



Fachbericht Hydroakustik **Untersuchungen zur Fischabwanderung**

Anlage D7.05.01

29.11.2017

Berichtverfasser:

LFV Hydroakustik GmbH

im Rahmen der

Arbeitsgemeinschaft Bosch & Partner / BNGF

Im Auftrag von

Kraftwerk Reckingen AG



RKR2020 – Umweltplanung Modul 2

Fachbericht Hydroakustik Anlage D7.05.01

Projektleitung:	Dr. Kurt Seifert M. Sc. Matthias Abele
Bearbeitung:	Manuel Langkau Marc Zeyer Dr. Marc Schmidt

Inhaltsverzeichnis

Seite

1.	Anlass und Aufgabenstellung.....	1
2.	Material und Methoden	2
2.1	Hydroakustik - Allgemeines	2
2.2	Verwendete Hardware-Komponenten	2
2.2.1	EK15-Echolot	2
2.2.2	DIDSON-Sonar	3
2.3	Datenerfassung (Setups).....	5
2.4	Datenauswertung (Post-processing)	6
2.4.1	EK15-Langzeitdaten.....	6
2.4.2	DIDSON-Daten	8
3.	Ergebnisse und Diskussion	10
3.1	EK15 Langzeitdaten	10
3.1.1	Fischpräsenz – Kontaktzahlen Gesamtzeitraum (saisonal)	10
3.1.2	Fischpräsenz – Monatliche Aktivitätsdiagramme	11
3.1.3	Vergleich der Aufnahmen in unterschiedlichen Tiefen	20
3.1.4	dB-Größenklassen	20
3.2	DIDSON-Daten	22
3.2.1	Längenhäufigkeitsverteilung in den Verhaltenskategorien	22
3.2.2	Verhaltenskategorien in Abhängigkeit zur Fischgröße	23
4.	Zusammenfassung	26
5.	Literatur	28
6.	Index Beispielvideos.....	29

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abb. 1: Wissenschaftliches EK15 Single-beam Echolot bei der Montage im Oberwasser des Kraftwerks Reckingen mit Echolot und technischer Peripherie im Schaltschrank (links) und Schallgeber zur Unterwassermontage (rechts).	3
Abb. 2: Dual-Frequency Identification Sonar (DIDSON) bei der Montage im Oberwasser des Kraftwerks Reckingen mit Echolot und technischer Peripherie in wettergeschützter Klimakiste (links) und Sonarkörper auf Schienensystem mit Schwenk und Neigekopf zur Unterwassermontage (rechts).....	4
Abb. 3: Schematische Darstellung der Schallkegelgeometrien a) DIDSON - Multibeam b) EK15 - Single-Beam	4
Abb. 4: Montage der Halterungen für das EK15-Echolot und DIDSON-Sonar (links) und ungefähre Orientierung der Schallkegel in der Wassersäule (links und rechts, schematisch, nicht maßstabsgerecht), dabei entspricht gelb dem EK15- und blau dem DIDSON-Schallkegel.	6
Abb. 5: Schematische Darstellung der Datenaufbereitung und – auswertung der EK15-Daten (Software Sonar 5 Pro) Die Abbildung zeigt ein Amplitudenechogramm mit mehreren Fischkontakten. Die blaue Linie zeigt einen manuell erfassten Fisch Track. Die Tabelle rechts unten zeigt in der Software erfasste Fischkontakte mit verschiedenen Exportparametern.	7
Abb. 6: Schematische Darstellung der Datenaufbereitung und -auswertung der DIDSON-Daten mit der Postprocessing Software Sonar 5 Professional mit Echogramm auf Rohdaten-Basis (oben Mitte) und korrespondierendem Video (oben rechts).	9
Abb. 7: Fischpräsenz: EK15 - Kontaktzahlen (von jedem dritten Tag) dargestellt über den gesamten Monitoringzeitraum. Die Flächenkurven zeigen den Maschinendurchfluss von M1 und M2 im Tagesmittel.	10
Abb. 8: Aktivitätsdiagramm mit registrierten Fischkontakten und Maschinendaten des KW Reckingen im September 2015. Schematischer Temperaturverlauf ohne Referenzachse. Die grauen Bereiche stellen die Dunkelphase dar (UTC Zeit – Unterschied zur MEZ = UTC+1 (Normal) bzw. UTC +2 für die Sommerzeit).	13
Abb. 9: Aktivitätsdiagramm mit registrierten Fischkontakten und Maschinendaten des KW Reckingen im Oktober 2015. Schematischer Temperaturverlauf ohne Referenzachse. Die grauen Bereiche stellen die Dunkelphase dar (UTC Zeit). (25.10.2015 keine Daten vorhanden).	14
Abb. 10: Aktivitätsdiagramm mit registrierten Fischkontakten und Maschinendaten des KW Reckingen im November 2015. Schematischer Temperaturverlauf ohne Referenzachse. Die grauen Bereiche stellen die Dunkelphase dar (UTC Zeit).	15
Abb. 11: Aktivitätsdiagramm mit registrierten Fischkontakten und Maschinendaten des KW Reckingen im Dezember 2015. Schematischer Temperaturverlauf ohne Referenzachse. Die grauen Bereiche stellen die Dunkelphase dar (UTC Zeit).	16
Abb. 12: Aktivitätsdiagramm mit registrierten Fischkontakten und Maschinendaten des KW Reckingen im Januar 2016. Schematischer Temperaturverlauf ohne Referenzachse. Die grauen Bereiche stellen die Dunkelphase dar (UTC Zeit).	17
Abb. 13: Aktivitätsdiagramm mit registrierten Fischkontakten und Maschinendaten des KW Reckingen im Februar 2016. Schematischer Temperaturverlauf ohne Referenzachse. Die grauen Bereiche stellen die Dunkelphase dar (UTC Zeit).	18
Abb. 14: Aktivitätsdiagramm mit registrierten Fischkontakten und Maschinendaten des KW Reckingen im März 2016. Schematischer Temperaturverlauf ohne Referenzachse. Die grauen Bereiche stellen die Dunkelphase dar (UTC Zeit).	19
Abb. 15: dB-Klassenhäufigkeit pro Monat über den gesamten Monitoringzeitraum (anzahlbasiert). Die mittleren Dezibel-Werte (Mean TSc [dB]) eines Fischtracks geben ein relatives Maß für die Fischgröße in Abhängigkeit der gemessenen Intensität.	21
Abb. 16: dB-Klassenhäufigkeit Februar (a) und März (b). Die mittleren Dezibel-Werte (Mean TSc [dB]) eines Fischtracks geben ein relatives Maß für die Fischgröße in Abhängigkeit der gemessenen Intensität.	21

Abb. 17: Längenhäufigkeitsverteilung in den einzelnen Kategorien.....	23
Abb. 18: Häufigkeit der beobachteten Kategorien in Abhängigkeit zur Fischgröße. a) Für Fische <30 cm b) Für Fische >30 cm.....	24
Abb. 19: Exemplarische Prädationsereignisse auf Basis eines Screenshot (a) und eines Echogramms (b) Die roten Pfeile markieren die Raubfische, die grünen Pfeile markieren die Beutefische.....	25

1. Anlass und Aufgabenstellung

Im Rahmen der Neukonzessionierung des Kraftwerks Reckingen (RKR2020) wurden im unmittelbaren Oberwasser des Kraftwerkrechens hydroakustische Untersuchungen mit zwei unterschiedlichen Sonarsystemen durchgeführt. Ziel der Installation war die Dokumentation und Beschreibung des IST-Zustandes bezüglich der saisonalen und diurnalen (tageszeitlichen) Präsenz von Fischen vor dem Rechen sowie die Erfassung zusätzlicher Informationen zu Fischlängen und Fischverhalten. Ein SIMRAD EK15-Echolot wurde hier als Langzeit-Monitoringinstrument zur Überwachung der Fischaktivitäten im Zeitraum von September 2015 bis April 2016 eingesetzt. Die Verhaltensbeobachtungen und Längenmessungen wurden mit einem DIDSON Imagingsonar durchgeführt. Das Gerät wurde im Zeitraum von Februar bis April 2016 eingesetzt. Die gewonnenen Erkenntnisse können ggf. zur Optimierung von Fischschutzmaßnahmen bzw. des Betriebs von potentiellen Fischabstiegsanlagen oder -korridoren herangezogen werden oder Hinweise auf potentielle Risiken für Fische vor der WKA liefern.

2. Material und Methoden

2.1 Hydroakustik - Allgemeines

Der Einsatz von Echoloten und Sonaren (Hydroakustik) zur Untersuchung angewandter und wissenschaftlicher Fragestellungen gewinnt in der Binnenfischerei immer mehr an Bedeutung (Schmidt 2008). Für einige Bereiche stellen (nicht-invasive) hydroakustische Methoden häufig die einzige Möglichkeit zur zielgerichteten Beantwortung offener Fragen dar.

In Abhängigkeit von der Fragestellung kommen verschiedene technische Gerätschaften zum Einsatz. Split-Beam-Echolote im mobilen Einsatz vom Boot aus ermöglichen u. a. die Erfassung von räumlichen und zeitlichen Fischverteilungen (Schmidt et al. 2004a und b) und in Kombination mit herkömmlichen Fischereimethoden die Quantifizierung von Fischbeständen hinsichtlich Abundanz und Biomasse (Schmidt et al. 2005). Darüber hinaus sind auch die Untersuchung von Gewässerstrukturen und die stationäre Anwendung (z. B. Fischzählungen) wichtige Einsatzgebiete.

2.2 Verwendete Hardware-Komponenten

Bei der hier durchgeführten Untersuchung kamen ein Simrad EK15 Single-Beam-Sonar und ein DIDSON Imaging Sonar zum Einsatz. Zuerst wurde das EK15 zur Langzeitdetektion und -erfassung von Fischaktivität (saisonal / diurnal) vor dem Kraftwerksrechen installiert. Das Gerät eignet sich, um die Präsenz von Einzelfischen oder Fischaggregationen zu dokumentieren, sowie eine auf akustischer Signalstärke basierende „Fisch-Größenverteilung“ zu generieren (Mean TS-Wert).

Aufgrund der sich stark verändernden akustischen Bedingungen vor dem Rechen (bedingt durch veränderte Abflussbedingungen z.B. nach Regen und dem Wechsel im Turbinen- und Wehrbetrieb) musste eine Reichweite (Sonar-Range) gefunden werden, in der die Bedingungen eine Auswertung hinsichtlich der Erfassung von Fischkontakten über den Gesamtzeitraum ermöglichten. So war es möglich, die Fischkontakte in einer Entfernung von bis zu 20 m sicher zu erfassen.

Das DIDSON wurde eingesetzt, um mit Hilfe der videoähnlichen Sequenzen zusätzliche Informationen zur Fischgröße und zum Fischverhalten vor dem Rechen zu sammeln. Die Untersuchungen sollten dabei helfen, den „Ist-Zustand“ im unmittelbaren Oberwasser zu erfassen und zu beschreiben.

2.2.1 EK15-Echolot

Im Oberwasser des KW Reckingen wurde ein wissenschaftliches Simrad EK15 Single-Beam-Echolot mit einer Frequenz von 200 KHz eingesetzt (Abb. 1). Je nach Anwendung haben die Schallgeber („Schwinger“) unterschiedliche Abstrahlwinkel. Für den horizontalen Einsatz am Standort wurde ein zirkulärer Schwinger mit einem Öffnungswinkel von 9° verwendet (Abb. 1 und Abb. 3). Im Gegensatz zu Split-Beam-Echoloten bieten Single-Beam-Echolote keine dreidimensionale Fischerfassung. Es ist daher nicht möglich zu unterscheiden, ob ein schwaches Signal von einem kleinen Fisch im Zentrum des Schallkegels stammt oder von einem größeren, der sich am äußeren Rand des Schallkegels befindet. Daher gibt es für Single-Beam Daten keine Kompensation durch Signalnachverstärkung in den Randbereichen des Schallkegels.



Abb. 1: Wissenschaftliches EK15 Single-beam Echolot bei der Montage im Oberwasser des Kraftwerks Reckingen mit Echolot und technischer Peripherie im Schaltschrank (links) und Schallgeber zur Unterwassermontage (rechts).

Die Datenerfassung im Feld erfolgte mit der im System inbegriffenen Akquise-Software. Für die Datenauswertung stehen grundsätzlich zwei unterschiedliche Softwarepakete von Drittanbietern zur Verfügung: Sonar 5 Professional (Lindem Data Acquisition, Norwegen) und Echoview (Myriax, Australien).

2.2.2 DIDSON-Sonar

Das Dual-Frequency IDentification SONar (DIDSON, Abb. 2) wurde ursprünglich für die Observation technischer Gerätschaften und Bauteile sowie für militärische Zwecke entwickelt. Die Möglichkeiten zur Bearbeitung angewandter fischereibiologischer Fragestellungen sind frühzeitig erkannt worden, sodass die Technik in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung in der Anwendung nicht-invasiver fischereilicher Methoden gewonnen hat. Das DIDSON arbeitet nach dem Prinzip der akustischen Linsen je nach Ausführung im Frequenzbereich von 0.7 bis 1.8 MHz. Der Schallkegel setzt sich frequenzabhängig aus 48-96 einzelnen Schallkegeln zusammen (Multi-beam-Sonar) und der Abstrahlwinkel beträgt etwa 14° (vertikal) und 29° (horizontal).

Bedingt durch die vertikale Anordnung der einzelnen Schallkegel ist die räumliche Erfassung von Objekten durch die Entfernung vom Sonar (Range) sowie durch den Winkel bzw. Abstand zur akustischen Achse definiert (keine dreidimensionale Erfassung von Fischen oder anderen Objekten). In Abhängigkeit von der Anwendung und den definierten Aufnahmeparametern werden durch das Sonar bis zu 10 Bilder pro Sekunde erfasst und so die Aufzeichnung von videogleichen Bildsequenzen ermöglicht. Die Reichweiten zur Datenerfassung sind frequenzabhängig und liegen zwischen maximal 15 – 30 (Standard DIDSON mit 1.1 bzw. 1.8 MHz) und 60 m (Long Range DIDSON mit 0.7 bzw. 1.2 MHz).

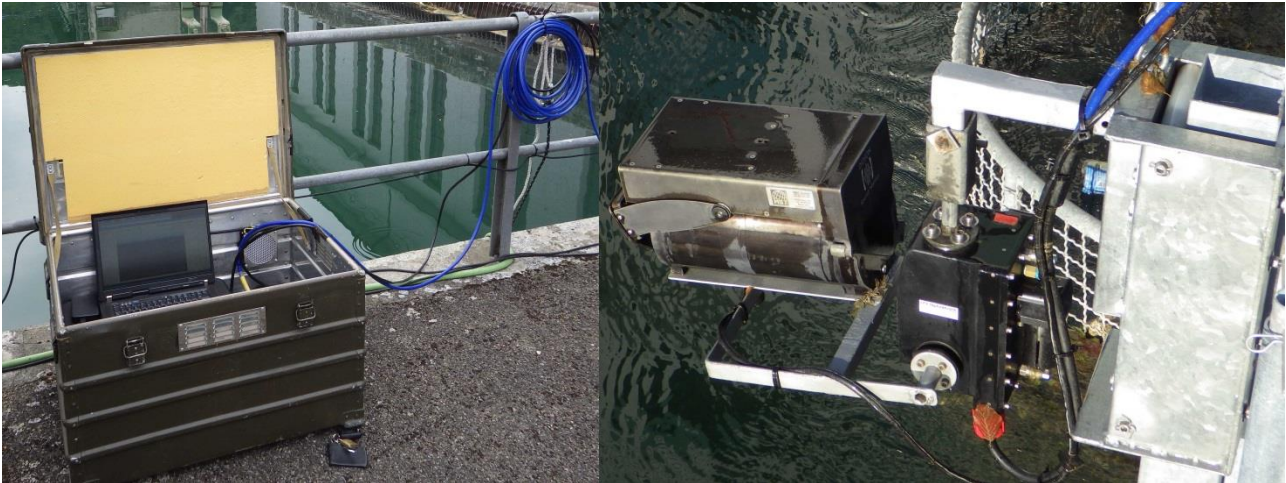


Abb. 2: Dual-Frequency Identification Sonar (DIDSON) bei der Montage im Oberwasser des Kraftwerks Reckingen mit Echolot und technischer Peripherie in wettergeschützter Klimakiste (links) und Sonarkörper auf Schienensystem mit Schwenk und Neigekopf zur Unterwassermontage (rechts).

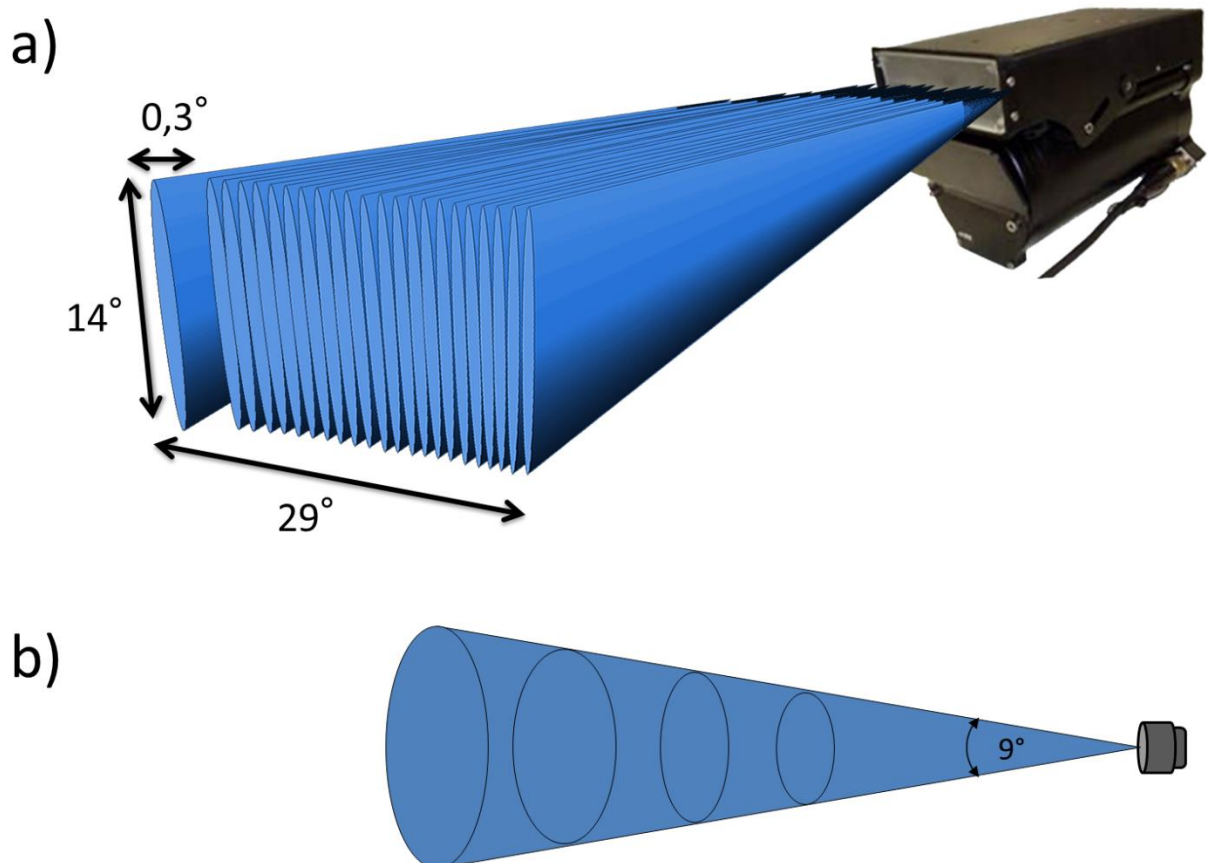


Abb. 3: Schematische Darstellung der Schallkegelgeometrien a) DIDSON - Multibeam b) EK15 - Single-Beam

Das DIDSON-Sonar stellt den Stand der Technik der sog. Visualisierungs-Sonare dar und erzeugt videogleiche Bildsequenzen unabhängig von Lichtverhältnissen und extremer Wassertrübung (Schmidt 2008). Damit ist diese Technik mobil und stationär überall dort einsetzbar, wo optische Sensoren und Kameras aufgrund schwieriger Bedingungen versagen. Die Einsatzmöglichkeiten des DIDSON-Sonars sind sehr vielfältig und ermöglichen u. a. die Erfassung und Untersuchung von Fischwanderungen, Fischverhalten an Wasserkraftanlagen und Bypasssystemen, Wehren und Wanderbarrieren, Fischauf- und -abstiegsanlagen sowie passiven und aktiven Fanggeräten. In den letzten Jahren sind vermehrt wissenschaftliche Arbeiten zum Einsatz des DIDSON veröffentlicht worden, die sich u. a. mit der automatisierten Erfassung von Fischen an aktiven Fanggeräten (Handegard & Williams 2008), der Beobachtung in reich strukturierten Habitaten (Torres & Luo 2008), der computergesteuerten Identifikation von Aalen (Mueller et al. 2008) sowie der Untersuchung und Quantifizierung von Wirbellosen (Han & Uye 2009) beschäftigt haben. Im Vergleich zum EK15 ermöglicht das DIDSON neben dem Vermessen von Individuen auch die Beobachtung von Verhalten. Die hohe Auflösung, bedingt durch die Multibeamtechnologie, erlaubt in Einzelfällen auch die Erkennung von Fischarten. So lassen sich z. B. Aale von anderen Fischen unterscheiden.

2.3 Datenerfassung (Setups)

Die Montage des EK15 Single-Beam-Echolotes im Oberwasser erfolgte am 01.09.2015 auf der rechten Uferseite in Nähe zum Rechen. Es wurde ein Schallgeber mit einem Abstrahlwinkel von 9° montiert. Der Schallkegel wurde horizontal so ausgerichtet, dass er vom rechten Ufer, nahezu senkrecht zur Strömung, am Rechen vorbei bis zum Mitteltrennpfeiler (Wehr) über eine Distanz von 50 Metern Daten erfasst. Eine Auswertung hinsichtlich der Langzeiterfassung von Fischkontakten war aufgrund der wechselnden akustischen Bedingungen auf einer Entfernung bis 20 m möglich. Zur Fernwartung und Kontrolle des Systems wurde ein VPN-Tunnel per LAN-Verbindung etabliert. Die Datenerfassung mit dem EK15 erfolgte in zwei unterschiedlichen Wassertiefen, um möglichst viele Informationen aus unterschiedlichen Tiefen der Wassersäule zu erfassen.

Setup 1 in 5 m Wassertiefe: (Maximale Stangenlänge): 01.09.2015 bis 03.02.2016

Setup 2 in 2 m Wassertiefe: 03.02.2016 bis 06.04.2016

Zeitgleich zu Setup 2 wurde am 03.02.2016 neben dem EK 15 Schallgeber das DIDSON installiert. Es wurde auf einem Führungsschlitten angebracht, der mittels einer Seilwinde an einer Schienenkonstruktion in der Wassersäule positioniert werden konnte (Abb. 4).



Abb. 4: Montage der Halterungen für das EK15-Echolot und DIDSON-Sonar (links) und ungefähre Orientierung der Schallkegel in der Wassersäule (links und rechts, schematisch, nicht maßstabsgerecht), dabei entspricht gelb dem EK15- und blau dem DIDSON-Schallkegel.

Das Sonar wurde auf einem stabilen, mechanisch verstellbaren Schwenk-und-Neigekopf montiert und schräg auf den Bereich vor dem Rechen ausgerichtet, so dass der Rechen am Rande des Schallkegels noch im Erfassungsbereich des Sonars war. Die Datenerfassung erfolgte mit einer Frequenz von 1.8 MHz und einer Reichweite von 10 m in einer Wassertiefe von 3 m. Wie auch das EK15, konnte das DIDSON ebenfalls mittels VPN Verbindung und Fernwartung kontrolliert werden.

2.4 Datenauswertung (Post-processing)

2.4.1 EK15-Langzeitdaten

Die Auswertung aller hydroakustischen Datenreihen der vorliegenden Untersuchung wurden mit der Post-processing Software Sonar5 Professional (Balk & Lindem 2014) durchgeführt. Grundsätzlich erfolgt die Auswertung zunächst durch die Konvertierung der EK15-Rohdaten in ein Echogramm-Format. Abb. 5 zeigt eine schematische Darstellung zur Datenaufbereitung und -analyse.

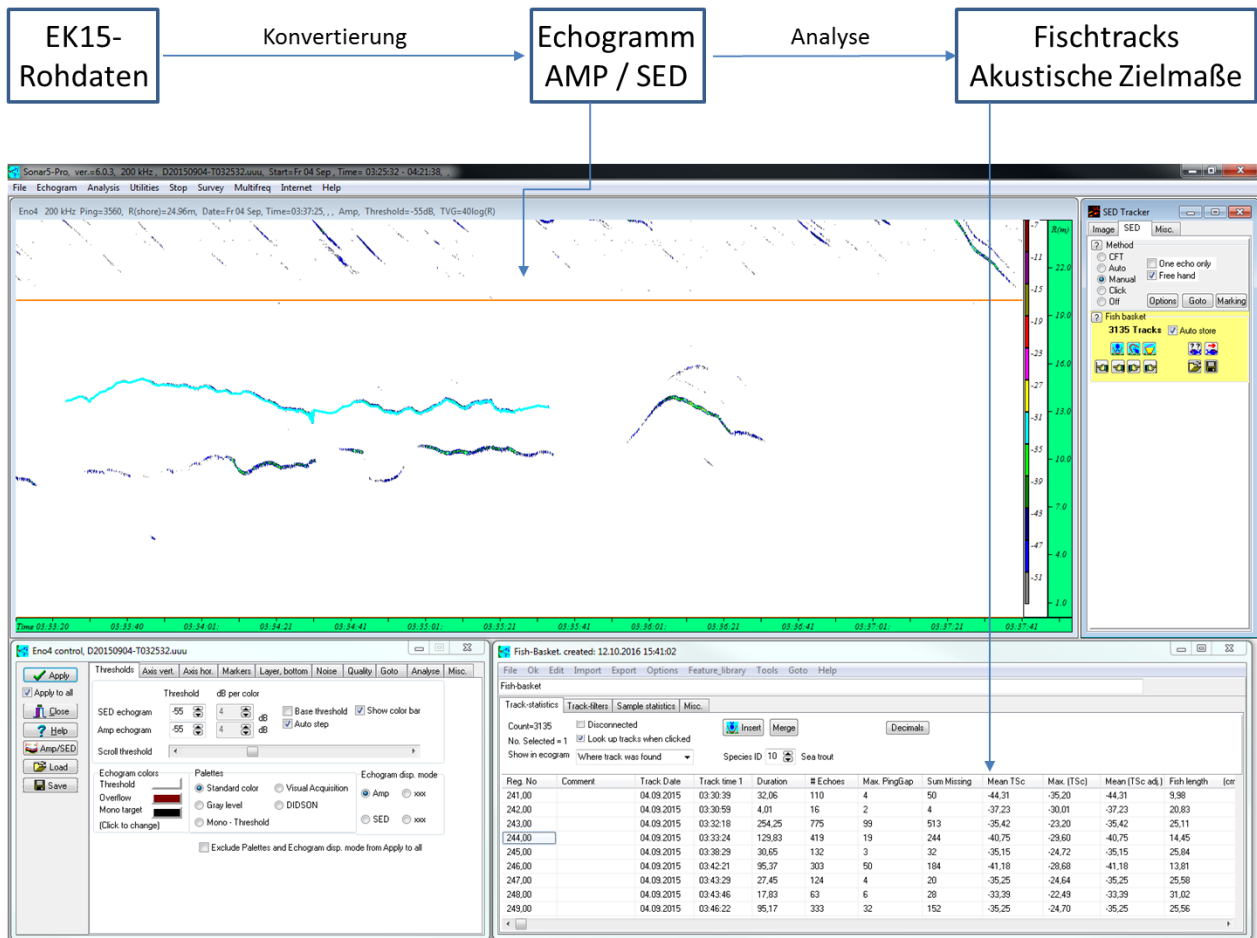


Abb. 5: Schematische Darstellung der Datenaufbereitung und – auswertung der EK15-Daten (Software Sonar 5 Pro) Die Abbildung zeigt ein Amplitudenechogramm mit mehreren Fischkontakten. Die blaue Linie zeigt einen manuell erfassten Fisch Track. Die Tabelle rechts unten zeigt in der Software erfasste Fischkontakte mit verschiedenen Exportparametern.

Die Echogramme ermöglichen eine zeitlich effizientere Lokalisierung von Ereignissen (z. B. Fisch- und Schwarmkontakten), die dann auf der Grundlage verschiedener quantitativer Daten (Rückstreuung, Einzelechos, TS-Werte bzw. Zielmaße) weiter ausgewertet werden können.

Eine automatisierte Analyse war aufgrund der stark wechselnden akustischen Bedingungen nicht möglich. Daher war eine manuelle Sichtung und Erfassung der Fischkontakte notwendig. Jeder dritte Tag des Gesamtzeitraumes vom 01.09.2015 bis 06.04.2016 wurde in voller Länge gesichtet und auf Fischkontakte geprüft. Aufgrund einer Datenlücke beginnend am 23.10.2015 bis zum 27.10.2015 gibt es für den 25.10.2015 keine Auswertung. Eine weitere Datenlücke am 12.12.2015 wurde durch Auswertung des Vortages (11.12.2015) ausgeglichen.

Die Detektion von Fischkontakten erfolgte im ersten Schritt anhand von Amplitudenechogrammen (AMP) bei einem Schwellenwert von -55 dB (Abb. 5). Detektierte Fische wurden dann im nächsten Schritt auf Basis von Single-Echo-Detektion Echogrammen (SED -55 dB) manuell als zusammenhängende Tracks sogenannter Einzelechos in der Software erfasst und gespeichert. Zu jedem dieser Tracks wurden Datum, Zeit sowie verschiedene akustische Zielgrößen gespeichert, die anschließend eine gesamtheitliche Betrachtung des relativen Fischauftommens über den Zeitraum sowie eine auf akustischer Signalstärke basierende Fisch-Größenverteilung zulassen

(Mean TS-Wert). Da die Größenverteilung auf Single-Beam-Daten basiert, ist sie als relatives Maß zu verstehen, da hier, anders als bei Split-Beam_Echoloten mit 3D Information, keine Korrektur der Signalstärke erfolgen kann (Gaincompensation).

Die Anzahl von Fischen kann nicht als absolute Anzahl von Fischen verstanden werden. Als Maß für die Präsenz von Fischen vor dem Rechen steht die Anzahl von Fischkontakten, die auch Kontakte von Fischen beinhaltet, die wiederkehrend in den Schallkegel schwimmen.

2.4.2 DIDSON-Daten

Die DIDSON Rohdaten wurden in der Postprocessing Software Sonar 5 Pro in Echogramme konvertiert. Parallel zu den Echogrammen, die eine zeitlich effizientere Analyse auf Fischkontakte ermöglichen, gibt es eine korrespondierende Sonar-Videosequenz, die eine Beobachtung und Bewertung des Fischverhaltens sowie eine Längenmessung erlaubt (Abb. 6).

Die Daten wurden im gleichen Raster der EK15 Auswertung (jeder dritte Tag) ausgewertet. Die Echogramme wurden auf Fischtracks analysiert. Die so detektierten Fische wurden in der Videosequenz vermessen und auf ihr Verhalten vor dem Rechen bewertet. Jeder erfasste Kontakt wurde mit Zeitstempel gespeichert. Basierend auf den Beobachtungen wurden 4 Verhaltenskategorien festgelegt, in die die Fische eingeteilt wurden:

1. Fisch gelangt nicht hinter den Rechen
2. Fisch gelangt hinter den Rechen
3. Fisch frisst vor dem Rechen
4. Fisch wird vor dem Rechen gefressen

Es wurden nur solche Kontakte erfasst, die sicher als Fisch erkannt werden konnten. Bei sehr kleinen Fischen ca. < 5 cm war es bei laufender Turbine nur dann möglich, diese von kleinen treibenden Partikeln zu unterscheiden, wenn sie sich durch ihre Schwimmbewegungen erkennbar machten. Oft lassen sich Kleinfische jedoch passiv mit der Strömung treiben und sind damit nicht eindeutig als solche zu identifizieren. Der Anteil an Kleinfischen war daher vermutlich größer als der in der Studie erfasste.

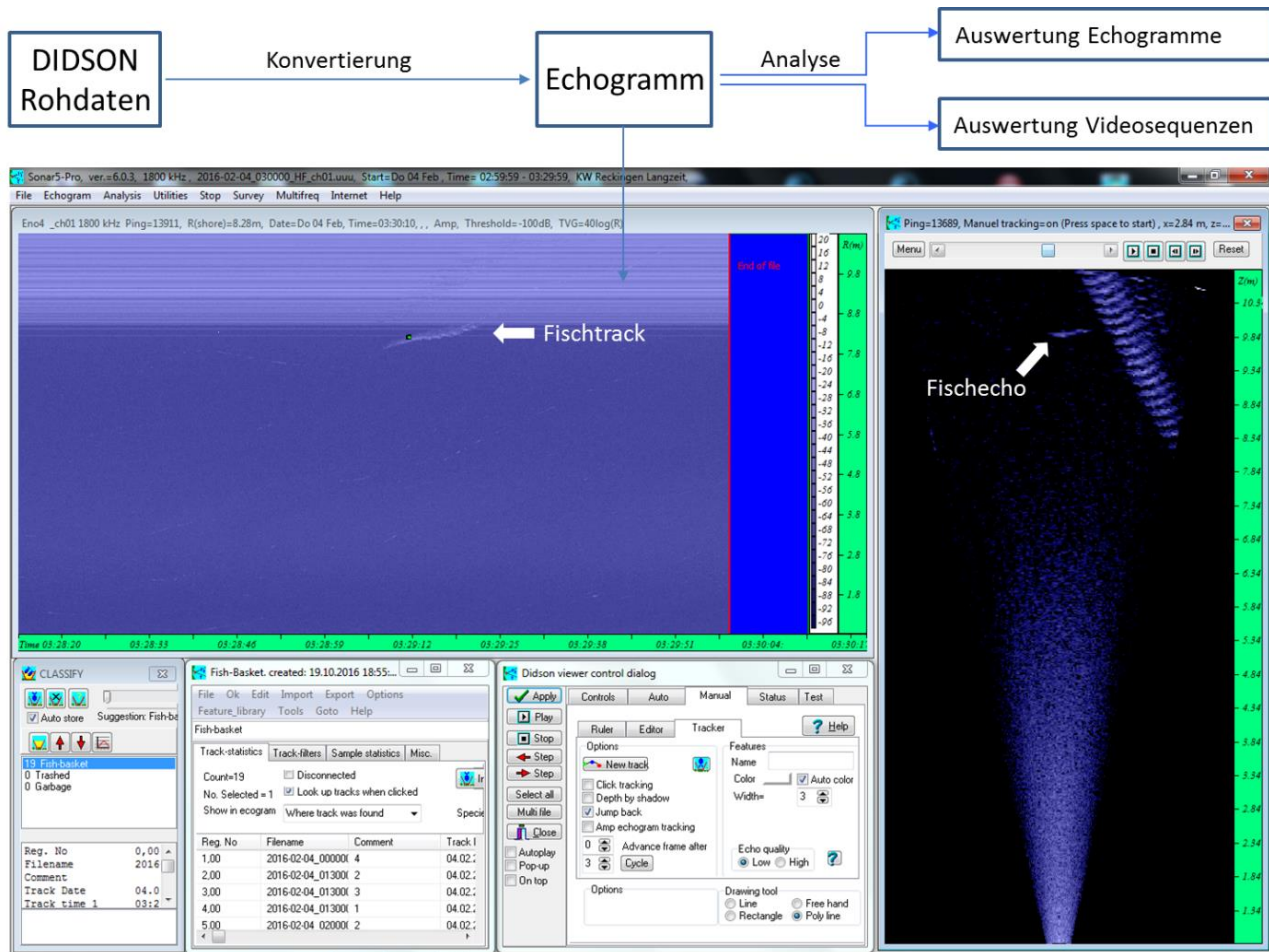


Abb. 6: Schematische Darstellung der Datenaufbereitung und -auswertung der DIDSON-Daten mit der Postprocessing Software Sonar 5 Professional mit Echogramm auf Rohdaten-Basis (oben Mitte) und korrespondierendem Video (oben rechts).

Zur Darstellung der Verhaltenskategorien und sonstigem beobachtetem Fischverhalten wurden beispielhafte Sonarsequenzen als Videos exportiert und gespeichert. Da es nicht auszuschließen war, dass ein erfasster Fisch den Schallkegel verlassen hat und später wieder ins Bild eintrat, wurden Fischkontaktzahlen erhoben, die als Maß für die Fischpräsenz dienen und nicht als absolute Anzahl von Fischen zu verstehen ist. Die Videodatenaufzeichnungen der Sonaruntersuchungen wurden ausgewertet und das Auswertungsergebnis im vorliegenden Fachbericht dargestellt und bewertet.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Darstellung der Ergebnisse beider Untersuchungseinheiten (EK15 und DIDSON) erfolgt aus Gründen der Verständlichkeit gemeinsam mit der fachlichen Einordnung bzw. Diskussion. Dabei werden beide Untersuchungseinheiten separat betrachtet.

3.1 EK15 Langzeitdaten

3.1.1 Fischpräsenz – Kontaktzahlen Gesamtzeitraum (saisonal)

Die Langzeitdatenerfassung mit dem EK15-Echolot im Oberwasser erfolgte vom 01.09.2015 bis 06.04.2016. Der Schwerpunkt dieser Untersuchungseinheit lag bei der Detektion von Fischen und Fischaggregationen.

Die Analyse der EK 15 Sonardaten lieferte einen saisonalen Überblick über die Präsenz von Fischen vor dem Kraftwerksrechen. Insgesamt wurden N=8541 Fischkontakte (basierend auf der Auswertung von jedem dritten Tag) detektiert. Innerhalb des Untersuchungszeitraums wurden in den Herbstmonaten September und Oktober die meisten Fischkontakte registriert. Das maximale monatliche Fischeaufkommen gab es mit n=3672 Kontakten im Oktober (Abb. 7).

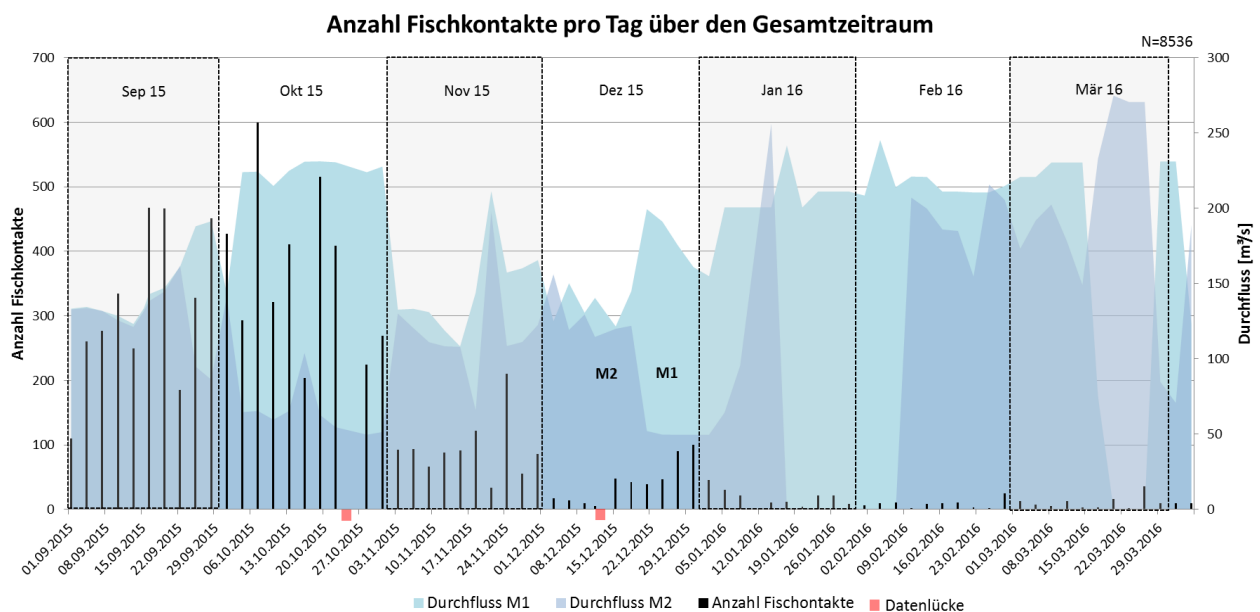


Abb. 7: Fischpräsenz: EK15 - Kontaktzahlen (von jedem dritten Tag) dargestellt über den gesamten Monitoringzeitraum. Die Flächenkurven zeigen den Maschinendurchfluss von M1 und M2 im Tagesmittel.

Die Kontaktzahlen verringerten sich zunehmend mit Ende des Herbstes und nahmen mit Beginn des Winters weiter ab. Die Anzahl der registrierten Fischkontakte bewegte sich über den gesamten Winter bis zum Frühlingsanfang mit Ausnahme eines etwas höheren Fischeaufkommens Mitte Dezember und Anfang Januar auf einem konstant niedrigen Niveau.

Die zu verwertende Untersuchungsreichweite (Range) deckte in erster Linie die rechtsseitige Maschine (M2) auf der deutschen Seite ab. Eine Ableitung von Zusammenhängen der Anzahl der Fischkontakte mit einem Wechsel im Turbinenbetrieb war anhand der hohen Variabilität des Abflusses und der damit einhergehenden inkonstanten Beaufschlagung von M1 und M2 schwierig. Dennoch lässt sich in Abb. 7 erkennen, dass Peaks im Durchfluss von M2 mit einem Abfall der Kontaktzahlen einhergehen. Eine Ausnahme bildet der Peak Anfang Oktober. Umgekehrt sind auch Kontaktzunahmen während Durchflussminima erkennbar. Hier gab es jedoch mehr Ausnahmen. Erhöhte Strömung bedeutet einen höheren Energieverbrauch für Fische. Es ist denkbar, dass der Bereich vor dem Rechen bei stärkerer Strömung daher, sofern physisch möglich, aktiv vermieden wurde und Randbereiche mit geringerer Strömung und Kehrströmungen bevorzugt wurden. Kleine Fische, die in starker Strömung passiv mit abtreiben, können im EK15 Sonar nicht mehr von Treibgut unterschieden werden. Dieser Effekt kann zusätzlich auf die Verringerung der Kontaktzahlen gewirkt haben.

Im Februar und März war der Durchfluss von M2 deutlich höher als im September und Oktober. Es ist denkbar, dass die saisonal geringen Kontaktzahlen von dem Effekt des hohen Durchflusses überlagert wurden. Im Januar blieben die Kontaktzahlen dagegen jedoch während eines starken Peaks mit anschließendem Abfall auf Stillstand von M2 auf einem ähnlich geringen Niveau. Dies deutet darauf hin, dass die geringen Kontaktzahlen saisonal bedingt auf den Winter zurückzuführen waren. Im September und November gab es an den meisten Tagen einen Parallelbetrieb beider Maschinen mit ähnlicher Beaufschlagung. Daher lässt sich anhand der ähnlichen Betriebsweise auch hier eine vermutlich saisonal bedingte Verringerung der Fischkontakte erkennen.

Ein direkter Vergleich von Setup 1 (September bis Januar) mit Setup 2 (Februar bis April) ist angesichts des starken Rückgangs der Kontaktzahlen nicht möglich.

3.1.2 Fischpräsenz – Monatliche Aktivitätsdiagramme

Die Langzeitdaten wurden in sogenannten Aktivitätsdiagrammen aufbereitet, die eine exakte Verteilung der registrierten Fischkontakte über die Tageszeit und den gesamten Monat darstellen (auf Basis jedes dritten Tages, vgl. Abb. 8). Dadurch lassen sich auch tageszeitabhängige Aktivitätsphasen darstellen (Diurnalität). So belegen beispielsweise dicht beieinander liegende Punkte in den grauen Bereichen (Dunkelphase) oder im Übergangsbereich zu den gelben Bereichen (Tagphase) der Diagramme eine besonders hohe Fischaktivität (UTC Zeit). Da das Sonar mit UTC-Zeit arbeitet, wurden die aus den Auswertungen resultierenden Aktivitätsdiagramme mit auf UTC-Zeit basierenden Achsen versehen. Der Unterschied zur MEZ beträgt UTC +1 für die Normalzeit und UTC +2 für die Sommerzeit.

Über den gesamten Zeitraum der Untersuchung, mit Ausnahme des Februars, lässt sich ein diurnaler Aktivitätszyklus der Fische erkennen. Die Diagramme zeigen vor allem in den Monaten September, Oktober und November eine deutlich erhöhte Kontaktrate in den Dunkelphasen (Tag-Nacht-Aktivität). In den folgenden Monaten schwächt sich der Effekt einhergehend mit einer saisonal bedingt sinkenden Kontaktzahl ab.

Das Septemberdiagramm (Abb. 8) zeigt eine deutliche Diurnalität mit erhöhten Fischkontakten während der Nacht. Des Weiteren ist erkennbar, dass die Kontaktzahlen während einer längeren

Phase mit abnehmender Durchflusstendenz (01.09.2015 bis 14.09.2015) vor allem tagsüber stetig steigen. Während der darauf folgenden Phase mit ansteigendem Durchfluss ist eine Abnahme in den Kontaktzahlen zu erkennen.

Im Oktoberdiagramm (Abb. 9) ist ein deutlicher Tag-Nacht-Rhythmus mit erhöhten Kontaktzahlen in der Dunkelphase zu erkennen. Erhöhte Kontaktzahlen tagsüber fallen am 07.10.2015 sowie am 22.10.2015 ins Auge. Beiden Tagen ist gemeinsam, dass kurz zuvor die Durchflussmenge bei der Maschine M2 gedrosselt wurde.

Das Novemberdiagramm (Abb. 10) zeigt einen stark ausgeprägten Tag-Nacht-Rhythmus mit nur sehr wenigen Kontakten tagsüber. Generell sind die Kontaktzahlen im Vergleich zum Vormonat geringer. Vermutlich stehen hier die stetig fallenden Wassertemperaturen in Verbindung mit dem Rückgang der Kontaktzahlen. Am 24.11.2015 fallen erhöhte Kontaktzahlen tagsüber auf. Kurz zuvor wurden die Durchflussmengen sowohl bei der Maschine M2 als auch M1 gedrosselt.

Das Dezemberdiagramm (Abb. 11) zeigt eine insgesamt im Vergleich zum Vormonat weiter reduzierte Anzahl an Kontakten. Der Tag-Nacht-Rhythmus ist, wenn auch in abgeschwächter Form, nach wie vor durch eine erhöhte nächtliche Fischaktivität zu erkennen. Ab dem 18.12.2015 gab es eine Drosselung des Durchflusses von M2. Nach der Drosselung auf eine sich über die Folgetage stabilisierende geringere Durchflussmenge stiegen die Kontaktzahlen insgesamt deutlich an.

Das Januardiagramm (Abb. 12) zeigt eine leicht ausgeprägte Diurnalität mit einer etwas höheren Fischaktivität in der Nacht. Am 11.01.2016 wurden keine Fischkontakte erfasst. Dies kann eventuell auf den sehr starken Durchflusspeak vom 08.01. – 13.01. bei der Maschine M2 zurückgeführt werden.

Das Februardiagramm (Abb. 13) zeigt keine eindeutig erkennbare Diurnalität. Die Kontaktzahlen liegen tagsüber auf einem ähnlichen Niveau wie nachts. Ab dem 04.02.2016 gab es nach Stillstand eine deutliche Beaufschlagung von Maschine M2. Die insgesamt sehr niedrigen Kontaktzahlen lassen keine Interpretation zum Einfluss des Anstiegs zu. (Es ist zu berücksichtigen, dass die Daten im Februar in 2 m Wassertiefe (Setup 2) aufgezeichnet wurden.)

Das Märzdiagramm (Abb. 14) zeigt tendenziell eine wiedereinsetzende schwache Diurnalität. Insgesamt und insbesondere am 26.03.2016 gab es eine geringfügig erhöhte nächtliche Aktivität. Die insgesamt sehr niedrige Anzahl an Kontakten lässt jedoch keine Interpretation der Kontakte bezüglich der Durchflussbedingungen zu. (Es ist zu berücksichtigen, dass die Daten im März in 2 m Wassertiefe (Setup 2) aufgezeichnet wurden.)

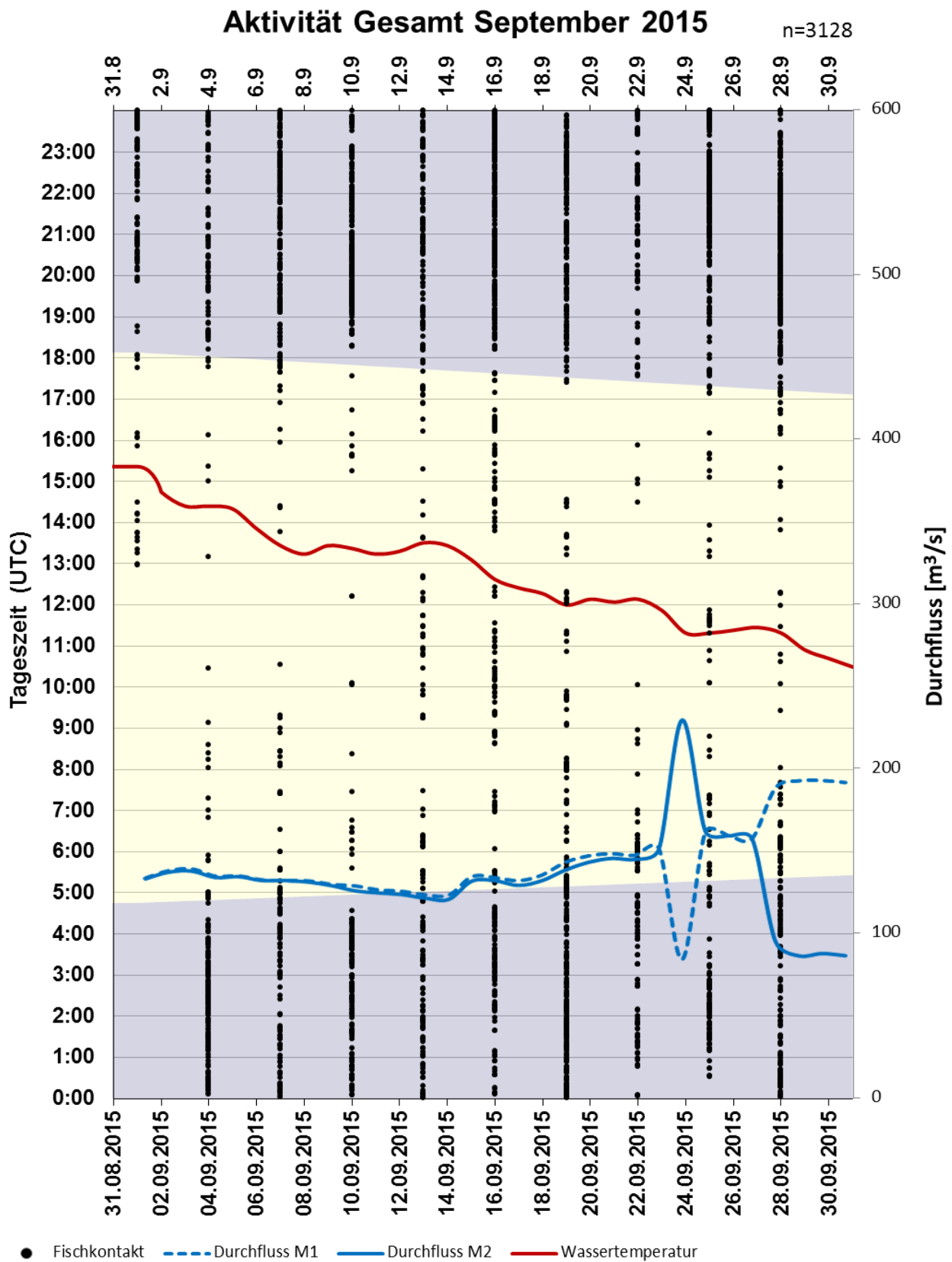


Abb. 8: Aktivitätsdiagramm mit registrierten Fischkontakten und Maschinendaten des KW Reckingen im September 2015. Schematischer Temperaturverlauf ohne Referenzachse. Die grauen Bereiche stellen die Dunkelphase dar (UTC Zeit – Unterschied zur MEZ = UTC+1 (Normal) bzw. UTC +2 für die Sommerzeit).

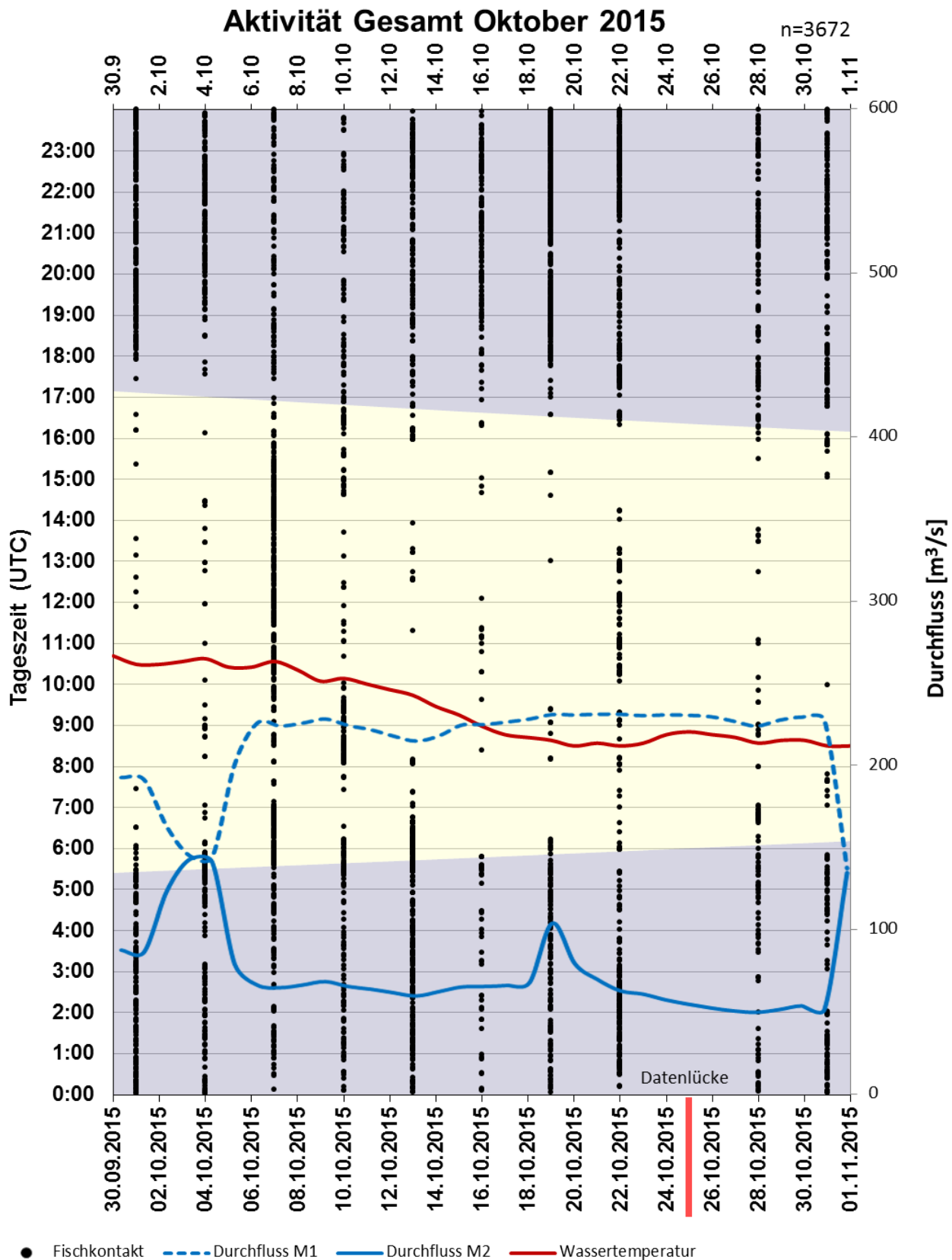


Abb. 9: Aktivitätsdiagramm mit registrierten Fischkontakten und Maschinendaten des KW Reckingen im Oktober 2015. Schematischer Temperaturverlauf ohne Referenzachse. Die grauen Bereiche stellen die Dunkelphase dar (UTC Zeit). (25.10.2015 keine Daten vorhanden).

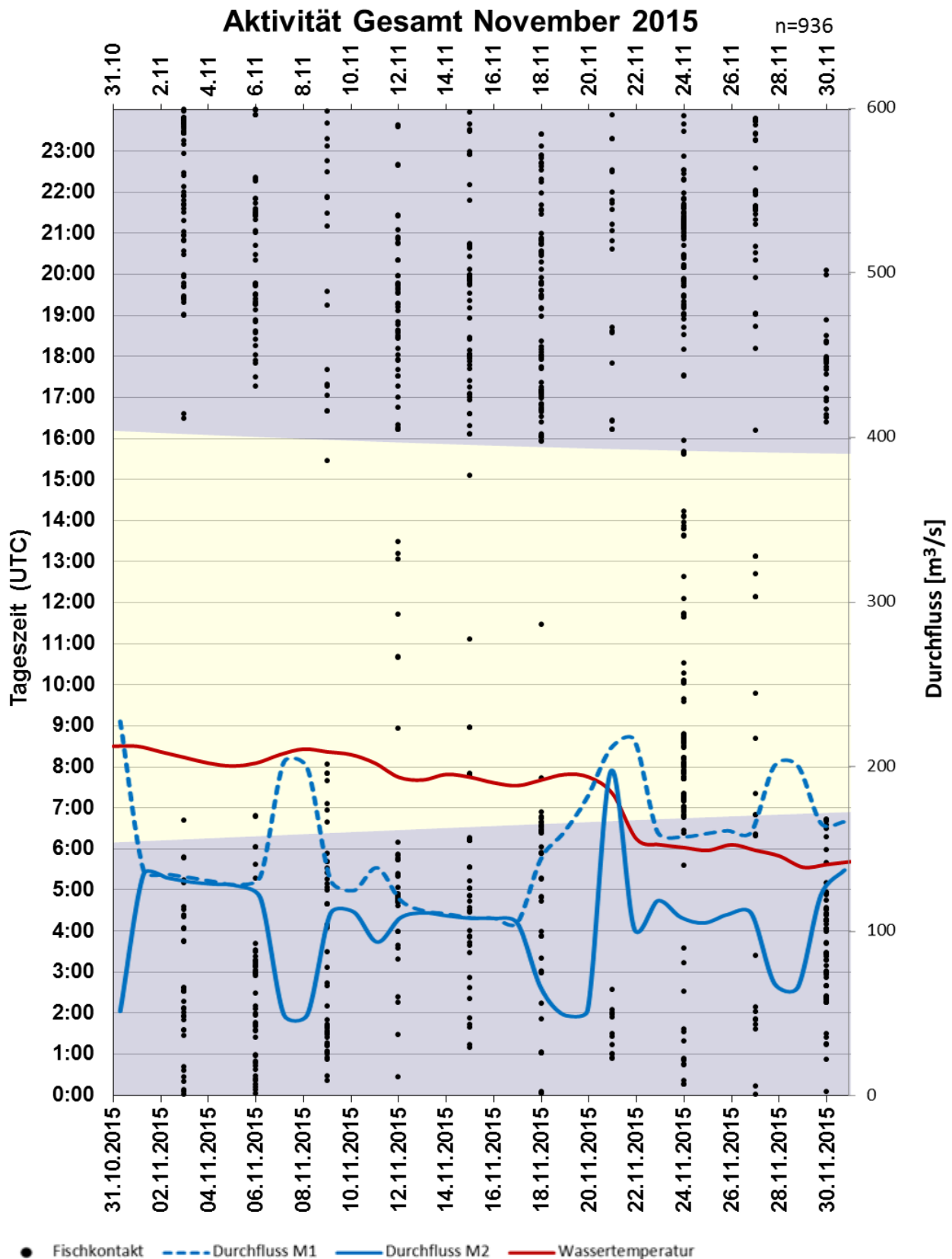


Abb. 10: Aktivitätsdiagramm mit registrierten Fischkontakten und Maschinendaten des KW Reckingen im November 2015. Schematischer Temperaturverlauf ohne Referenzachse. Die grauen Bereiche stellen die Dunkelphase dar (UTC Zeit).

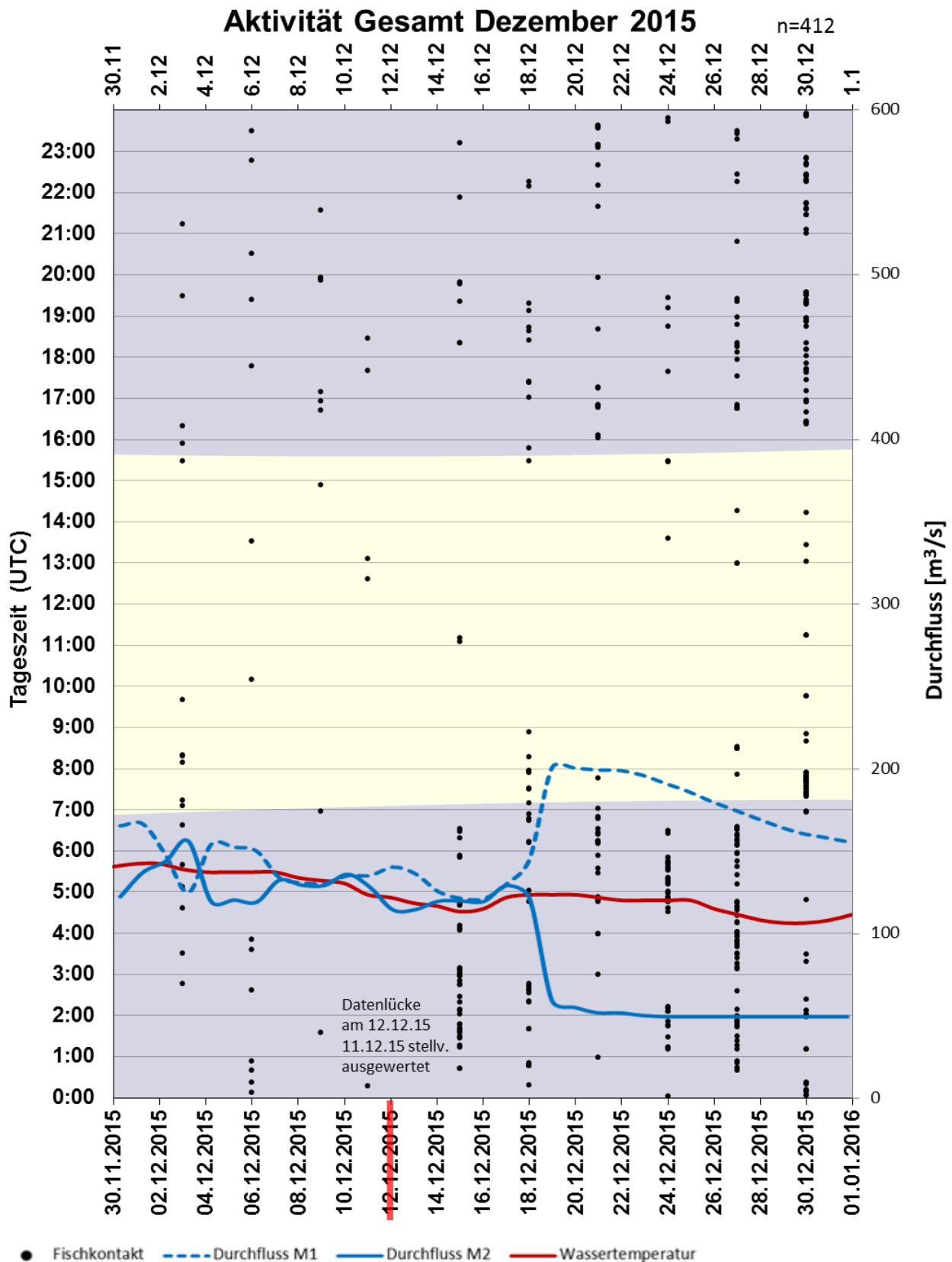


Abb. 11: Aktivitätsdiagramm mit registrierten Fischkontakten und Maschinendaten des KW Reckingen im Dezember 2015. Schematischer Temperaturverlauf ohne Referenzachse. Die grauen Bereiche stellen die Dunkelphase dar (UTC Zeit).

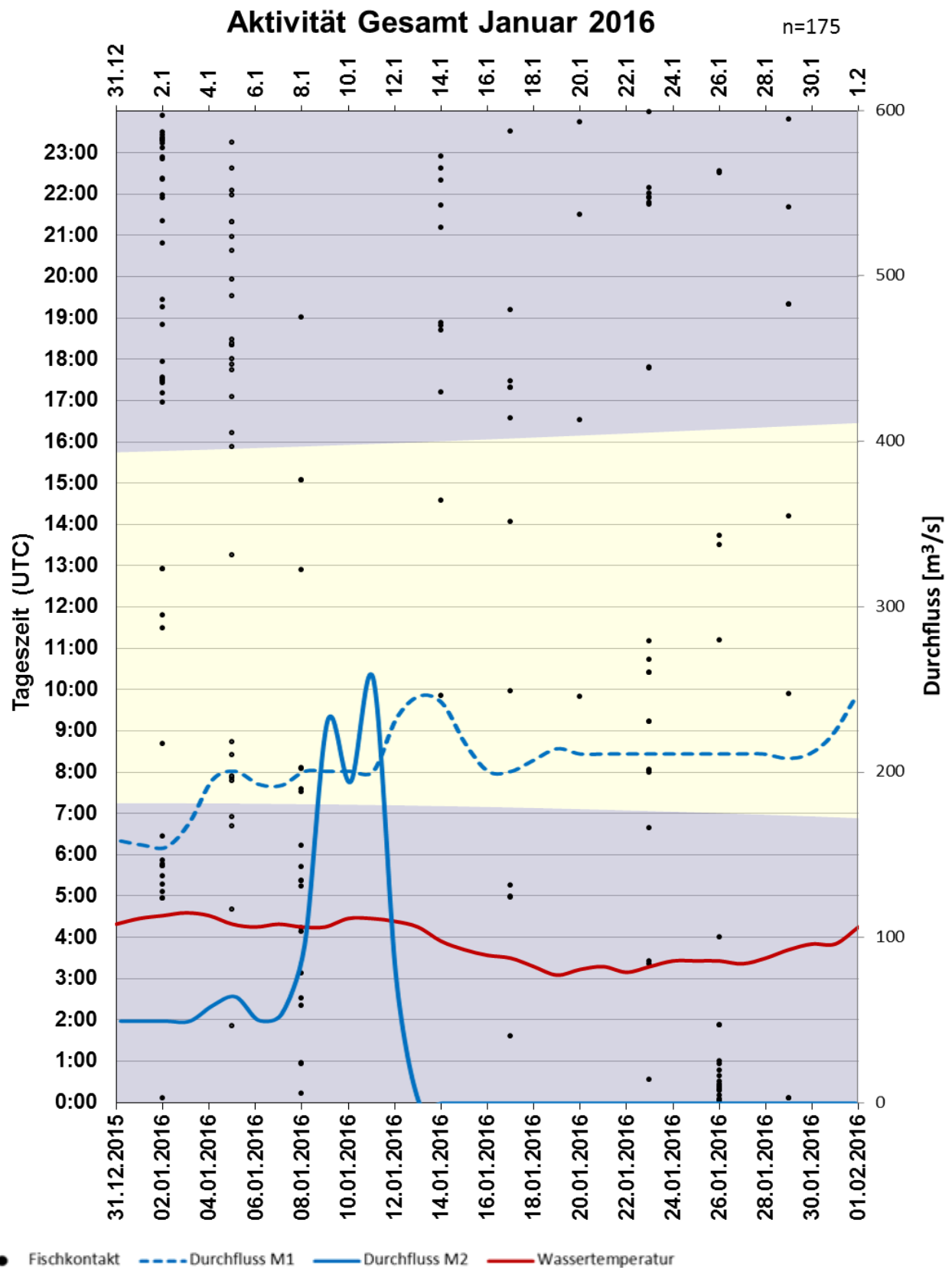


Abb. 12: Aktivitätsdiagramm mit registrierten Fischkontakten und Maschinendaten des KW Reckingen im Januar 2016. Schematischer Temperaturverlauf ohne Referenzachse. Die grauen Bereiche stellen die Dunkelphase dar (UTC Zeit).

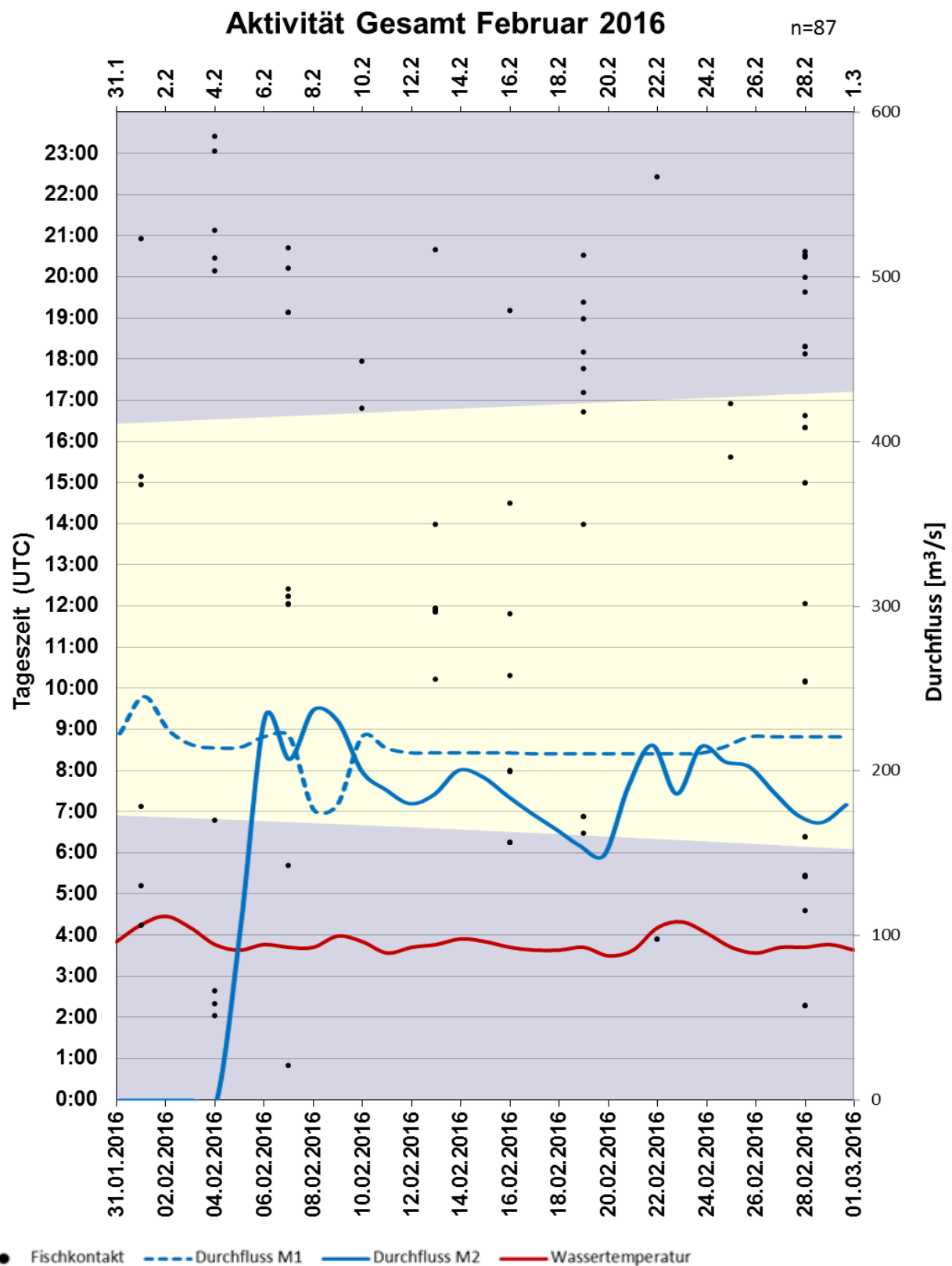


Abb. 13: Aktivitätsdiagramm mit registrierten Fischkontakten und Maschinendaten des KW Reckingen im Februar 2016. Schematischer Temperaturverlauf ohne Referenzachse. Die grauen Bereiche stellen die Dunkelphase dar (UTC Zeit).

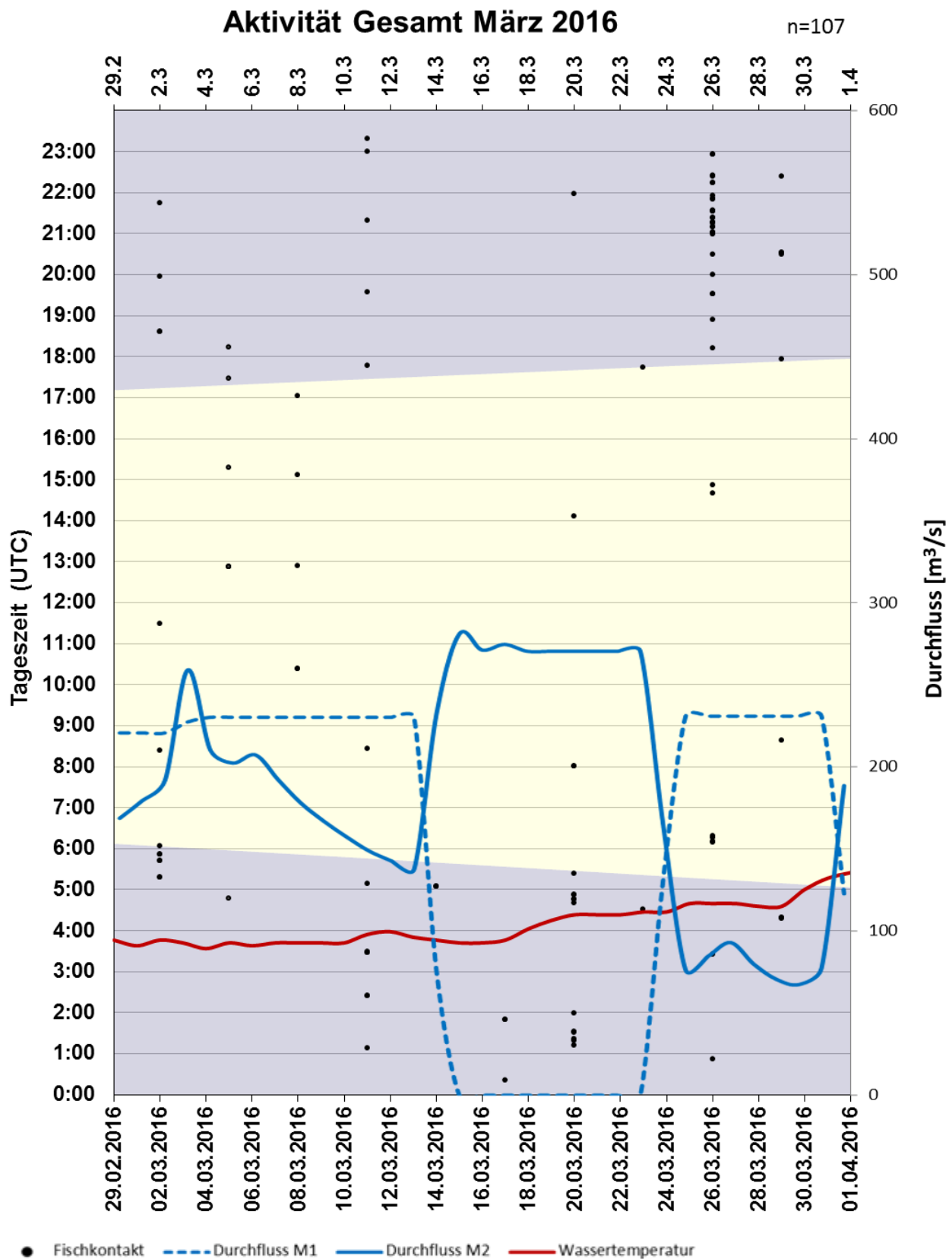


Abb. 14: Aktivitätsdiagramm mit registrierten Fischkontakten und Maschinendaten des KW Reckingen im März 2016. Schematischer Temperaturverlauf ohne Referenzachse. Die grauen Bereiche stellen die Dunkelphase dar (UTC Zeit).

3.1.3 Vergleich der Aufnahmen in unterschiedlichen Tiefen

Ein Vergleich von Setup 1 (September bis Januar – 5 m Tiefe) mit Setup 2 (Februar bis April – 2 m Tiefe) ist angesichts der vielen einflussnehmenden Faktoren (Abiotik, Maschinenbetrieb und akustische Bedingungen) schwierig. Vergleicht man das Aktivitätsmuster der zweiten Januarhälfte (Setup 1) mit dem vorherrschenden Muster aus Setup 2, erkennt man keine Unterschiede. Es waren hier nur schwach ausgeprägte diurnale Aktivitätsmuster zu erkennen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass der Wechsel von Setup 1 (5 m Tiefe) auf Setup 2 (2 m Tiefe) ab Februar 2016 z.B. durch Unterrepräsentierung kleiner Fische einen Effekt auf die fehlende Ausprägung des Tag-Nacht-Rhythmus hatte.

3.1.4 Dezibel (dB)-Größenklassen

Die gemessenen Zielmaße (Mean Tsc [dB]) der Fischtracks lassen aufgrund der Single-Beam Technik keine Umrechnung in exakte Fischlängen zu. Sie dienen jedoch als ein relatives Maß für die Häufigkeitsverteilung der dB- bzw. Größenklassen.

Abb. 15 zeigt die Häufigkeitsverteilung der 5 Größenklassen anzahlbasiert. Diese 5 Größenklassen wurden auf der Spannbreite der vorkommenden dB-Werte gewählt. Die Anzahl der Kontakte verringerte sich vom Herbst bis in die Wintermonate stetig. Der Großteil der Kontakte wurde im September und Oktober registriert, danach machte sich die Winterruhe deutlich bemerkbar. Es zeigt sich, dass die beiden kleinsten Klassen den Großteil der absoluten Kontakte ausmachten. Dies galt vor allem für die Monate September bis Januar. Ab Februar 2016 veränderte sich die Verteilung etwas. Der relative Anteil kleinerer Fische war nicht mehr so hoch und verschob sich anteilig mehr in Richtung der Klassen größerer Fische. Dieser Effekt verstärkte sich im März noch weiter. Abb. 16 zeigt die Häufigkeiten aus Februar und März separat mit anderer Achsenskalierung, um den Effekt zu verdeutlichen.

Die Verteilung der dB-Klassen im April ist nicht dargestellt, da nur zwei Tage des Aprils mit n=19 Fischkontakten erfasst wurden und daher keine repräsentative Aussage zulassen.

Vergleicht man die Häufigkeitsverteilung von Setup 1 (September bis Januar - 5 m Tiefe) mit der von Setup 2 (Februar bis April - 2m Tiefe), fällt der Versatz in der Verteilung genau in diesen Zeitraum. Es ist denkbar, dass es in Setup 2 (oberflächennäher) verhältnismäßig mehr große Fische gab. Durch die Nähe des Schallgebers zur Oberfläche wurden die Aufnahmen jedoch stärker von Oberflächenturbulenzen beeinflusst. Aufgrund der in diesem Setup herrschenden schlechteren akustischen Bedingungen (Signal-to-Noise-Verhältnis) besteht dadurch auch die Möglichkeit, dass die kleinste dB-Klasse schlechter detektierbar und damit unterrepräsentiert war.

Db-Klassenhäufigkeiten - Gesamtzeitraum

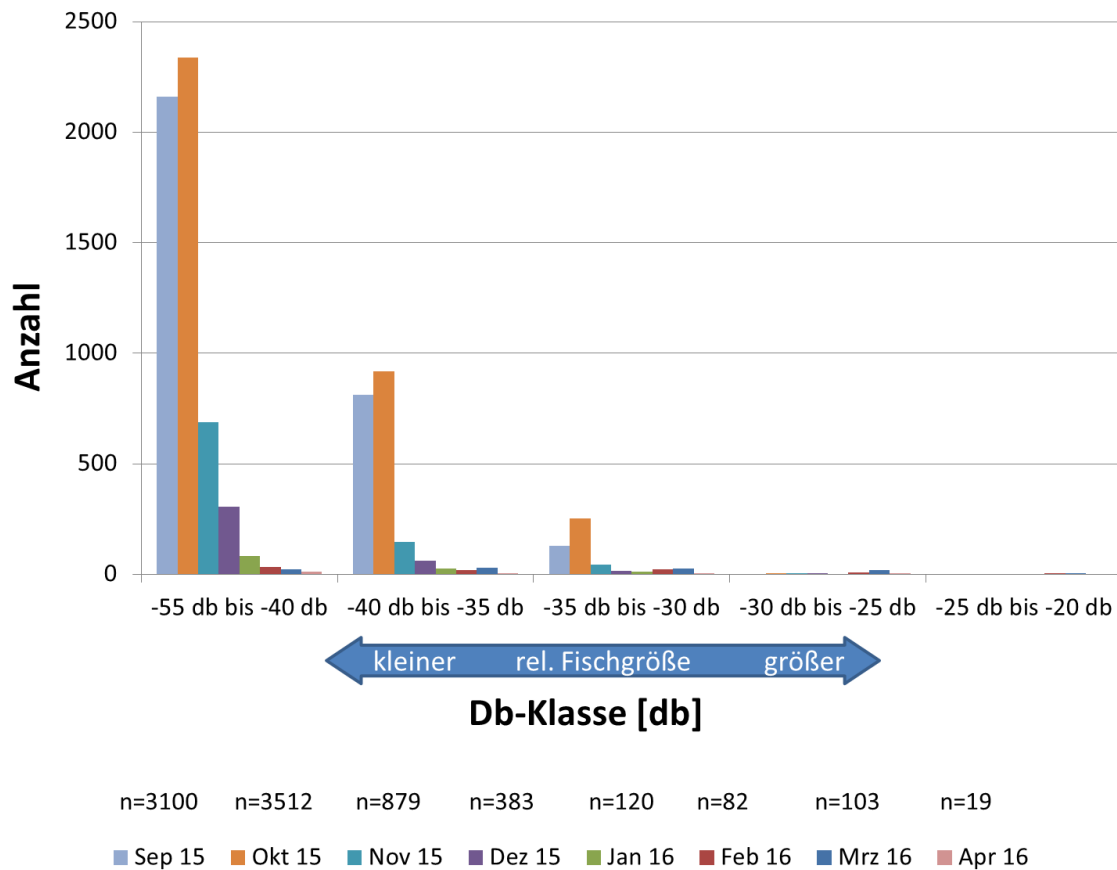


Abb. 15: dB-Klassenhäufigkeit pro Monat über den gesamten Monitoringzeitraum (anzahlbasiert). Die mittleren Dezibel-Werte (Mean TSc [dB]) eines Fischtracks geben ein relatives Maß für die Fischgröße in Abhängigkeit der gemessenen Intensität.

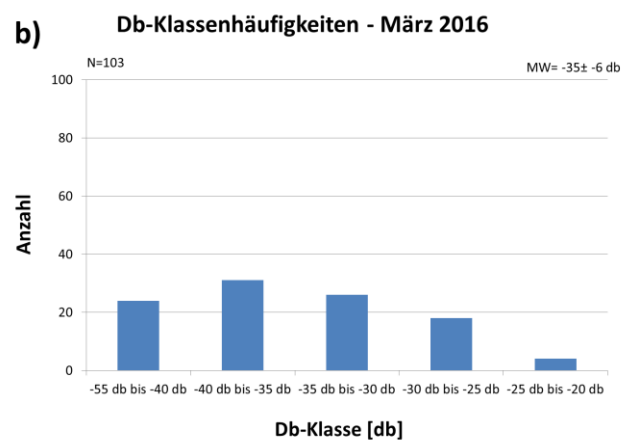
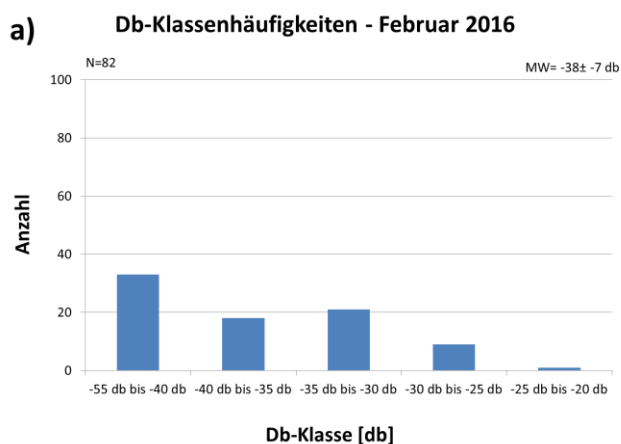


Abb. 16: dB-Klassenhäufigkeit Februar (a) und März (b). Die mittleren Dezibel-Werte (Mean TSc [dB]) eines Fischtracks geben ein relatives Maß für die Fischgröße in Abhängigkeit der gemessenen Intensität.

3.2 DIDSON-Daten

Die Auswertung der DIDSON Sonardaten ermöglichte die Erfassung und Darstellung von Fischlängenhäufigkeiten und Fischverhalten im Oberwasser des KW Reckingen. Dabei gibt es sowohl qualitative als auch quantitative Ergebnisse, die die Verhältnisse vor dem Rechen beschreiben. Die Analyse wurde im gleichen Raster wie bei den EK15 Daten durchgeführt (jeder dritte Tag). Insgesamt wurden 16 Tage aus dem DIDSON-Untersuchungszeitraum analysiert. Es gab zwei Datenlücken bedingt durch technische Defekte (09.03.2016 bis 17.03.2016 und 30.03.2016 bis 04.04.2016). Insgesamt wurden N=603 Fischkontakte erfasst und vermessen.

3.2.1 Längenhäufigkeitsverteilung in den Verhaltenskategorien

Abb. 17 zeigt die Auswertung der Längenvermessungen. Die vier Kategorien wiesen unterschiedliche Längenhäufigkeitsverteilungen auf. Die Kategorie 1 (Fisch gelangt nicht hinter den Rechen) zeigte eine zweigipfelige Verteilung mit Maxima in den Gruppen der Fische >50-60 cm und >0-10 cm. Insgesamt wurden in dieser Kategorie mit n=552 Kontakten die meisten Fische (Abb. 17 a)) detektiert. Die Kontakte in der Klasse > 90 cm stammten von Aalen (vgl. Videos 19-21).

In Kategorie 2 (Fisch gelangt hinter den Rechen) wurden n=8 Kontakte registriert, die sich ausschließlich auf die Größenklassen >0-10 cm und >10-20 cm verteilten (Abb. 17 b)). Das Phänomen war an der Barriere des Rechens schwer zu erkennen.

Abb. 17 c) zeigt die Längenhäufigkeiten der Kategorie 3 (Fisch frisst vor dem Rechen). Es zeigt sich eine eingipfelige Verteilung über die Klassen >40-50 cm, >50-60 cm und >60-70 cm mit einem Maximum der Gruppe >50-60 cm. Insgesamt wurden n=33 Ereignisse registriert. Es wurden keine Fische erfasst, die kleiner als 40 cm waren. Der Sachverhalt spiegelt die Beobachtung der vor dem Rechen stattfindenden Prädation wieder. Es wurden größere Raubfische (vermutlich Salmoniden) beobachtet, die dicht vor dem Rechen stehend auf abtreibende Beute warteten. Die Videos 09, 10, 16, 17 und Abb. 19 dokumentieren dieses Verhalten. Die großen Fische nutzten hier offensichtlich den Rechen als Möglichkeit mit verhältnismäßig geringem Aufwand an ein breites Spektrum von Nahrung zu gelangen. Die Beobachtungen haben gezeigt, dass die Fische gezielt ankommende Fische und Partikel begutachten und nach Fressbarkeit oder Qualität selektieren (vgl. Videos 23 & 24).

Abb. 17 d) zeigt die Größenverteilung der Fische, die vor dem Rechen gefressen wurden (Kategorie 4) und bildet damit das Beutespektrum der Raubfische ab. Hier wurden ähnlich wie in der Kategorie 2 ausschließlich Fische der Klassen >0-10 cm und >10-20 cm registriert. Es wurden n=10 Kontakte erfasst. Prinzipiell handelt es sich bei den Kategorien 3 und 4 eigentlich um Paare aus Prädatoren und Beute. Da allerdings nur eindeutig durch Bewegung identifizierbare Kontakte als Fische gezählt wurden, tauchen 23 verbleibende Fälle hier nicht auf, da die Beute nicht eindeutig von abtreibenden gefressenen Partikeln zu unterscheiden war.

Bewertet man die registrierten Kontakte im Hinblick auf eine Gefährdung, so waren während der Untersuchungsperiode die beiden Klassen der Fische bis 20 cm durch den Rechendurchtritt und die Prädation betroffen. Sie machten insgesamt nur einen kleinen Teil der registrierten Kontakte aus. Es gilt jedoch zu beachten, dass ähnlich der Anzahl gefressener Kontakte die Anzahl kleiner abtreibender, nicht eindeutig als Fisch zu erkennender Objekte real Fischkontakte enthielt, die hier nicht erfasst werden konnten.

Die Schwimmleistung von Fischen ist bei einer gegebenen Fließgeschwindigkeit neben artspezifischen Unterschieden generell abhängig von der Körperlänge (Wolter & Arlinghaus 2003).

So sind kleinere Fische rein physikalisch gegenüber größeren Fischen bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit stärker gefordert und damit schneller benachteiligt. Die Videosequenzen zeigen exemplarisch das vor allem für kleine Fische beobachtete gesteigerte Schwimmverhalten durch erhöhte Tailbeatfrequenzen und so genanntes Kick&Glide Schwimmen. Dieser Schwimmmodus, der sich durch kurzzeitiges Beschleunigen und anschließendes Ausgleiten charakterisiert, wird bei gesteigerter Strömung dazu genutzt, die Ausdauer durch Energiesparen in den Gleitphasen zu verlängern (Weihs 1974). Die Videos 03-06 zeigen solches Schwimmverhalten.

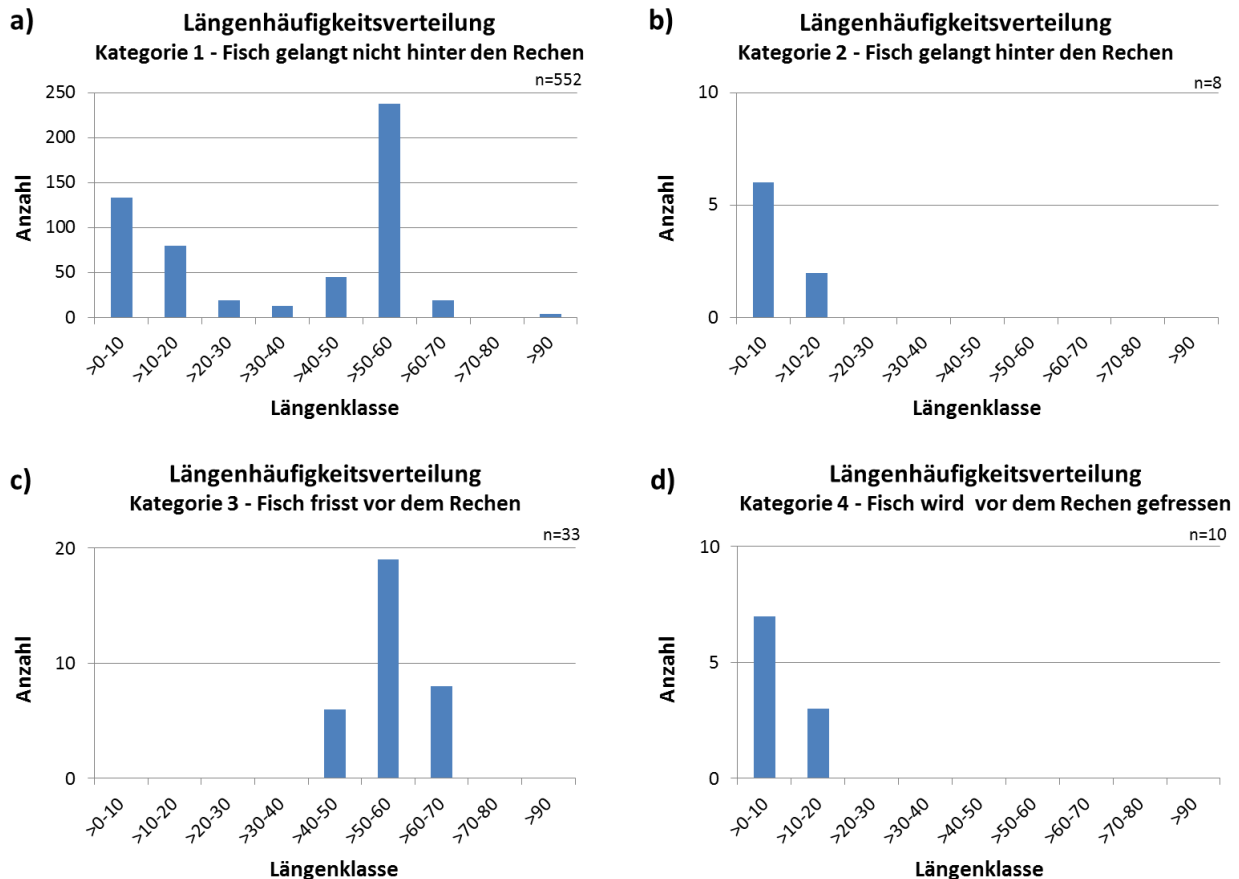


Abb. 17: Längenhäufigkeitsverteilung in den einzelnen Kategorien

3.2.2 Verhaltenskategorien in Abhängigkeit zur Fischgröße

Betrachtet man die Häufigkeit der Kontakte in den 4 Verhaltenskategorien (Abb. 18) ist erkennbar, dass der Großteil der Fische während des Untersuchungszeitraums nicht hinter den Rechen gelangte. In der Größenklasse < 30 cm wurden n=8 Kontakte in Kategorie 2 beobachtet. Für die Fische > 30 cm konnten hier keine Individuen beobachtet werden.

Die Prädation und die damit verbundene Größenabhängigkeit zeigt sich ebenfalls in Abb. 17. Im Diagramm für Kontakte < 30 cm (Abb. 18 a)) tauchen die gefressenen Fische der Kategorie 4 auf. Im Diagramm für Kontakte > 30 cm fehlen sie (Abb. 18 b)). Umgekehrt tauchen die Raubfische in Abb. 18 b) als Kategorie 3 auf und fehlen in Abb. 18 a).

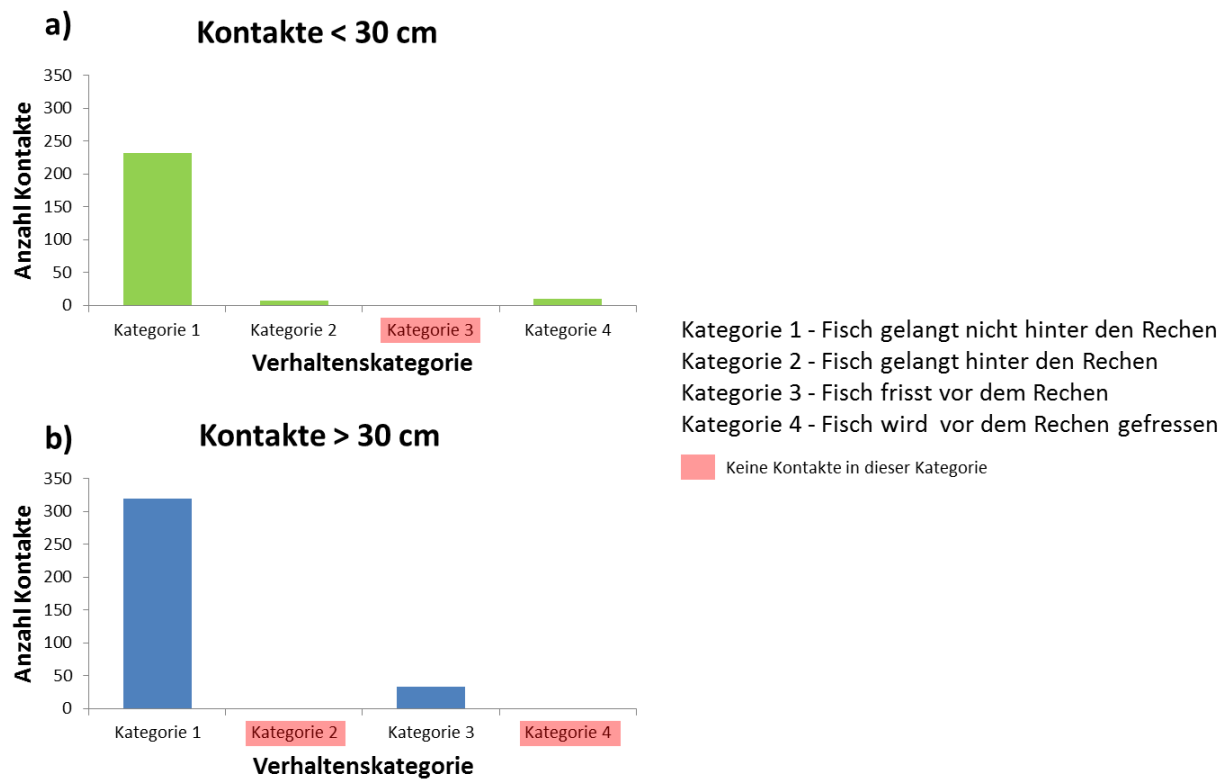


Abb. 18: Häufigkeit der beobachteten Kategorien in Abhängigkeit zur Fischgröße. a) Für Fische <30 cm b) Für Fische >30 cm.

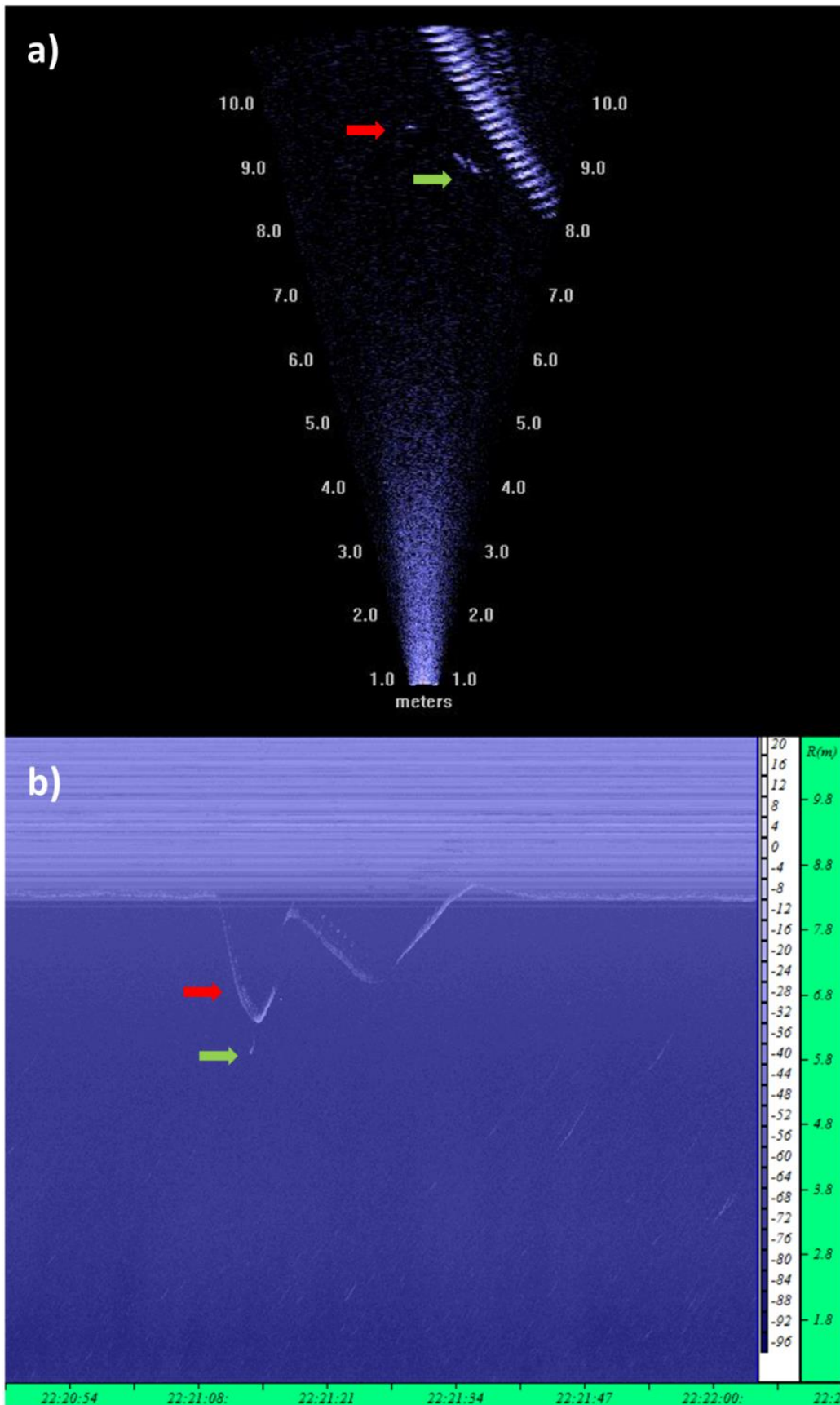


Abb. 19: Exemplarische Prädationsereignisse auf Basis eines Screenshot (a) und eines Echogramms (b)
 Die roten Pfeile markieren die Raubfische, die grünen Pfeile markieren die Beutefische.

4. Zusammenfassung

Die Analyse der EK 15 Sonardaten lieferte einen saisonalen Überblick über die Präsenz von Fischen vor dem Kraftwerksrechen. In den Herbstmonaten September und Oktober 2015 wurden die meisten Fischkontakte registriert mit einem Maximum im Oktober ($n=3672$; Abb. 7). Die Kontaktzahlen verringerten sich zunehmend mit dem Voranschreiten des Winters.

Die Ableitung von Zusammenhängen zwischen Turbinenbetrieb und Fischaktivität war aufgrund der sehr variablen Abflussverhältnisse und einer inkonsistenten Beaufschlagung der beiden Maschinen M1 und M2 schwierig. Zudem deckte die Untersuchungsreichweite in erster Linie die rechtsseitige Maschine M2 auf der deutschen Seite ab. Der Maschinenbetrieb hatte jedoch zu bestimmten Zeiten Auswirkungen auf die Fischpräsenz. So kam es während Durchflussspeaks von M2 mehrheitlich zu einer Abnahme der Kontaktzahlen. Umgekehrt kam es anschließend, während länger anhaltender gedrosselter Phasen der Turbine M2, zu einem Anstieg der Kontaktzahlen im Schallkegelbereich vor dieser Maschine. Ob dieser Effekt auch vor Maschine M1 auftrat, konnte aufgrund der eingeschränkten Erfassungsreichweite des Sonars nicht untersucht werden.

Anhand der Darstellung aller Fischkontakte in Aktivitätsdiagrammen konnten Erkenntnisse über das diurnale Verhalten (Tag-Nacht-Aktivität) der Fische gewonnen werden. Insbesondere wurde ein ausgeprägter Tag-Nacht-Rhythmus mit einer gesteigerten Aktivität / Präsenz in den Dämmerungs- und Dunkelphasen für die Monate September bis November 2015 dokumentiert (Abb. 8 - Abb. 10), der sich mit voranschreiten des Winters abschwächte (Abb. 11 - Abb. 14).

Anhand der gemessenen Zielmaße (Mean Tsc [dB]) der Fischtracks ließen sich Rückschlüsse auf die Häufigkeitsverteilung der Fischkontakte gewinnen. Der Großteil der erfassten Kontakte war vor allem von September 2015 bis Januar 2016 kleineren Fischen zuzuordnen (Abb. 15). Ab Februar 2016 veränderte sich die Verteilung etwas. Der relative Anteil kleinerer Fische war nicht mehr so hoch und verschob sich anteilig mehr in Richtung der Klassen größerer Fische. Dieser Effekt verstärkte sich im März 2016 noch weiter (Abb. 16). Dieses Phänomen fällt in den Wechsel von Setup 1 (5 m Tiefe) zu Setup 2 (2 m Tiefe). Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass der Effekt durch eine schlechtere Detektion kleiner Fische durch verschlechterte akustische Bedingungen in Setup 2 nahe der Oberfläche verursacht wurde.

Die Auswertung der DIDSON-Daten lieferte neben einer Fischlängenhäufigkeitsverteilung zusätzliche Erkenntnisse zum Fischverhalten vor dem Rechen.

Der Großteil der beobachteten Fischkontakte hielt sich vor der Barriere auf, ohne hinter den Rechen zu gelangen ($n=552$). Fische, die während der Untersuchung hinter den Rechen gelangten, stammten aus den kleinen Größenklassen $>0-10$ cm und $>10-20$ cm (Abb. 17 a) und b)). Die eindeutige Detektion von kleinen Fischen hing jedoch von ihrer Eigenbewegung ab. Daher konnten passiv abtreibende kleine Fische nicht vollumfänglich erfasst werden.

Eine während der Untersuchung erfasste Verhaltensweise war die Prädation (Beutefangverhalten) vor dem Rechen. So konnten große Raubfische beobachtet werden, die sich teilweise über Stunden vor dem Rechen aufhielten, um dort auf abtreibende Kleinfische zu warten (Abb. 19 und Videos 09, 10, 16, 17). Die Raubfische gehörten

vorwiegend der Größenklasse >50-60 cm an, während ihre Beute aus den Klassen >0-10 cm und >10-20 cm stammte (Abb. 17 c) und d)).

Die längenbasierten Auswertungen zeigen, dass kleinere Fische (bis 20 cm) während der Untersuchung einem höheren Gefährdungspotential ausgesetzt waren als große Fische (Abb. 17 a) und b) und Abb. 18). Kleine Fische sind bedingt durch ihr vergleichsweise geringeres Schwimmvermögen (Wolter & Arlinghaus 2003) vor der Anlage generell einem höheren Risiko eines Rechendurchtritts ausgesetzt. Obwohl der Großteil der Fische vor dem Rechen beobachtet wurde, konnten unterschiedliche Schwimmverhalten in Abhängigkeit zur Fischgröße (qualitativ) dokumentiert werden, die durch eine gesteigerte Schwimmleistung charakterisiert waren (Videos 03-06). Kleine Fische konnten sich häufig nur durch gesteigerte Tailbeatfrequenzen und Kick& Glide Schwimmen vor der Anlage halten.

In Abhängigkeit ihrer Motivation und dem Status des Lebenszyklus stellt das KW für adulte Wanderfische aber auch potamodrome Arten zu bestimmten Zeiten ein Hindernis da. Abwanderwillige adulte Aale z.B. gelangen während ihrer flussabwärtig gerichteten Migration zwangsläufig vor und durch den Rechen. Die Videos 19-21 zeigen exemplarisch Aale mit unterschiedlichem Verhalten vor dem Rechen.

Im Hinblick auf Maßnahmen und Möglichkeiten zum Fischschutz wird auf Anlage D7.13 - Fischschutz und Fischabstieg verwiesen.

5. Literatur

BALK H. ET AL. (2014): Sonar4 and Sonar5 post processing systems, Operator manual version 6.0.3 Lindem Data Acquisition, Oslo, 464 S.

FRIAS-TORRES, S. & LUO, J. (2008): Using dual-frequency sonar to detect juvenile goliath grouper *Epinephelus itajara* in mangrove habitat. *Endangered Species Research*, doi: 10.3354/esr00138.

HAN, C.-H. & UYE, S.-I. (2009): Quantification of the abundance and distribution of the common jellyfish *Aurelia aurita* s.l. with a Dual-frequency Identification Sonar (DIDSON). *Journal of Plankton Research* 31, 805-814.

HANDEGARD, N. O. & WILLIAMS, K. (2008): Automated tracking of fish in trawls using the DIDSON (Dual-frequency Identification Sonar). *ICES Journal of Marine Science* 65, 636-644.

LEHMANN, B. & ADAM B. (2016) – Empfehlungen zur Bypassgestaltung für den Fischabstieg bei Wasserkraftanlagen. Skript SVK-Fischereitagung 2016

MUELLER, A.M., MULLIGAN, T. & WITHLER, P.K. (2008): Classifying Sonar Images: Can a Computer-Driven Process Identify Eels? *North American Journal of Fisheries Management* 28, 1876-1886.

SCHMIDT, M., KÜHLMANN, M., GASSNER, H. & MEYER, E.I. (2004a) Hydroakustische Untersuchungen zum Fischbestand in der Hennetalsperre. Landesfischereiverband Westfalen und Lippe. Band III. 48 S.

SCHMIDT, M., GASSNER, H., KÜHLMANN, M., MATTES, H. & MEYER, E.I. (2004b) Hydroakustische Untersuchungen zum Fischbestand der Hennetalsperre (Sauerland). *Fischer & Teichwirt* ,1: 487-490.

SCHMIDT M.B., GASSNER H. & MEYER E. I. (2005) Distribution and total biomass of a vendace, *Coregonus albula* L., population in a mesotrophic German reservoir. *Fisheries Management and Ecology*, 12: 169-175

SCHMIDT, M.B. (2008): Echolote und Sonare in der Binnenfischerei – Möglichkeiten und Perspektiven. *VDSF-Schriftenreihe Fischerei und Gewässerschutz* 3, 35-37.

SIMMONDS, E.J. & MACLENNAN, D.N. (2005) *Fisheries acoustics*, 2nd Edition. Blackwell Science, Oxford. 437 S.

WEIHS (1974) Energetic Advantages of Burst Swimming of Fish. *Journal of theoretical Biology*, 48: 215-229

WOLTER C. & ARLINGHAUS, R. (2003) Navigation impacts on freshwater fish assemblages: the ecological relevance of swimming performance. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 13: 63–89.

6. Index Beispielvideos

Beispielvideos

- Video_01 - Kleiner Fisch der Kategorie 1
- Video_02 - Kleiner Fisch der Kategorie 1
- Video_03 - Kleiner Fisch der Kategorie 1 (Kick & Glide Schwimmmodus)
- Video_04 - Kleiner Fisch der Kategorie 1 (Flucht / Kick & Glide Schwimmmodus)
- Video_05 - Kleiner Fisch der Kategorie 1 (Flucht / Kick & Glide Schwimmmodus)
- Video_06 - Kleiner Fisch der Kategorie 1 (Kick & Glide Schwimmmodus)
- Video_07 - Fisch der Kategorie 1 (gesteigerte Schwimmbewegung und Rechenkontakt)
- Video_08 - Kleiner Fisch der Kategorie 2 (durchtritt den Rechen)
- Video_09 - Kleiner Fisch der Kategorie 4 (wird vor dem Rechen gefressen)
(weiterer kleiner Fisch nähert sich dem Rechen)
- Video_10 - Kleiner Fisch der Kategorie 4 (wird vor dem Rechen gefressen)
- Video_11 - Großer Fisch der Kategorie 1
- Video_12 - Großer Fisch der Kategorie 1
- Video_13 - Großer Fisch der Kategorie 1
- Video_14 - Zwei große Fische der Kategorie 1
- Video_15 - Größerer Fisch der Kategorie 1
- Video_16 - Großer Fisch der Kategorie 3
- Video_17 - Großer Fisch der Kategorie 3
- Video_18 - Schwarm von Kleinfischen dicht gedrängt am Rechen bei ausgeschalteter Turbine M2
- Video_19 - Großer Aal entfernt sich vom Rechen
- Video_20 - Großer Aal schwimmt dicht am Rechen und bekommt Rechenkontakt
- Video_21 - Großer Aal schwimmt mit der Strömung abwärts und verschwindet am Rechen
- Video_22 - Großer Fisch (Prädator) wird vom Rechenreiniger vertrieben
- Video_23 - Großer Fisch (Prädator) selektiert Beute und verschmäht Beutefisch
- Video_24 - Fisch selektiert und ignoriert antreibenden Partikel / Kleinfisch.