

Fischpassierbarkeit von Dükeranlagen in kleinen Fließgewässern

Christian Wolter, Christian Schomaker, Jens Puchmüller, Susanne Jürgensen, Leonie Goll und Matthias Rehfeld-Klein (Berlin)

Zusammenfassung

Die Durchgängigkeit der Gewässer ist eine Grundvoraussetzung zur Erreichung der Umweltqualitätsziele entsprechend der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie. Düker wurden diesbezüglich kaum untersucht, sodass möglicher Handlungsbedarf nicht einzuschätzen ist. Deshalb wurde im Unterlauf der Panke in Berlin ein 33 Meter langer Düker auf seine Fischpassierbarkeit untersucht und dafür 150 Fische mit passiven Transpondern markiert, im Unterwasser besetzt und ein Empfängerantennensystem installiert. 45,3 Prozent aller markierten Fische wurden geortet, davon 34 Prozent im Oberwasser nach erfolgreicher Passage. Mit 1:2 geneigten Ein- und Ausläufen, Fließgeschwindigkeiten von 0,2-0,7 m/s und vorhandenen Sedimentablagerungen an der Sohle erwies sich der Düker als uneingeschränkt fischpassierbar.

Schlagwörter: Wasserbau, Gewässerausbau, Europäische Wasserrahmenrichtlinie, Düker, Fischwanderung, Biotop, Verbund, Panke, Berlin

DOI: 10.3243/kwe2010.01.004

Abstract

Abilities of fish to pass inverted siphons in small rivers

Connectivity is a prerequisite to reach the environmental targets of the Water framework Directive. In this respect, inverted siphons have rarely been studied so far limiting assessing the need for action. Therefore, in the lower section of the Panke River (Berlin) the fish passage through a 33 m long inverted siphon was studied by PIT-tagging 150 fish; stock them in the tail water and installing a receiver system. In total 45.3 percent of the marked fish were detected, 34 percent of them in the head water after successful passage. The inverted siphon was found being unlimitedly passable for fish by having in- and outflow slopes of 1:2, flow velocities between 0.2-0.7 m/s, and sediment depositions at the bed.

Key words:

1 Einleitung

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie verpflichtet die Mitgliedstaaten, bis zum Jahr 2015 einen guten ökologischen Zustand bzw. ein gutes ökologisches Potenzial der Gewässer zu erreichen. Dafür sind bis Ende 2009 Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme aufzustellen, wie die Umweltziele der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie erreicht werden sollen. Eine wesentliche Voraussetzung für den Erfolg dieser Programme – das heißt für eine erfolgreiche Revitalisierung von Gewässern – ist die Herstellung ihrer Durchgängigkeit für aquatische Organismen. Letzteres ist die Grundvoraussetzung für eine natürliche Wiederbesiedlung von Gewässern bzw. revitalisierten Gewässerabschnitten.

Bundesweit wurden bis September 2005 insgesamt 37698 Querbauwerke in Fließgewässern registriert, wobei in 30 Prozent der Flussgebiete die Querbauwerke nur unvollständig, in 10 Prozent nicht erfasst wurden [1]. Daneben existieren unzählige, oft nicht erfasste Kreuzungen von Gewässern, die als Rohr- oder Rahmendurchlässe ausgeführt wurden und ebenfalls Wanderhindernisse darstellen können – je nach Länge und Öffnungsgröße des Bauwerks, Wassertiefe im Durchlass, Einengung des Gewässerquerschnitts und auftretender Fließgeschwindigkeit

sowie Absturzhöhe im Unterwasser [2-7]. Einen Sonderfall der Durchlässe bilden Düker, mit deren Hilfe Gewässer in einer Druckrohrleitung nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhre unter einem Hindernis durchgeführt werden. Neben physikalischen Grenzwerten der Fließgeschwindigkeit und Schwimmstrecke könnten hier auch Verhaltensbarrieren die Wanderung beeinträchtigen, je nach Steilheit der Ein- und Ausläufe oder auftretender Druckunterschiede [8]. Zur Durchwanderbarkeit von Dükern liegen vergleichsweise wenige Untersuchungen vor [8-11], die sich auch nur schwer verallgemeinern lassen. Insgesamt erscheinen großvolumige Düker für Fische besser durchwanderbar [8]. Als Ergebnis umfangreicher Fang-Wiederfang-Experimente erwiesen sich große Dükeranlagen an Schunter, Aller und am Neetzekanal (alle Niedersachsen) für Wanderfische und großwüchsige Arten als passierbar, bildeten aber möglicherweise eine größenselektive Barriere für Fische <10 cm Totallänge [8]. Als fisch-passierbar wurde auch der 79 m lange Elde-Düker bei Dömitz, Mecklenburg-Vorpommern, eingeschätzt, obwohl in 15 Tagen insgesamt nur 28 Fische gefangen wurden [9]. Zu geringe Wiederfangraten von lediglich 0,5 Prozent schmälerten auch die Aussagekraft einer ersten Untersuchung des Panke-Dükers, Berlin, wobei im Rahmen dieser Untersuchung auch 14 nicht zuvor besetzte Fische mit Totallängen bis <8 cm gefangen wurden, was auf Möglichkeiten zur dauerhaften Besiedlung des Dükers hindeutete [10]. Übereinstimmend damit belegten auch populationsgenetische Untersuchungen an zwei durch einen 35 m langen Düker getrennten Groppenpopulationen der Zwanebeek, Flandern, keine größenselektive Trennwirkung [11]. Dazu ist allerdings zu bemerken, dass bereits ein effektiver Austausch von >4 Individuen je Generation für einen uneingeschränkten Genfluss ausreichend sind [13], während das Abundanzkriterium der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie für das biologische Qualitätselement Fische damit nicht erfüllt wird. Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, dass der Gewässergütebericht Fuhse-Wietze [12], Niedersachsen, ohne nähere Angaben zur Art der Untersuchung bzw. Einschätzung die Düker der Fuhse, des Billerbachs sowie verschiedener Mühlgräben als erhebliche, kaum zu beseitigende Wanderhindernisse nennt, während sich der Aue/Erse Düker unter dem Mittellandkanal als passierbar erwies.

Prinzipiell scheinen Düker für Fische passierbar zu sein, insbesondere wenn sie großvolumige Rechteckprofile, zwei NW-Röhren, möglichst schräge Ein- und Ausstiege (1:5 und flacher geneigt), eine durchgehend strukturierte Sohle mit natürlichem Geschiebe in ausreichender Schichtdicke und Fließgeschwindigkeiten $\leq 0,2 \text{ m s}^{-1}$ bei mittleren Abflüssen (MQ) aufweisen [8]. Gerade diese baulichen Voraussetzungen sind bei vielen kleineren Dükeranlagen aber nicht gegeben, weshalb im Rahmen der vorliegenden Studie geprüft wurde, inwieweit auch kleinere Düker mit steileren Einstrombereichen und höheren Fließgeschwindigkeiten für Fische passierbar sind.

Die Untersuchungen fanden an der Panke im innerstädtischen Bereich Berlins statt. Die Panke (29 km Länge, 198 km² Einzugsgebiet, $0,49 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ MQ an der Mündung [14]) wurde von Berlin und Brandenburg als Pilotgewässer für eine konzeptionelle Maßnahmenplanung zur Erreichung der Ziele nach Europäischer Wasserrahmenrichtlinie ausgewählt. Sie ist im Längsverlauf den LAWA-Gewässertypen 12 (kiesgeprägter Tieflandbach), 14 (sandgeprägter Tieflandbach) und 19 (Niederungsgewässer) zugeordnet und bietet insbesondere im Oberlauf Möglichkeiten, Kieslaichplätze für Flussfischarten zu rewi-

talisieren, die auch dem Erreichen des guten ökologischen Potenzials der innerstädtischen Spree dienen. Voraussetzung ist allerdings, dass die vorhandenen Bauwerke für Fische passierbar sind bzw. gemacht werden, so auch ein 33 m langer Düker rund 460 m oberhalb der Pankemündung zur Unterquerung eines U-Bahn-Tunnels (Abbildung 1). Dieser Düker hat entgegen den oben genannten Empfehlungen etwa 1:2 geneigte Ein- und Ausläufe (laut Zeichnung in Abbildung 1) mit Fließgeschwindigkeiten zwischen $0,27 \text{ m s}^{-1}$ und $0,57 \text{ m s}^{-1}$ bei Abflüssen von $0,50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ bis $1,07 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ im vollen Fließquerschnitt [14].

Ziel der Studie war es:

1. aufzuklären, inwieweit die Passierbarkeit bereits gegeben ist,
2. einzuschätzen, welche Umbaumaßnahmen eventuell erforderlich sind, um einem breiten Fischartenspektrum die Passierbarkeit des Dükers zu ermöglichen, sowie
3. wichtige Hinweise auf die Fischpassierbarkeit ähnlich dimensionierter Dükeranlagen zu liefern.

2 Material und Methoden

2.1 Markierungsexperiment

Für die experimentellen Untersuchungen erteilte das Landesamt für Gesundheit und Soziales (LAGeSo) eine Genehmigung zur Durchführung von Tierversuchen nach § 8 Abs. 1 des Tierschutzgesetzes zur Markierung von je 50 Individuen der Arten Aland *Leuciscus idus*, Barsch *Perca fluviatilis* und Plötze *Rutilus rutilus* (Genehmigungsnummer G 0054/09).

Den Versuchsfischen wurden passive Transponder (PIT-Tags) der Firma Oregon RFID (Portland, OR) implantiert. PIT-Tags sind individuell kodiert und werden erst beim Passieren einer Induktionsschleife der Empfängerantenne aktiviert, um die Codenummer auszulesen. Die Erfassung individuell markierter Fische mittels Empfängerantennen gestattet eine arten- und längenspezifische Einschätzung der Fischpassierbarkeit unter realen hydraulischen Bedingungen, das heißt ohne das Strömungsfeld durch Fanggeräte zu beeinflussen.

Die verwendeten RFID-Tags hatten eine Länge von 23 mm, weshalb nur Versuchsfische mit Totallängen von $\geq 12 \text{ cm}$ markiert wurden, um Beeinträchtigungen des Fischverhaltens durch den Transponder auszuschließen [15–17]. Im Wasser betrug die Masse des Transponders weniger als ein Prozent der Fischmasse.

Markierung (Übersicht in Tabelle 1) und Besatz erfolgten sukzessive in kleineren Gruppen, da die gleichzeitige Nutzung zu vieler Fische im Experiment vermehrt zu Fehlortungen führt. Passieren mehrere Fische zeitgleich die Empfängerantenne, wird nur das stärkste Signal detektiert und die übrigen Fische nicht geortet.

Im Oberwasser des Dükers wurden zwei Empfängerantennen ausgebracht, im Unterwasser ein Absperrnetz und dahinter eine weitere Empfängerantenne, um die Fische zu orten, die das Absperrnetz überwandern und sich so dem weiteren Versuch entzogen. Die Empfängerantennen sperrten jeweils den gesamten Gewässerquerschnitt. Sie bestanden aus einer doppelten Windung 4 mm Litzenkabel und wurden mittels sandgefüllter PVC-Kabelschutzrohre verlegt (Abbildung 2).

Die Signale wurden mittels RFID-Multi-Antenna-Reader mit integriertem Datenlogger erfasst und aufgezeichnet. Der Datenlogger wurde täglich ausgelesen und die Daten später aus-

gewertet. Nach anfänglichen Kalibrierungsarbeiten war die Versuchsanlage am 25. Mai 2009 etabliert und die ersten Versuchsfische wurden besetzt.

2.2 Sonaraufnahmen

Ergänzend zu den experimentellen Untersuchungen wurde am 13. Mai 2009 ein auf einem Schlitten montiertes Didson Sonar durch den Düker gezogen und Echolotaufnahmen der Niedrigwasserröhre angefertigt.

Das Didson-Sonar ist ein „Dual-Frequency-Identification-Sonar“ der Firma Sound Metrics Corporation, Lake Forest Park, USA, welches insgesamt 96 kurze Schallimpulse in einem horizontalen Winkel von $0,3^\circ$ und einem vertikalen von 14° sendet, die in der Summe ein Abtastfeld von $29^\circ \times 14^\circ$ (Breite \times Höhe) ergeben, womit sehr plastisch erscheinende Aufnahmen erzeugt werden. Im Dükerrohr waren die Turbulenzen ausreichend gering, um mit dem geschleppten Sonar auswertbare Aufnahmen zu erzeugen.

3 Ergebnisse

Insgesamt wurden 45,3 Prozent aller markierten Fische geortet, davon 34 Prozent im Oberwasser, das heißt nach erfolgreicher Dükerpassage (Tabelle 2). Während 68 Prozent der Alande im Oberwasser erfasst wurden, waren es nur 28 Prozent bei den Plötzen und 6 Prozent bei den Barschen. Umgekehrt verhielt es sich mit dem Anteil der nicht georteten Fische. Hier waren es 82 Prozent bei den Barschen, 54 Prozent der Plötzen und nur 28 Prozent der Alande. Ungeachtet dessen tauchten selbst die kleinsten der eingesetzten Versuchsfische (12 cm Totallänge) auch im Oberwasser auf und belegten damit die Durchwanderbarkeit des Dükers für kleine Fische (Tabelle 3).

Die meisten der georteten Fische durchschwammen den Düker relativ zügig, 25 Prozent innerhalb der ersten vier Stunden nach Besatz, während sich einzelne Fische neun (Barsch 13 cm) bis zehn Tage (Aland 22 cm) im Düker aufhielten (Abbildung 3). Vergleichbar variabel war die Ortungshäufigkeit einzelner Individuen. So wurde ein 17,5 cm langer Barsch insgesamt 1 248 Mal im Ober- und Unterwasser detektiert, weitere 25 Fische 10- \rightarrow 100 Mal.

Die im Untersuchungszeitraum aufgetretenen Durchflüsse lagen bis auf wenige Hochwasserspitzen deutlich unter $1 \text{ m}^3/\text{s}$, woraus bei vollem Fließquerschnitt mittlere Strömungsgeschwindigkeiten im Düker zwischen $0,15\text{-}0,71 \text{ m/s}$, im Mittel $0,26 \text{ m/s}$, resultierten.

Sohl nah dürften die Fließgeschwindigkeiten lokal noch geringer sein. Die Sonaraufnahmen zeigten deutlich Ablagerungen, Unebenheiten und Sohlrauhigkeiten im Düker, die Fischen Strömungsschatten und strömungsberuhigte Zonen bieten. Zudem waren auf den Aufnahmen zweifelsfrei mehrere Fische zu erkennen, die sich mit ruhigen Schwimmbewegungen fortbewegten, was die Möglichkeit zur dauerhaften Besiedlung des Dükers als Schutzhabitat unterstrich.

4 Diskussion

Insgesamt wurde etwas mehr als die Hälfte aller markierten Fische nicht geortet. Fehler bei der Erfassung einzelner Fische können auftreten, wenn mehrere Fische die Antenne gleich-

zeitig passieren, Fische sehr schnell und/oder in maximaler Entfernung von der Antenne vorbeischwimmen oder diese in einem ungünstigen Winkel passieren bzw. wenn Unrat und Schwemmgut das Signal verschleiern. Wenn Fische die Antenne zeitgleich passieren, wird lediglich das stärkste bzw. das erste ankommende Signal aufgezeichnet und die übrigen gehen verloren. Aufgrund des beobachteten zeitlichen Verlaufs der Ortungen ist nicht auszuschließen, dass mit der jeweils relativ starken Gruppe der Versuchsfische, die den Düker sehr schnell überwunden hat, weitere Fische unerfasst passieren konnten. Zudem musste im Versuchsverlauf witterungsbedingt das Abspernnetz sechs Mal, die Antennen einmal vor Hochwasser gesichert werden. Dabei konnten Fische unbenutzt den Düker passieren oder in das Unterwasser entweichen. Die Unterschiede der Ortungsraten zwischen den einzelnen Arten sind – neben artspezifischen Aktivitätsunterschieden außerhalb der Laichzeiten – insbesondere auf den Einfluss einzelner Hochwasserspitzen bis $5 \text{ m}^3/\text{s}$ während der Studie zurückzuführen. Nachweislich verblieben einige Fische auch ohne Abspernnetz bei hohen Abflüssen im Düker und wurden noch Tage nach einem solchen Ereignis geortet. Angesichts dessen sind die erzielten 45,3 Prozent Ortungsrate repräsentativ und erlauben eine verlässliche, positive Bewertung der Durchwanderbarkeit des Dükers für Fische. Eine Größenselektivität des Bauwerks scheint ebenfalls nicht vorzuliegen, was sich bereits durch Reusenbefischungen 2008 andeutete [10] und aktuell durch den Nachweis der kleinsten Versuchsfische im Oberwasser sowie die Sonaraufnahmen der Fische im Düker belegt wurde.

Sowohl die Steilheit der Ein- und Ausläufe, als auch die Fließgeschwindigkeit im Düker waren höher als empfohlen [8]. Letztere lag allerdings mit einem Mittelwert von $0,26 \text{ m/s}$ (Median $0,25 \text{ m/s}$) noch deutlich unter den $0,4\text{--}0,5 \text{ m/s}$ Fließgeschwindigkeit, die bei vergleichbaren Rohrdurchlässen bis 60 m als uneingeschränkt fischpassierbar gelten [5, 7]. Auf den Sonaraufnahmen waren deutliche Sedimentablagerungen am Fuß des Ein- und Auslaufs zu erkennen, was deren Steilheit mildert. Das im Düker abgelagerte Sediment (Sand, einzelne Steine) bietet den Fischen Strukturen und Strömungsschatten, womit es sowohl schwimmschwächeren Tieren die Durchwanderung als auch eine dauerhafte Besiedlung als Lebensraum oder Einstand ermöglicht. Es sollte daher unbedingt im Düker verbleiben und nicht im Rahmen von Unterhaltungsmaßnahmen beseitigt werden, soweit dadurch der Hochwasserabfluss nicht unzulässig eingeschränkt wird. Auch wenn massivere Ablagerungen zu einer relevanten Einschränkung der hydraulischen Leistungsfähigkeit führen, sollte nur eine kontrollierte Teilräumung vorgenommen werden. Alternativ können zur Verringerung der Fließgeschwindigkeit auch technische Strukturelemente eingebracht werden [2, 3], die jedoch deutlich höhere Kosten verursachen und die Unterhaltung erschweren. Hierzu sind gegebenenfalls noch weitergehende Untersuchungen erforderlich.

Literatur

- [1] A. Müller, D. Bleck (2005): Bundesweites Kataster der ökologisch wirksamen, funktional differenzierten Querverbauungen der Fließgewässer. UBA-Bericht, UBA-FB Nr. 000946, Umweltbundesamt, Dessau.

- [2] C. H. Clay (1995): Design of Fishways and Other Fish Facilities. 2nd ed., Boca Raton: Lewis Publishers.
- [3] G. M. Fitch (1996): Avoidance of nonanadromous fish passage impedence caused by highway culverts. *Transportation Research Record* 1559, 34-41.
- [4] A. Natmessnig (2007): Auswirkungen der EU-WRRL auf den Forststraßenbau. Diplomarbeit, Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur Wien.
- [5] M. L. Warren, M. G. Pardew (1998): Road crossings as barriers to small-stream fish movement. *Transactions of the American Fisheries Society* 127, 637-344.
- [6] H. Liebsch, A. Wedemeyer, J. Scholle (1995): Fischpassierbarkeit von Durchlassbauwerken. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 27, 165-168.
- [7] U. Schwevers, K. Schindehütte, B. Adam, L. Steinberg (2004): Zur Passierbarkeit von Durchlässen für Fische. *LÖBF-Mitteilungen* 3/04, 37-43.
- [8] L. Meyer (2003): Zur Sperrwirkung großer Dükeranlagen auf Fischwanderungen. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Binnenfischerei in Niedersachsen 6.
- [9] J. Quast, F. Krüger, J. Görlach, A. Ritzmann, J. Steidl (1997): Fischaufstiegsanlagen und ökomorphologischer Zustand der Hauptfließgewässer in Brandenburg. Münchenberg: Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung, ZALF-Bericht 29.
- [10] C. Wolter, C. Schomaker (2008): Überprüfung der Fischpassierbarkeit durch die Dükeranlage „Chausseestraße“ im Unterlauf der Panke. Studie im Auftrag des Fischereiamts Berlin, Endbericht.
- [11] G. Knaepkens, E. Verheyen, P. Galbusera, M. Eens (2004): The use of genetic tools for the evaluation of a potenzial migration barrier for the bull-head. *Journal of Fish Biology* 64, 1737-1744.
- [12] H. Faasch, B. Ouan (2003): Gewässergütebericht Fuhse-Wietze 2003. NLWK-Schriftenreihe Band 9, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft und Küstenschutz.
- [13] M. Slatkin, M. H. Barton (1989): A comparison of three indirect methods for estimating average levels of gene flow. *Evolution* 43, 1349-1368.
- [14] WASY Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH (2007): Vorstudie zur Herstellung der Durchgängigkeit der Panke für aquatische Organismen im Planungsbereich Nordhafenvorbecken bis Schulzendorfer Straße. Studie im Auftrag der Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Berlin.
- [15] N. Jepsen, A. Koed, E. B. Thorstad, E. Baras (2002): Surgical implantation of telemetry transmitters in fish: how much have we learned? *Hydrobiologia* 483, 239-248.
- [16] C. Skov, J. Brodersen, C. Brönmark, L. A. Hansson, P. Hertonsson, P. A. Nilsson (2005): Evaluation of PIT-tagging in cyprinids. *Journal of Fish Biology* 67, 1195-1201.
- [17] M. G. Walsh, A. K. Bjorgo, J. J. Isely (2000): Effects of implantation method for tracking small fishes in shallow rivers using passive integrated transponder (PIT) technology. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57, 1326-1329.

Autoren

Dr. Christian Wolter, Christian Schomaker
Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei
Müggelseedamm 310, 12587 Berlin

Jens Puchmüller, Susanne Jürgensen
Fischereiamt Berlin
Havelchaussee 149/151, 14055 Berlin

Leonie Goll, Matthias Rehfeld-Klein
 Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und
 Verbraucherschutz des Landes Berlin
 Brückenstraße 6, 10179 Berlin

E-Mail: wolter@igb-berlin.de



Markierung	Fischart			gesamt
	Aland	Barsch	Plötze	
23.05.2009	26	1	3	30
25.05.2009	23	7		30
30.05.2009	1	41	1	43
03.06.2009		1	26	27
07.06.2009			20	20
gesamt	50	50	50	150

Tabelle 1: Datum, Art und Anzahl der markierten Fische

Detektion	Aland	Barsch	Plötze	Gesamt
Oberwasser	34	3	14	51
Unterwasser	2	6	5	13
Absperrnetz	0	0	4	4
Nicht detektiert	14	41	27	82
Gesamt	50	50	50	150

Tabelle 2: Übersicht der insgesamt detektierten Fische

Art / Länge (cm)	Mini- mum	Maxi- mum	Mittel- wert	SD	N	%
Aland (N=50)						
Besatz	16,0	31,0	21,0	3,82	50	100,0
Oberwasser	16,0	28,0	21,4	3,53	34	68,0
Unterwasser	17,5	31,0	24,3	9,55	2	4,0
Nicht detektiert	16,0	26,5	19,7	3,55	14	28,0
Barsch (N=50)						
Besatz	12,0	28,5	18,0	3,69	50	100,0
Oberwasser	17,0	22,5	19,0	3,04	3	6,0
Unterwasser	13,0	25,5	18,6	4,12	6	12,0
Nicht detektiert	12,0	28,5	17,8	3,73	41	82,0
Plötze (N=50)						
Besatz	12,0	24,0	16,0	3,04	50	100,0
Oberwasser	12,0	24,0	17,8	3,51	14	28,0
Unterwasser	12,0	21,0	15,1	3,61	5	10,0
Absperrnetz	14,0	16,0	15,0	0,82	4	8,0
Nicht detektiert	12,5	24,0	15,5	2,63	27	54,0

Tabelle 3: Längenvergleich der besetzten, detektierten und nicht detektierten Fische (N = Anzahl, SD = Standardabweichung)

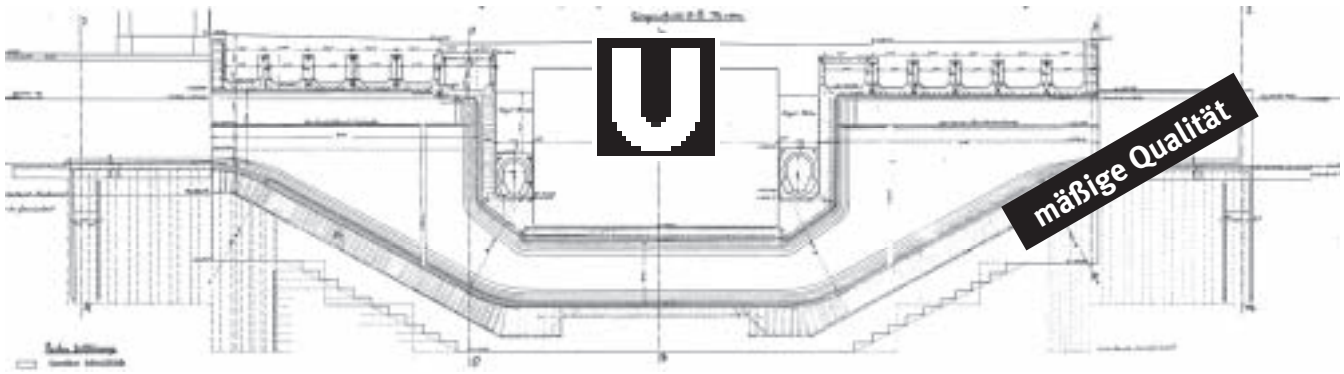


Abb. 1: Längsschnitt der Dükeranlage, nach „Sonder-Zeichnung über die Unterdückerung des Schönhauser Grabens unter die Nord-Süd-Bahn“, Berlin 1918, M 1:50

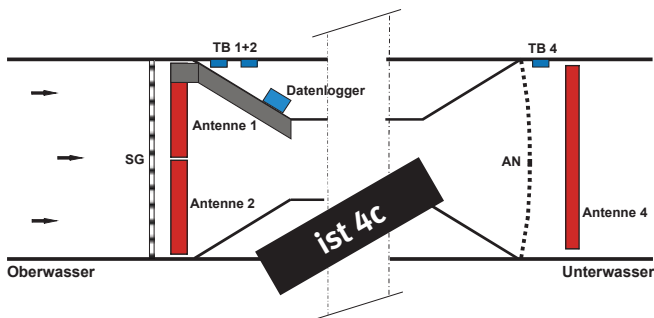


Abb. 2: Versuchsanordnung (TB = Tunerbox, SG = Schutzgitter, AN = Absperrenetz)

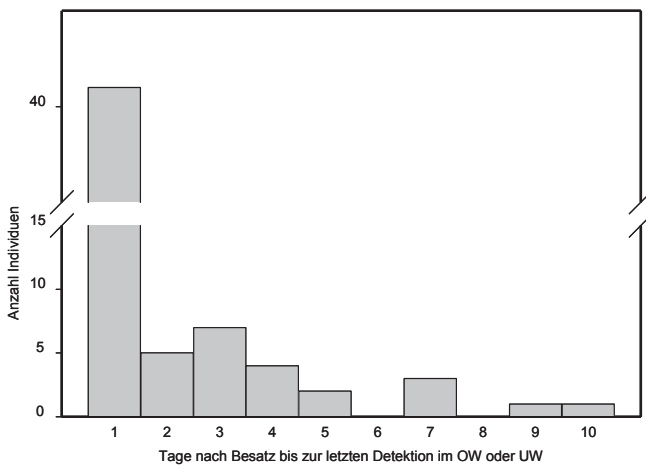


Abb. 3: Dauer zwischen Besatz und letzter Detektion eines markierten Fisches im Düker, als Maß für seine Aufenthaltszeit darin in Tagen (OW = Oberwasser, UW = Unterwasser)