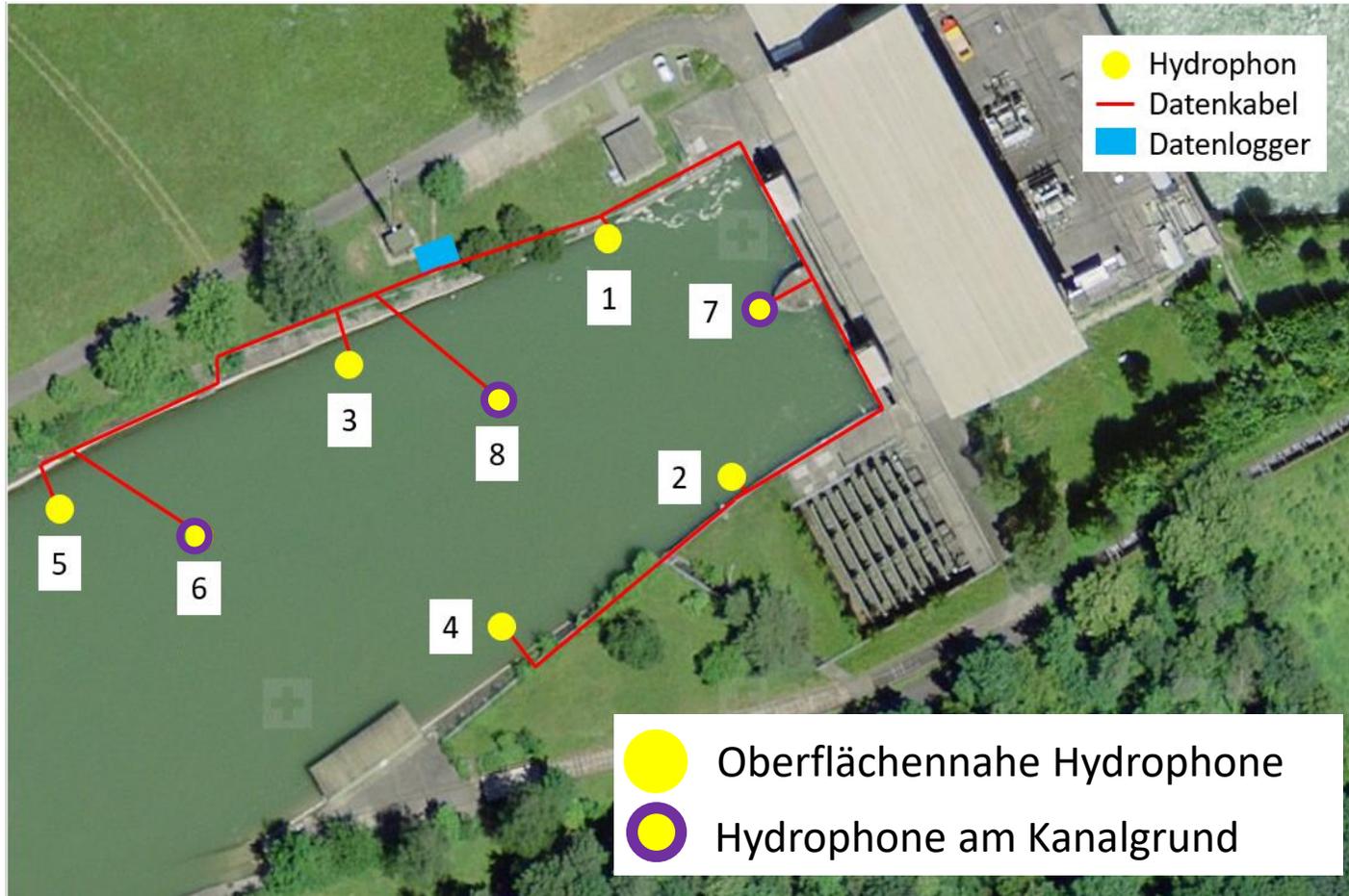
**Hydrophon** ist das akustischen Äquivalent der Antenne bei Radiotelemetrie. Es setzt die akustischen Signale in elektrische Signale um.

**Empfangssystem**

**Feinpositionierungssystem: örtliche Auflösung 1 m**

# Akustische Telemetrie KW Wildegg-Brugg

Installation der 8 Hydrophone beim Kraftwerk



Quelle: Google Maps, adaptiert Axpo

Life time tags:  
250 Tage, resp.  
300 Tage

Positionierung eines Hydrophons  
unter Wasser

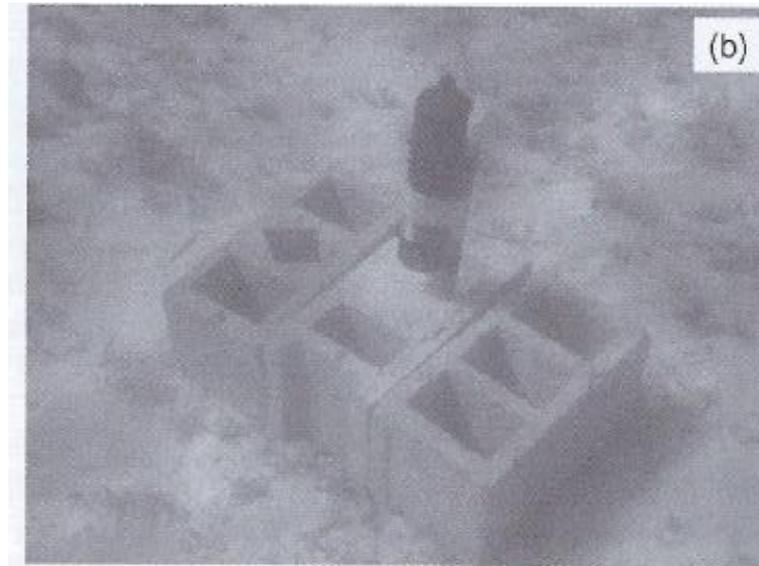


Bild aus Murchie et al.  
2012



**ACOUSTIC TAGS:  
MODEL 795-SERIES, MODEL 900-SERIES & PDAT (PREDATION DETECTION ACOUSTIC TAGS)**

Acoustic Tag Model

Diameter mm	Length mm	Vol. cm <sup>3</sup>	Source Level dB/uPa	Weight		Approximate Life*		
				In Air grams	Fresh-water grams	3 sec PRI	10 sec PRI	
<i>Model 795-Lm</i>	6.8	17.5	0.28	149	0.65	0.34	38 d	66 d
<i>Model 795-LD</i>	6.8	20.0	0.45	149	1.10	0.55	98 d	175 d
<i>Model 795-LG</i>	11.0	25.0	1.40	152	4.60	3.10	220 d	400 d
<i>Model 795-LY</i>	16.0	48.0	5.70	152	11.90	7.30	2.5 yr	4 yr
<i>Model 795-LZ</i>	16.0	69.0	12.0	152	24.00	14.00	4 yr	5 yr

*Model 900-s*

*Model 900-Lm*

*Model 900-LB*

*Model 900-LD*

\* *Model 900-PB PDAT*

\* *Model 900-PD PDAT*

6.0	16.0	0.28	152	0.57	0.29	~ 35 d	~ 65 d
6.0	19.0	0.31	152	~ 0.65	~ 0.34	~ 55 d	~ 100 d
9.0	18.0	0.50	152	0.80	0.30	70 d	125 d
9.0	20.0	0.56	152	~ 0.96	~ 0.40	~ 110 d	~ 200 d
10.0	23.0	0.50	152	~ 0.80	~ 0.30	~ 60 d	~ 110 d
10.0	25.0	0.56	152	~ 0.96	~ 0.40	~ 100 d	~ 180 d

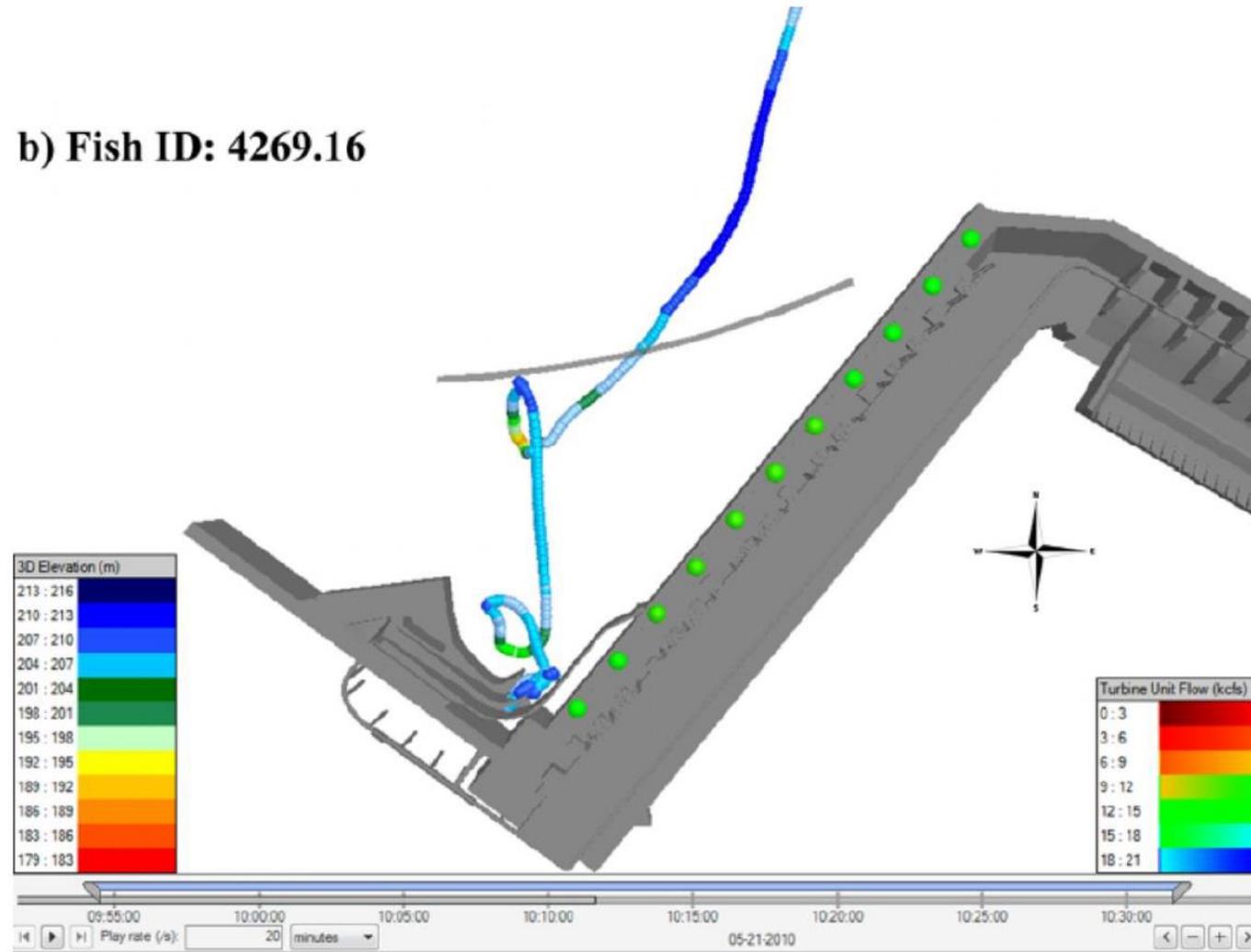
\* While, future predation detection may be included in all *Model 900-Series Tags*, they are presently only offered in the *Model 900-PB* and *Model 900-PD*.

Estimated. Life can be extended by decreasing Pulse Width (PW) and/or increasing Pulse Rate Interval (PRI). All tags operate at 307 kHz. Length, diameter, & weight may vary +/- 10%. Life quoted is based on operating parameters of 1 msec pulse width, single pulse, at 10°C.

# Beispiel der Schwimmwege von Chinook Lachsen am Rocky Reach Damm – Columbia River

aus Steig & Holbrook 2012

b) Fish ID: 4269.16



Focus only on 1<sup>st</sup> Entrance (since data recording) in Fish Ladder

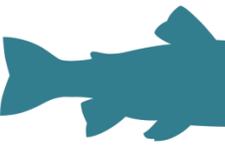


KW Altusried  
Iller

Äsche

1st entrance Grayling 46906 last 30Min (0 days 00:29:57.926728)





## Typische Anwendungsbereiche der akustischen Telemetrie beim Fischabstieg

- Hochauflösende Darstellung des Verhaltens der Fische vor dem Kraftwerk, bei 3 D Positionierung mit Tiefenangaben
- Erfassen der Adaptationstiefen der in die Turbine einschwimmenden Fische
- Aufzeigen der Abwanderungskorridore vor dem Kraftwerk
- Suchbewegungen – Verzögerungen bei Abstieg
- Wasserkraftschnecke Albert Kanal Belgien:  
12 Hydrophone im Stau; Detektion der Abstiegswege: 14 % der Aale und 0 % der Lachssmolts steigen über Turbine ab

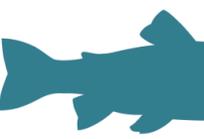


## **Möglichkeiten akustische Telemetrie**

- hochaufgelöste 2D oder 3D Fischbewegungen sind möglich
- Analyse des detaillierten Verhaltens von Fischen an Hindernissen – Erfassen der Mortalität
- Abwanderungskorridor gut identifizierbar
- Detektion in grossen Wassertiefen, auch im Meer
- keine Antenne ausserhalb des Fischkörpers

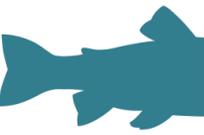
## **Grenzen/Nachteile**

- hoch spezialisiertes Equipment notwendig, sehr zeitintensiv
- hohe Kosten für Anschaffung des Geräteparks bei Positionssystemen
- hohe technische Spezialisierung nötig
- «noise» Probleme, daher nicht geeignet bei geringen Tiefen oder bei hohem Luftgehalt des Wassers



## Fazit

- Telemetrische Methoden besitzen ein grosses Potenzial für Erfolgskontrollen beim Fischabstieg/Fischschutz
- Detektion von detaillierten Verhaltensmustern ist möglich
- Erfassen der Mortalität beim Abstieg möglich
- das Potenzial der Methoden ist bei weitem nicht ausgeschöpft
- spezialisiertes Know-how ist nötig
- hoher Aufwand - hohe Kosten
- Unsicherheiten: Verletzung der Fische



*Besten Dank*

