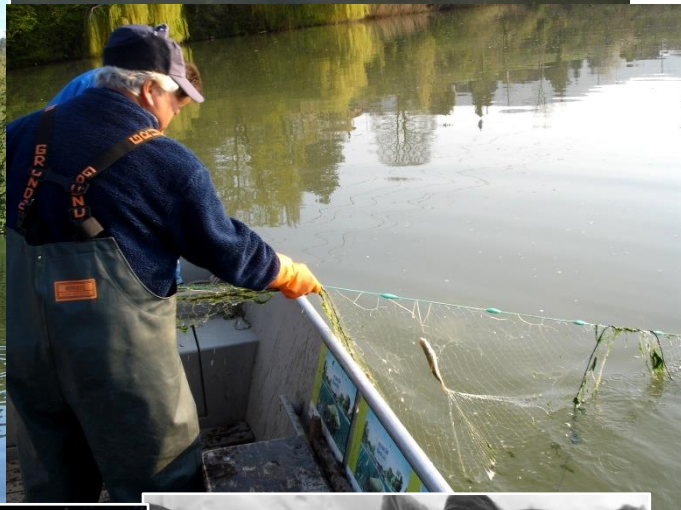


# Biologie der Rotaugen in der Limmat, Stau Wettingen



## Schlussbericht, Juli 2014

- Auftraggeber:
- Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, Jagd & Fischerei
  - Elektrizitätswerk der Stadt Zürich, Kraftwerk Wettingen
  - Pachtvereinigung Stausee Wettingen

**Aquatica GmbH**

Büro für Gewässerökologie  
und Wassertechnik

J. und K. Guthruf-Seiler    Tel.: 031 781 49 40  
Hängertstrasse 13 g    aquatica@sunrise.ch  
3114 Wichtrach

**FISCHWERK**

**WERNER DÖNNI**

FISCHBIOLOGIE • GEWÄSSERÖKOLOGIE • GEOINFORMATIK

NEUSTADTSTRASSE 7, 6003 LUZERN

T 041 210 20 15

INFO@FISCHWERK.CH

WWW.FISCHWERK.CH



## Impressum

- Autoren:** Joachim Guthruf, Aquatica GmbH  
Werner Dönni, Fischwerk  
Katrin Guthruf-Seiler, Aquatica GmbH
- Fachliche Begleitung:** Dr. Thomas Stucki, Sektion Jagd und Fischerei Kanton Aargau  
Dr. David Bittner, Sektion Jagd und Fischerei Kanton Aargau
- Auftraggeber:** Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau,  
Sektion Jagd und Fischerei
- Elektrizitätswerk der Stadt Zürich, ewz, Kraftwerk Wettingen
- Pachtvereinigung Stausee Wettingen
- Zitiervorschlag:** GUTHRUF et al. (2014): Biologie der Rotaugen in der Limmat, Stau Wettingen. – Bericht Aquatica, Fischwerk, Auftrag: Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau, Jagd & Fischerei, Elektrizitätswerk der Stadt Zürich, ewz, Kraftwerk Wettingen Pachtvereinigung Stausee Wettingen: 75 S.

- Titelbild: - oben: juveniles Rotauge aus dem Stau Wettingen, Foto J. Guthruf  
- Mitte links: Fangboot des Kantons St. Gallen, Foto J. Guthruf  
- Mitte rechts: Netzfänge durch Berufsfischer H. Weber, Foto J. Guthruf  
- unten: Wirbellose Gewässerorganismen (Fischnährtiere), Fotos K. Guthruf-Seiler  
- unten links: Wassergeistchen (*Hydropsyche* sp.)  
- unten Mitte: Gelbhaft (*Potamanthus luteus*)  
- unten rechts: Kolonie der Wandermuschel (*Dreissena polymorpha*)

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>4</b>
<b>1. Einleitung.....</b>	<b>6</b>
1.1. Problemstellung .....	6
1.2. Pflichtenheft .....	6
1.3. Erläuterung der einzelnen Schritte .....	6
<b>2. Das Untersuchungsgebiet.....</b>	<b>8</b>
<b>3. Die Biologie des Rotauges.....</b>	<b>9</b>
3.1. Verbreitung .....	9
3.2. Fortpflanzung .....	9
3.3. Eizahl und Embryonalentwicklung .....	10
3.4. Habitatwahl und Nahrung.....	10
3.5. Alter, Wachstum, Kondition und Geschlechterverhältnis .....	10
<b>4. Material und Methodik .....</b>	<b>12</b>
4.1. Uferkartierung .....	12
4.2. Herleitung der Laichzeit und des Schlupftermins.....	12
4.3. Kartierung der Laichplätze und Larven .....	12
4.3.1. Untersuchungen im Jahr 2011 .....	12
4.3.2. Untersuchungen im Jahr 2012 .....	13
4.4. Probenahme Rotaugen, Jungfische und ausgewachsene Tiere .....	14
4.5. Biometrie, Verletzungen, Parasitenbefall.....	15
4.6. Nahrungsanalysen .....	15
4.7. Altersbestimmung, Längenrückberechnung .....	16
<b>5. Resultate.....</b>	<b>17</b>
5.1. Zeitliche Entwicklung der Rotaugenfänge.....	17
5.1.1. Limmat.....	17
5.1.2. Zürichsee.....	19
5.1.3. Andere Flüsse der Schweiz .....	20
5.1.4. Fazit Rotaugenfänge.....	21
5.2. Einfluss fischfressender Vögel .....	22
5.3. Einfluss des Fischbesatzes im Stau Wettingen .....	22
5.4. Altersaufbau der heutigen Rotaugenpopulation.....	23
5.5. Wachstum .....	25
5.6. Laichreife .....	26
5.7. Kondition.....	27
5.8. Gonadosomatischer Index.....	27
5.9. Uferbeschaffenheit .....	28
5.10. Fortpflanzung .....	29
5.10.1. Bestimmung der Laichzeit.....	29
5.10.2. Laichplätze .....	31
5.11. Larven und erste Juvenilstadien.....	32
5.11.1. Schlupfzeit der Larven .....	32
5.11.2. Interpretation der Ergebnisse.....	34
5.12. Anteil der Rotaugen am Jungfischbestand, räumliche Verteilung .....	35

5.12.1. Vergleich der Uferbefischungen mit den Anglerfängen (Fangstatistik) .....	35
5.12.2. Artenzusammensetzung und Fangzahlen mit den eingesetzten Fanggeräten..	36
5.12.3. Räumliche Verteilung der Fischarten bei den Uferbefischungen .....	37
5.12.4. Zugehörigkeit der Fische zu den Strömungsgilden (Uferbefischung) .....	38
5.12.5. Zeitliche Veränderung der Artenzusammensetzung (Uferbefischung).....	38
5.13. Vorkommen adulter Rotaugen und ihre Habitate.....	40
5.13.1. Rotaugen im Netzfang .....	40
5.13.2. Artenzusammensetzung .....	43
5.13.3. Strömungsgilden.....	43
5.13.4. Gefährdung.....	44
5.14. Prädation.....	45
5.15. Nahrungszusammensetzung.....	47
5.15.1. Gewichtsanteile der Nahrungskategorien.....	47
5.15.2. Anteil der Mägen mit einer bestimmten Nahrung (“frequency of occurrence“)..	49
5.16. Vorhandenes Nahrungsangebot (Wasserwirbellose).....	50
5.16.1. Artenzusammensetzung .....	50
5.16.2. Neozoen .....	51
5.16.3. Anzahl anspruchsvollere Arten (EPT-Arten).....	51
5.16.4. Dichte .....	52
5.17. Befall mit Parasiten .....	54
<b>6. Diskussion.....</b>	<b>55</b>
6.1. Kondition .....	55
6.2. Wachstum .....	55
6.3. Geschlechtsreife .....	55
6.4. Verbreitung und Lebensraum .....	56
6.5. Laichhabitate.....	56
6.6. Juvenilhabitate im Sommer und im ersten Winter.....	57
6.6.1. Nahrungshabitate im Sommer .....	57
6.6.2. Winterhabitate.....	58
6.7. Spezielle Lebensbedingungen in Flusstauen.....	58
6.8. Ernährung .....	59
6.8.1. Die Wandermuschel als Nahrungsquelle .....	59
6.9. Fortpflanzungserfolg und Kohortenstärke.....	60
6.10. Einfluss der Eutrophierung .....	61
<b>7. Fazit und Empfehlungen für die Bewirtschaftung.....</b>	<b>63</b>
<b>8. Dank .....</b>	<b>65</b>
<b>9. Literaturverzeichnis.....</b>	<b>66</b>
<b>10. Anhang.....</b>	<b>71</b>
10.1.1. Fangentwicklung in verschiedenen Seen der Schweiz.....	71
10.1.2. Uferbeschaffenheit.....	74

## 1. Einleitung

### 1.1. Problemstellung

Die Rotaugenfänge im Stau Wettingen sind in den letzten 30 Jahren deutlich zurückgegangen. Um diesem Trend entgegenzuwirken, hat die Pachtvereinigung Stausee Wettingen 1996 – 2009 Besatz mit Rotaugen unterschiedlichen Alters durchgeführt. Die Sektion Jagd und Fischerei des Kantons Aargau vertritt den Standpunkt, dass kein weiterer Besatz vorzunehmen ist, bevor die möglichen Ursachen für den Rückgang der Fänge und der Einfluss des Besatzes auf die Rotaugenpopulation geklärt sind. Die Pachtvereinigung Stausee Wettingen, die ebenfalls sehr interessiert an der Klärung dieser Frage ist, war bereit, sich personell und finanziell an einer ökologischen Studie zu beteiligen. Dasselbe gilt für die Betreiberin des Kraftwerks Wettingen (EWZ).

### 1.2. Pflichtenheft

Im Rahmen der vom Kanton Aargau geforderten fischökologischen Studie sollten folgende Teilaspekte abgeklärt werden:

- **Fangrückgang, Auswertung der Fangstatistik**
  - Zeitraum des stärksten Fangrückgangs
  - Vom Fangrückgang betroffene Arten
  - Vergleich mit anderen Fließgewässern und Seen der Schweiz
  - Vergleich der Fangentwicklung mit Umweltparametern, Prädatoren, Konkurrenten
- **Einfluss des Rotaugenbesatzes**
  - Ausmass der genetischen Beeinflussung
- **Hinweise auf Jahrgangsstärken bzw. Phasen mit erhöhter Dichteabnahme**
  - Altersaufbau, Fehlen von Altersklassen
  - Ausmass der Naturverlaichung
  - Häufigkeit juveniler Rotaugen
  - Anteil des Rotauges an Artengemeinschaft (Diverse Bestandeskontrollen)
- **Wachstum, Kondition**
  - Auffälligkeiten betr. Wachstum und Kondition
  - Ausmass der Verletzungen durch Prädatoren (Fische, Vögel)
- **Hinweise auf Nahrungsknappheit**
  - Nahrungsanalysen an Rotaugen verschiedenen Alters
  - Benthos-Untersuchungen im Stau

### 1.3. Erläuterung der einzelnen Schritte

Ein wesentlicher Teil der Studie bildet die Auswertung der Fangstatistik der beiden Fischereireviere. Sie stellt die einzige Möglichkeit dar, die zeitliche Entwicklung des Rotaugenrückgangs zu beurteilen und in Relation mit anderen Gewässern der Schweiz und mit anderen zeitlichen Entwicklungen (z. B. Reoligotrophierung, Aufkommen von Prädatoren) zu setzen. Zudem kann die Entwicklung der Fänge anderer Arten (z. B. Brachsmen, Egli) Anhaltspunkte liefern, ob möglicherweise trophische Prozesse verantwortlich sind. Das Studium der Fangstatistiken der Zürcher Reviere kann zudem bei der Beurteilung helfen, ob das Problem spe-

zifisch den Stau Wettingen betrifft oder ein Abbild der Situation in der Limmat generell oder sogar im Gewässersystem Zürichsee-Limmat darstellt.

Sehr wichtig ist auch die Frage nach der Naturverlaichung: Können Rotaugen-Laichplätze lokalisiert werden, und kommen die Rotaugen im Stau Wettingen natürlicherweise auf? Für die Beantwortung dieser Frage waren wir sehr auf die Hilfe der Fischer angewiesen.

An gefangenen Rotaugen sollte überprüft werden, ob das Erbgut der aus Bayern stammenden Besatzfische noch nachweisbar ist. Die entsprechenden genetischen Analysen führte Prof. Salzburger an der Universität Basel durch.

Mit Hilfe verschiedener Erhebungen zum Larven- bzw. Jungfischvorkommen konnte der Rotaugenanteil am Jungfischbestand grob geschätzt werden. Diese Daten lieferten Anhaltspunkte für den Zeitpunkt einer allfälligen Einwanderung oder Abwanderung bzw. eines Verschwindens der 0<sup>+</sup>-Rotaugen. Die gefundenen Jungfischhabitate wurden charakterisiert. Eine Uferkartierung gab Anhaltspunkte zur Verfügbarkeit der entsprechenden Habitate im Stau.

Sonderfänge durch einen Berufsfischer sowie durch ausgewählte Angelfischer gaben Auskunft über die Artenzusammensetzung der älteren Fische, den Altersaufbau der Rotaugen sowie über die Häufigkeit von Verletzungen durch Prädatoren (Vögel, Hechte). Zudem wurde das Angebot an Nährtieren und dessen Nutzung durch 0<sup>+</sup>-Rotaugen untersucht.

## 2. Das Untersuchungsgebiet

Die Limmat entwässert den Zürichsee bei Zürich und mündet bei Untersiggental in die Aare. Auf ihrem Weg dorthin liegen insgesamt 12 Bauten, welche für wandernde Fische ein Hindernis darstellen<sup>1</sup>:

Kanton	Ort	Zentralenname	Typ Aufstieg	Typ Abstieg
AG	Untersiggental	Stropfel	NUG / RG	-
AG	Vogelsang	Gebenstorf	BR	-
AG	Turgi	Turgi	BR	-
AG	Turgi	Schiffmühle	NUG / VSP	OB
AG	Obersiggental	Kappelerhof	VSP	-
AG	Baden	Oederlin	BR	-
AG	Baden	Aue	VSP	OB
AG	Wettingen	Wettingen	RG / BR	OB
ZH	Dietikon	Dietikon	BP	-
ZH	Zürich	Höngg	BP	-
ZH	Zürich	Letten	VSP	-
ZH	Zürich	Schanzengraben	VSP	-

### Tabellenlegende:

#### Fischaufstiegshilfen

- BP = Beckenpass (herkömmlich)
- BR = Blockrampe
- NUG = naturnahes Umgehungsgerinne
- RG = Raugerinne-Beckenpass
- VSP = Vertikalschlitzpass

#### Fischabstiegshilfen

- OB = oberflächennaher Bypass

Der Stau Wettingen wird am oberen Ende durch das Kraftwerk Dietikon und am unteren Ende durch das Kraftwerk Wettingen begrenzt. Das Untersuchungsgebiet liegt zwischen dem Wehr Wettingen und der Brücke bei Oetwil (Abb. 1). Der grösste Teil des Staus liegt im Kanton Aargau. Auf den obersten 1.2 km des Untersuchungsgebiets bildet die Limmat die Grenze zwischen den Kantonen Aargau am linken und Zürich am rechten Ufer.

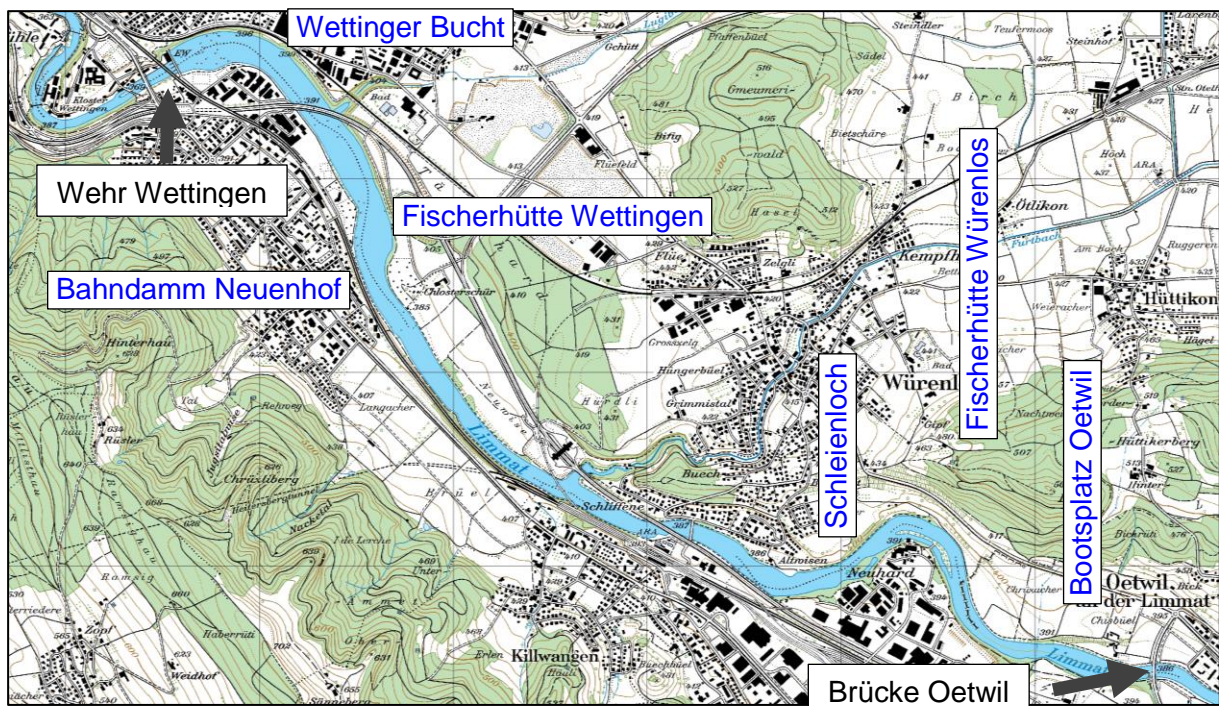


Abb. 1 Übersicht über das Untersuchungsgebiet Stau Wettingen von der Stauwurzel bei Oetwil bis zum Wehr bei Wettingen und Neuenhof mit den Lokalnamen.

<sup>1</sup> Sämtliche Anlagen verfügen über Fischaufstiegshilfen. Der Fischabstieg ist nur teilweise möglich.



### 3. Die Biologie des Rotauges

#### 3.1. Verbreitung

Das ursprüngliche Verbreitungsgebiet des zur Familie der Karpfenfische (*Cyprinidae*) gehörenden Rotauges, reicht von den Pyrenäen und Irland im Westen bis zur Lena (Sibirien) und von der Kara See (Teil des Nördlichen Eismeer) bis zum südlichen Rand des Schwarzen und des Kaspischen Meeres sowie zum Aralsee. In Mitteleuropa bilden die Alpen die südliche, natürliche Verbreitungsgrenze (Abb. 2).

Das Vorkommen des Rotauges reicht von hoch gelegenen Bergseen (ZAUGG et al. 2003) bis in die Brackwasserregion der grossen europäischen Flüsse. In Südeuropa leben nahe verwandte Arten wie der Pigo, welcher in Norditalien und dem Tessin vorkommt und der Triotto, welcher das Tessin, Norditalien und die Anrainerstaaten der Adria besiedelt.

In der Schweiz ist das Rotauge eine der häufigsten Arten. In der roten Liste der Fische und Rundmäuler der Schweiz (ZAUGG et al. 2003) ist es als "nicht gefährdet" aufgeführt. Allerdings haben in den letzten Jahren in mehreren Seen und Fliessgewässern starke Fang- und Bestandes-Einbrüche stattgefunden (GERSTER 1998; (GUTHRUF 2006, GUTHRUF 2008).

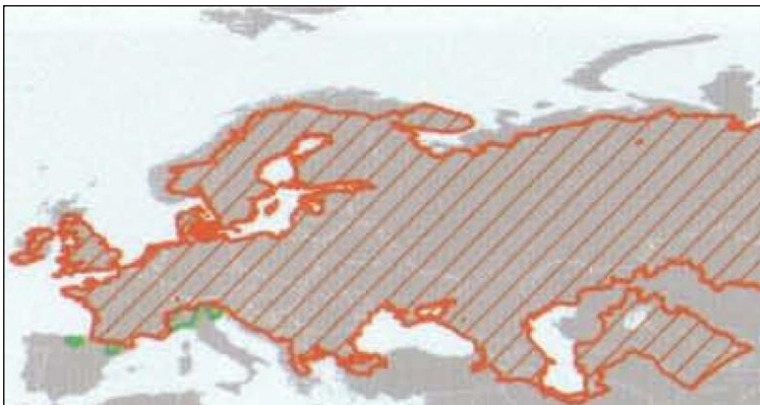


Abb. 2 Verbreitung des Rotauges (KOTTELAT & FREYHOF 2007), rot = autochthones Vorkommen, grün = eingesetzt.

#### 3.2. Fortpflanzung

Rotaugenmännchen und -weibchen werden im Alter von 2 - 4 Jahren erstmals laichreif (BONFIGLIOLI 1997, NAUWERCK 1999, DRAG-KOZAK et al. 2005), wobei die Laichreife bei den meisten Weibchen in der Regel ein Jahr später eintritt als bei den Männchen (ROTH 1969, MÜLLER 1983, LOVAS 1988, BONFIGLIOLI 1997, DRAG-KOZAK et al. 2005). Die Laichzeit beginnt normalerweise, wenn die Wassertemperatur 10 °C erreicht. KOTTELAT & FREYHOF (2007) geben 12°C als Schwellentemperatur an. je nach Gewässer fällt die Laichzeit in die Zeit von Mitte April bis Mitte Juni (LOVAS 1988). Die Männchen bilden zur Laichzeit einen Laichauschlag aus (Laichperlen). Sie finden sich dann in den Uferzonen, bevorzugt in Gebieten mit reichem Pflanzenbewuchs ein. Einige Tage später gesellen sich die Weibchen dazu. Die Tiere schliessen sich zu dichten Schwärmen zusammen und beginnen mit dem Abbläuen (SEIFERT 1984, GUTHRUF 2003). Die Laichzeit einer Rotaugenpopulation dauert im Allgemeinen nur 5 – 10 Tage (KOTTELAT & FREYHOF 2007). Die klebrigen Eier können auf verschiedenen Substraten (Schilf, Wurzeln, Ästen, Wasserpflanzen, Blocksteine (Durchmesser >1 m) und Kies (Durchmesser 3 – 11 cm) gefunden werden.

Im Rhein und in der Maas suchen laichreife Rotaugen für die Fortpflanzung Altwasser auf. Nach der Laichzeit folgen Nahrungswanderungen zurück in den Hauptstrom (KESTEMONT et al. 1999, MOLLS 1999). In aufgestauten Flüssen pflanzen sich Rotaugen sowohl im Stau selbst als auch in dessen Zufluss fort (HLADIK & KUBECKA 2003). Diese Zusammenstellung

zeigt, dass das Rotauge hinsichtlich seiner Laichhabitatwahl eine hohe Plastizität aufweist. Es kann sich an die lokalen Gegebenheiten eines Gewässers anpassen.

### 3.3. Eizahl und Embryonalentwicklung

Rotaugenweibchen sind sehr fruchtbar. Sie legen 50'000 bis 100'000 Eier ab (LOVAS 1988; BONFIGLIOLI 1997). Die Fekundität von jungen Fischen ist mit durchschnittlich 1'700 – 6'600 Eiern geringer (TOWNSEND & PERROW 1989). Da die Eizahl mit der Grösse der Laichtiere zunimmt, wird sie häufig auf das Körpergewicht bezogen. Bei Rotaugen beträgt dieser Kennwert 75'000 Eier pro kg Körpergewicht (GERSTER 1998). Die Eier weisen einen Durchmesser von 1 – 2 mm auf und sind meist blass-gelblich gefärbt (PATZNER et al. 1996). Je nach Wassertemperatur schlüpfen die Embryonen 7 bis 15 Tage nach dem Ablaichen, heften sich während den ersten Tagen nach dem Schlüpfen an Unterwasserpflanzen oder Steinen fest und verweilen dort, bis der Energievorrat im Dottersack aufgezehrt und ihre Entwicklung soweit fortgeschritten ist, dass sie schwimmen und externe Nahrung zu sich nehmen können.

### 3.4. Habitatwahl und Nahrung

Rotaugenlarven leben in grossen Schwärmen in der Uferzone (HORPPILA ET AL. 1996). Sie ernähren sich anfänglich von Algen, Rädertierchen (*Rotifera*) und selten von kleinen Zuckmückenlarven (*Chironomidae*) (PONTON & STROFFEK 1987; SVÄRDSON 1976). Bei vielen Rotaugenpopulationen, vor allem beim Leben im Freiwasser, spielt Zooplankton als Nahrung eine entscheidende Rolle – teilweise nur für die Juvenilen, teils auch für die adulten Tiere (ELORANTA & ELORANTA 1978 zit. in BÜSSER 1980; NAUWERCK 1999).

Da die Rotaugen äusserst effiziente Planktonfresser sind (PERSSON 1991), kommt es oft vor, dass die bevorzugten planktischen Blattfusskrebse (*Cladocera*) von einem starken Rotaugen-Jahrgang vollständig abgeschöpft werden (TOWNSEND & PERROW 1989, PERSSON & GREENBERG 1990). Litoralrotaugen ernähren sich dagegen vermehrt von Weichtieren (vor allem Wandermuschel), Detritus und Wasserpflanzen (BÜSSER 1980). Die Fähigkeit, Wasserpflanzen und Algen nutzen zu können, gibt dem Rotauge gegenüber anderen Fischarten einen Konkurrenzvorteil, insbesondere in Zeiten mit Nahrungsknappheit (PERSSON 1991).

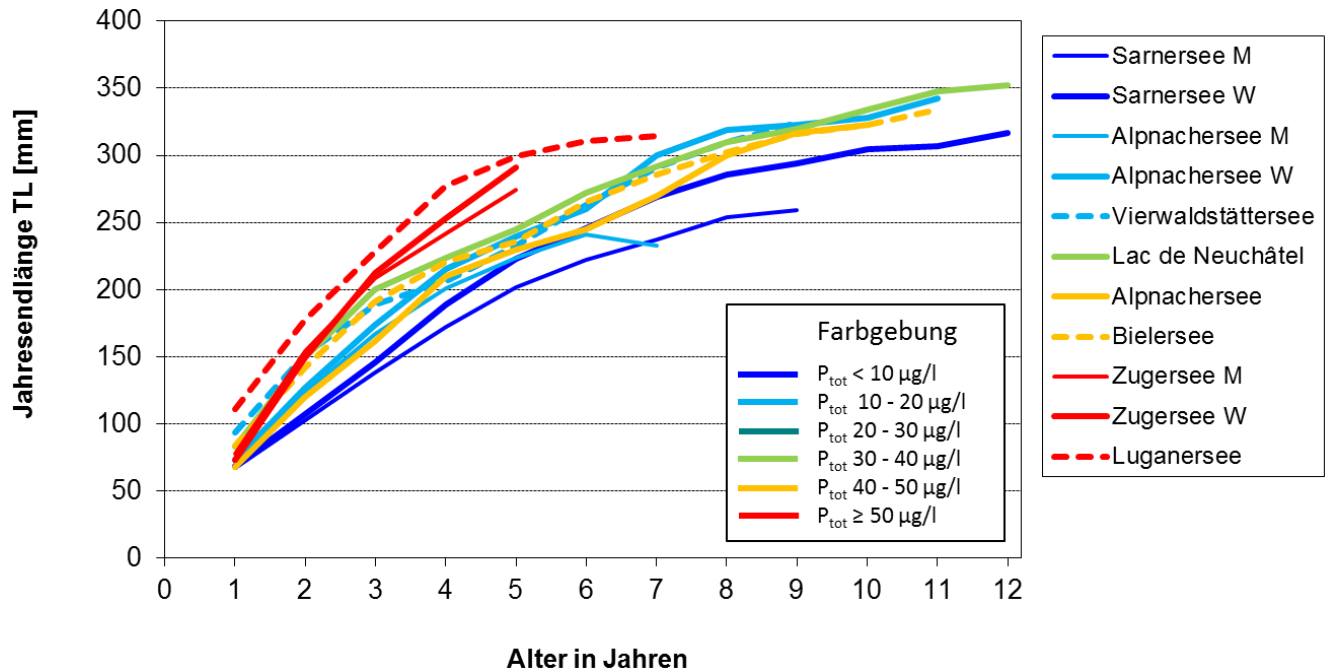
Im Sommer wachsen im Litoral zahlreicher Seen und Flusstäue untergetauchte Wasserpflanzen. Sie sind ein ausserordentlich wichtiger Lebensraum für die Rotaugen, insbesondere für die jüngste Altersklasse. Im Winter brechen die Wasserpflanzenbestände weitgehend zusammen. In den meisten Seen verlassen dann die Rotaugen das Litoral und suchen grössere Tiefen auf. Auch in Abflüssen, Zuflüssen oder Bootshäfen lassen sich im Winter grosse Rotaugenschwärme beobachten (ROSSIER et al. 1996, JEPSEN & BERG 2002, GUTHRUF 2003), sofern die erforderlichen Deckungsstrukturen verfügbar sind.

### 3.5. Alter, Wachstum, Kondition und Geschlechterverhältnis

In der Schweiz, aber auch in anderen Ländern, waren die ältesten untersuchten Rotaugen 15 Jahre alt (LOVAS 1988; ROSELL 1994). Sie erreichten Längen von 40 cm (Totallänge) bzw. Gewichte um 1 kg. Das grösste beschriebene Rotauge mass 50 cm. Fischer fingen ein Exemplar von 2.9 kg Gewicht (LOVAS 1988). Der River Wensum in Ost-England wurde von Anglern wegen des hohen Anteils von mehr als 1 kg schweren Rotaugen geschätzt (BEARDSLEY 2012).

Im ersten Lebensjahr ist das Wachstum der Rotaugen sehr stark. Raschwüchsige Rotaugen sind weniger lang der Prädation fischfressender Fische ausgesetzt als langsam wüchsige. KEMPE (1962 zit. in SVÄRDSON 1976) konnte beobachten, dass die mittlere Länge einer Kohorte während der Winterphase (Wachstum eingestellt) markant zunahm, was er mit längenselektiver Mortalität erklärt. In dieselbe Richtung wird interpretiert, dass in allen Gewäs-

sein, gleich welcher Temperatur und welches Trophiegrades die Länge bei der Bildung des ersten Jahrrings (Annulus) nie unter 40 – 45 mm lag. Zudem konnte in verschiedenen Gewässern gezeigt werden, dass starke Jahrgänge meist in Jahren mit hohen Sommertemperaturen und folglich günstigen Wachstumsbedingungen auftreten (MÜLLER & MENG 1986; LOVAS 1988; BONFIGLIOLI 1997).



**Abb. 3** Wachstum verschiedener Rotaugenpopulationen. Daten: Luganersee: (GUTHRUF 2003) Zugersee: Bonfiglioli (1997); Keratalsperre: Mellin & Stemmer-Bretthauer (1993); Alpnachersee: Lovas (1988); Vierwaldstättersee, Lac de Neuchâtel, Bielersee (1984), Lac du Loclat: Zaugg (1987); Bielersee (78-79): Büsser & Tschumi (1987); Sarnensee: Müller & Meng (1986). TL = Totallänge.

Aus den Wachstumskurven der Rotaugen verschiedener Gewässer der Schweiz ist ersichtlich, dass Rotaugen in Eutrophen Gewässern mit hohen Gesamtphosphorkonzentrationen in der Regel rasch wachsen, während das Wachstum in oligotrophen Gewässern mit niedrigen Phosphorgehalten langsam ist. Mesotrophe Gewässer nehmen eine Zwischenstellung ein (Abb. 3).

Weibchen wachsen in der Regel nach Erreichen der Geschlechtsreife schneller als Männchen (Abb. 3).

Das Geschlechterverhältnis verschiebt sich nach Eintritt der Laichreife mit zunehmendem Alter immer mehr zu Gunsten der Weibchen. Dies wird durch eine erhöhte Mortalität der Männchen nach Eintritt der Geschlechtsreife erklärt (ZAUGG 1987).

## 4. Material und Methodik

### 4.1. Uferkartierung

Die Ufer des gesamten Untersuchungsperimeters wurden am 19.5.2011 bei klarem Wasser vom Boot aus kartiert. Sie wurden gemäss der Ausprägung der Ufervegetation in Abschnitte eingeteilt, deren Grenzen mit einem GPS erfasst wurden. Für jeden Abschnitt wurden verschiedene Parameter kartiert (Tab. 1).

**Tab. 1 Für die Uferkartierung erfasste Parameter und deren Ausprägung.**  
**Uferlinie: vom Wasser aus erreichbare Begrenzung des Wasserkörpers (Böschungsfuss oder Rand Röhricht).**  
**Uferzone: Der Uferlinie wasserseitig vorgelagerter Bereich.**

Uferlinie			Uferzone		Beschattung	Jungfische	
Bewuchs	Beschaffenheit	Neigung	Sohlensubstrat	Neigung		Vorkommen	Häufigkeit
Bäume	Bewuchs Totholz	steil	Silt	Steilufer	% Uferlinie	Larven	tausende
Büsche Sträucher	Sand	flach	Sand	Flachufer		Juvenile	hunderte
Gräser Stauden	Kies	mittlere Neigung	Kies	mittlere Neigung			dutzende
Röhricht	Fels		Fels				einzelne
vegetationslos	Buhne		Totholz				keine
	Blockwurf		Röhricht				
	Blocksatz		Andere emerse Wasserpflanzen				
	Mauer		Submerse Wasserpflanzen				
	Spundwand						
	Andere						

### 4.2. Herleitung der Laichzeit und des Schlupftermins

Die ungefähre Laichzeit und der Schlupftermin in den Jahren 2011 und 2012 wurden anhand von Literaturdaten zur Laichtemperatur und Entwicklungszeit der Eier, anhand der Temperaturganglinien der Limmat sowie anhand des Reifegrades und des gonadosomatischen Index von Rotaugen aus den Netzfängen hergeleitet. Zudem wurden 2012 Laichplätze gesucht und Larven kartiert, um den Zeitraum der Laichzeit eingrenzen zu können.

### 4.3. Kartierung der Laichplätze und Larven

#### 4.3.1. Untersuchungen im Jahr 2011

Mitglieder der Pachtvereinigung Stausee Wettingen hielten ab Mitte April Ausschau nach laichenden Fischen und nach ersten Larven. Am 19. Mai erfolgte im Rahmen der Uferkartierung im ganzen Untersuchungsgebiet auch eine intensive Suche nach 0<sup>+</sup>-Fischen. Jungfischschwärme (Larvenstadium und erste Juvenilstadien) wurden kartiert und die Häufigkeit und Länge der Fische geschätzt. Einige Jungfische wurden für die morphologische Artbestimmung durch S. Härtel-Borer – einer Spezialistin für die Bestimmung juveniler Cypriniden – in 4%-Formaldehydlösung konserviert.

#### 4.3.2. Untersuchungen im Jahr 2012

Am 2., 7., 10., 14., 20. und 29. Mai erfolgten bei klarem Wasser kombinierte Laichplatz- und Jungfischkartierungen (am 20. und 29. Mai durch A. Bolliger und K. Braun von der Pachtvereinigung Stausee Wettingen). Da eine Erhebung entlang des gesamten Uferabschnittes nicht möglich war, wurden gezielt die folgenden 13 Stellen aufgesucht (Abb. 22):

- Linksufrig
  - Stelle A: untere und obere Bühnenstrecke bei Neuenhof
  - Stelle B: Fischerhütte Killwangen
  - Stelle C: Schleienloch
  - Stelle D: Auflandung unterhalb Bonitainsel (links)
  - Stelle E: oberster Schilfgürtel
- Rechtsufrig
  - Stelle F: Bootsplatz Oetwil
  - Stelle G: oberhalb Bonitainsel
  - Stelle H: Auflandung unterhalb Bonitainsel (rechts)
  - Stelle I: oberhalb Autobahnbrücke
  - Stelle K: oberhalb Würenloser Bucht (Mündung Furtbach)
  - Stelle L: Würenloser Bucht (Mündung Furtbach)
  - Stelle M: oberhalb Fischerhütte Wettingen
  - Stelle N: Wettinger Bucht (Lugibachmündung)

Die Auswahl der Stellen erfolgte aufgrund des Vorkommens von potenziellem Laichhabitat (strukturierte Uferlinie mit vorgelagerter Flachwasserzone), ergänzt durch Einschätzung von A. Bolliger.

Die jeweils ca. 50 m langen Uferabschnitte wurden mit dem Boot angefahren und als erstes auf Ansammlungen von grösseren Fischen geprüft. Danach wurden 0<sup>+</sup>-Fischschwärme kartiert und die Häufigkeit und Länge der Fische geschätzt. Am 10. und 14. Mai wurden einige Larven für genetische Untersuchungen in Alkohol konserviert. Schliesslich wurde potenzielles Laichsubstrat (insbesondere Totholz und Schilfhalme) punktuell entnommen und auf Eier abgesehen.

#### 4.4. Probenahme Rotaugen, Jungfische und ausgewachsene Tiere

Umfang des Probematerials:

- Fischeaufstiegskontrollen Fischpass Wettingen, (tiefgefroren, Angabe: Fangdatum),
- Sonderfänge Angelfischer (tiefgefroren, Angaben: Fangdatum, Fangort),
- Kiemennetz-Fänge, Berufsfischer zusammen mit Angelfischer, **(2-2011\* / 8-2012\*)**
- Elektrofänge Fangboot SG, (Leitung: K. Keller, C. Birrer), **(1-2011\*)**
- Elektrofänge Uferbefischungen Jungfische **(3-2011\* / 1-2012\*)**,
- Senknetz oder "Köderfischblatt" **(3-2011\* / 1-2012\*)**,
- Köderflaschen **(3-2011\* / 1-2012\*)**,
- Fischfallen (Fangreusen Jungfische, Jagd & Fischerei Kanton AG) **(3-2011\*/ 1-2012\*)**,

\*Anzahl Erhebungen pro Jahr

Die Sonderfänge mit Kiemennetzen wurden durch den am Hallwilersee tätigen Berufsfischer Heinz Weber durchgeführt. Ein erfahrener Angelfischer half bei der Auswahl der Fangorte. Es wurden Netze mit Maschenweiten von 20 bis 45 mm eingesetzt, um möglichst alle Längen- und Altersklassen ab 1<sup>+</sup> erfassen zu können. Die Netze wurden in der Abenddämmerung<sup>2</sup> gesetzt und am darauffolgenden Morgen um ca. 8 Uhr gehoben. Die gefangenen Fische wurden nach Arten getrennt gezählt. Alle Rotaugen wurden für die biometrischen Untersuchungen verwendet. Abgesehen von diesen Sonderfängen wird im Stau Wettingen nicht mit Kiemennetzen gefischt (Tab. 2).

**Tab. 2 Stichprobenzahl der Rotaugen bei den Untersuchungen im Rahmen des Projekts.**

	Vermessung	Gewebeproben	Altersbestimmung	Nahrungsanalysen	Reife-Bestimmung	Sex-Bestimmung
Uferbefischungen Senknetz	99					
Uferbefischungen Fischfallen	164	3	3	2	3	3
Uferbefischungen Elektrofang	400	8	24	11	24	24
Fangboot SG (Elektrofang)	28					
Sonderfänge Angelfischer	62	61	61	61	61	61
Fischeaufstiegskontrolle Wettingen	11	11	11	6	11	11
Fischeaufstiegskontrolle Letten	30	30				
Netzfänge	27	7	27	27	27	27
Fischzucht Deutschland	30	30				
<b>Summe</b>	<b>851</b>	<b>150</b>	<b>126</b>	<b>107</b>	<b>126</b>	<b>126</b>

<sup>2</sup> Nach Erfahrungen in einem Stau in Tschechien können mit Kiemennetzen während der Dämmerung 3 – 4x mehr Fische gefangen werden als während des Tages oder während der Nacht VASEK, M., KUBECKA, J., CECH, M., DRASTIK, V., MATENA, J., MRKVICKA, T., PETERKA, M. (2009): Diel variation in gillnet catches and vertical distribution of pelagic fishes in a stratified European reservoir. - Fisheries Research 96: 64-69.



Abb. 4 Fangboot des Kantons St. Gallen mit Anodenrechen.

#### 4.5. Biometrie, Verletzungen, Parasitenbefall

An total 126 gefangenen Rotaugen wurden Altersbestimmungen durchgeführt und die folgende Parameter erhoben (Methodik siehe (BAGENAL 1978):

- Totallänge [mm],
- Körpergewicht [g],
- Geschlecht
- Reifegrad
- Gonadengewicht [auf 10 mg genau]
- Kondition (K-Faktor nach Fulton),
- Anteil der Gonaden am Körpergewicht (gonadosomatischer Index),
- Verletzung durch Kontakt mit Prädatoren (Fische, Vögel),
- Befall mit Parasiten (Acanthocephala, Diplostomum, Nematoda, Cestoda).

#### 4.6. Nahrungsanalysen

An 10 Jungtieren (Alter 0<sup>+</sup>) und an 82 älteren Rotaugen wurden Magenanalysen durchgeführt. Dabei wurde der ganze, in 95% Ethanol fixierte Magen-Darmtrakt geöffnet und mit Wasser gespült. Die darin enthaltenen Bestandteile wurden unter einer Stereolupe (Leica S4E) bestimmt.

Der Anteil leerer Mägen wurde festgehalten. Bei den Rotaugen mit vollen Mägen wurde der Mageninhalt gewogen, nachdem ihm das überschüssige Wasser mit Hilfe von saugfähigem Papier (Linsoft) entzogen wurde (HYSLOP 1980). Da ein grosser Teil der Nahrungsorganismen zwischen Schlundknochen und Mahlplatte zerrieben worden war, war ein Zählen der

Nahrungsorganismen nicht möglich (HYSLOP 1980). Sie konnten aber in Nahrungskategorien eingeteilt werden. Die Nahrungsorganismen wurden nach ihrer Zugehörigkeit zu ihrer systematischen Ordnung bestimmt und ihr Gewichtsanteil geschätzt. Jede Nahrungskategorie wurde in Gewichtsprozenten und "frequency of occurrence" (Prozentanteil der Mägen, die die entsprechende Nahrungskategorie enthielten) ausgedrückt (BAGENAL 1978). Die "frequency of occurrence" kann bezogen auf alle Mägen oder bezogen auf die vollen Mägen berechnet werden (HYSLOP 1980).

#### 4.7. Altersbestimmung, Längerrückberechnung

- Jedem Rotauge wurden ca. 10 Schuppen entnommen, welche im Ultraschallbad während 10 – 20 min gereinigt und anschliessend zwischen zwei Objektträgern montiert wurden.
- Anhand der Jahrringe (Annuli) wurde das Alter des Fisches unter der Stereolupe (Leica S4E) mit Hilfe von Durchlicht bestimmt,
- Mit einer Längerrückberechnung wurde die Länge am Ende jedes Lebensjahres ermittelt. Dazu wurde der Abstand zwischen dem Zentrum der Schuppe und jedem Annulus gemessen. Die Länge im Alter n wurde nach folgender Formel berechnet:

$$TL_n = \frac{(TL - TL_0) \cdot RS_n}{RS} + TL_0$$

$TL_n$  = Totallänge im Alter N

$TL$  = Totallänge beim Fang

$TL_0$  = Totallänge bei der Bildung der ersten Schuppen (= 35 mm)

$RS$  = Schuppenradius total,

$RS_n$  = Schuppenradius (Annulus) im Alter n

Da definitionsgemäss der Alterswechsel bei Fischen der nördlichen Hemisphäre am ersten Januar angesetzt wird (HILE 1950, zit. in BAGENAL 1978), wurde bei allen Rotaugen mit Fangmonat Januar – April zum anhand der Schuppen bestimmten Alter ein Jahr dazu addiert. Dasselbe Vorgehen wurde bei allen im Mai gefangenen Fischen durchgeführt, deren Schuppenzuwachs seit dem letzten Annulus mehr als 15% ( $1^+$  bis  $2^+$ ) bzw. mehr als 10% ( $>2^+$ ) betrug. Bei Fischen, welche zwischen Juni und Dezember gefangen wurden, wurden keine Korrekturen vorgenommen. Bei den meisten Rotaugen war die Altersbestimmung sehr einfach, was unter anderem mit dem verhältnismässig geringen Alter der Fische zusammenhängen dürfte.



## 5. Resultate

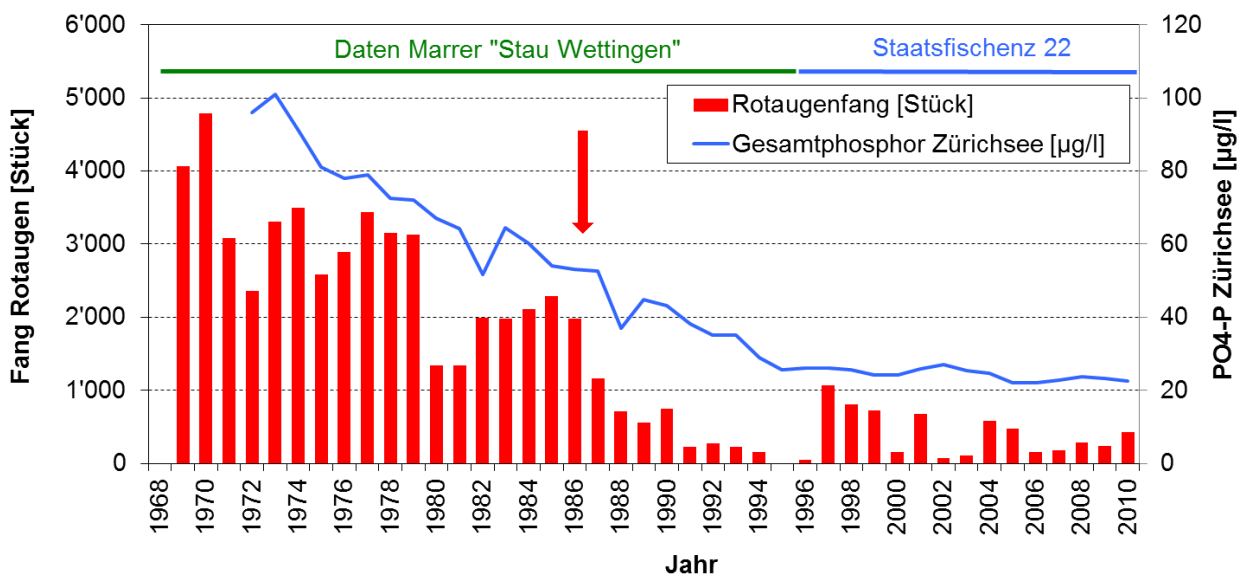
### 5.1. Zeitliche Entwicklung der Rotaugenfänge

#### 5.1.1. Limmat

Die Rotaugenfänge im Stau Wettingen sind zwischen 1970 und 1991 sehr stark rückläufig. Nach 1991 verharren sie auf tiefem Niveau. In der Dekade 2001-2010 wurden gerade noch 10% der Fänge erzielt, welche zwischen 1969 und 1978 getätigt wurden (Abb. 5).

Die Limmat in Wettingen ist sehr stark durch die Planktonentwicklung im Zürichsee beeinflusst. Der Trophiegrad des Zürichsees kann deshalb einen wesentlichen Einfluss auf den Fischbestand der Limmat haben. Da der Phosphor in den meisten Seen der Schweiz limitierend für die Primärproduktion ist (LIECHTI 1994), wird die Gesamtphosphor-Konzentration des Zürichsees mit der Entwicklung der Rotaugenfänge verglichen. Beide Parameter zeigen im betrachteten Zeitraum eine sehr ähnliche Entwicklung (Abb. 5).

Der starke Kormoraneinfall 1985 erfolgte etwa in der Mitte der Periode des Fangrückgangs, kann diesen also nur teilweise erklären (Abb. 5).



**Abb. 5 Anglerfänge im Stau Wettingen von 1968 bis 2010 (Daten bis 1995: Büro Marrer, ab 1996: Sektion Jagd und Fischerei Kanton AG). Im Vergleich dazu: Entwicklung der Gesamtphosphor-Konzentration im Zürichsee (Daten BAFU). Roter Pfeil: Beginn starker Kormoraneinfälle nach Auskunft von A. Bolliger.**

Der Zusammenbruch der Rotaugenfänge beschränkt sich nicht auf den Stau Wettingen. Auch in der Zürcher Limmat waren sie bis 2000 stark rückläufig und verharren anschließend auf tiefem Niveau (Abb. 6). Wegen der unterschiedlichen Länge der Zeitreihen können die Fangentwicklungen in den Kantonen Zürich und Aargau nicht 1:1 verglichen werden. Es scheint aber, dass die "Talsohle" im Kanton Zürich später erreicht wurde als im Kanton Aargau (vgl. Abb. 5 und Abb. 6). Auch im Kanton Zürich korrelieren die Rotaugenfänge der Limmat positiv mit der Gesamtphosphorkonzentration im Zürichsee.

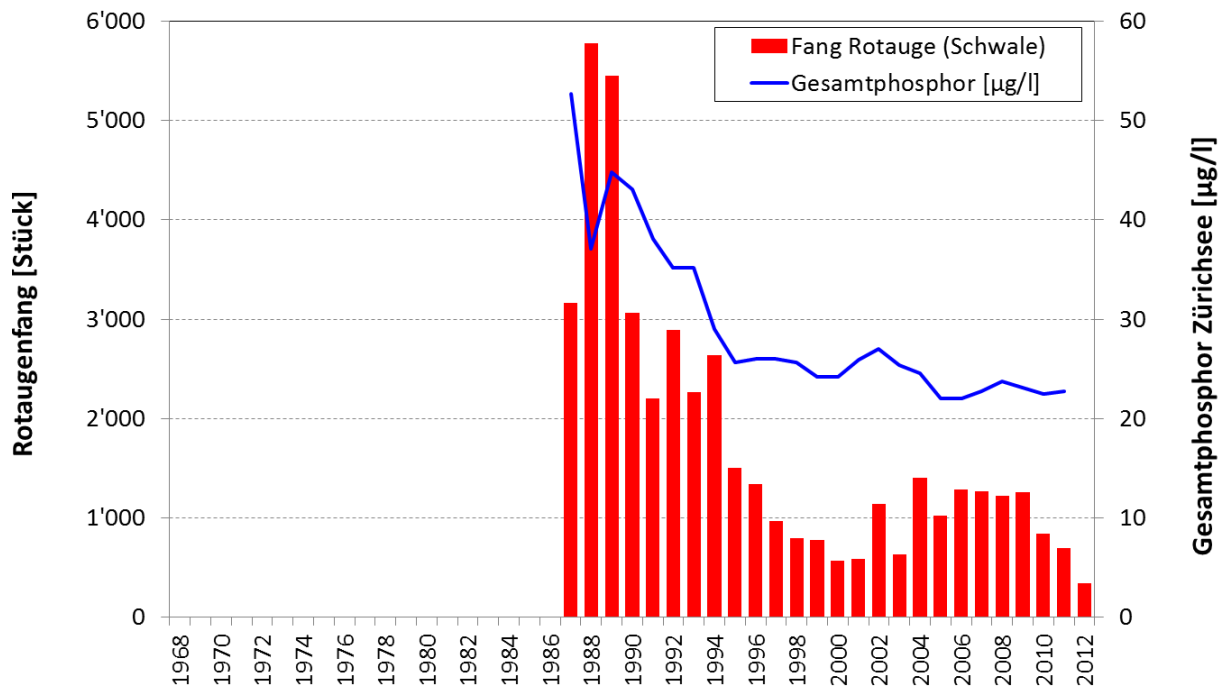


Abb. 6 Anglerfänge in der Limmat im Kanton ZH von 1987 bis 2012 (Daten Fischerei- und Jagdverwaltung Kanton ZH). Im Vergleich dazu: Entwicklung der Gesamtphosphorkonzentration im Zürichsee (Daten BAFU).

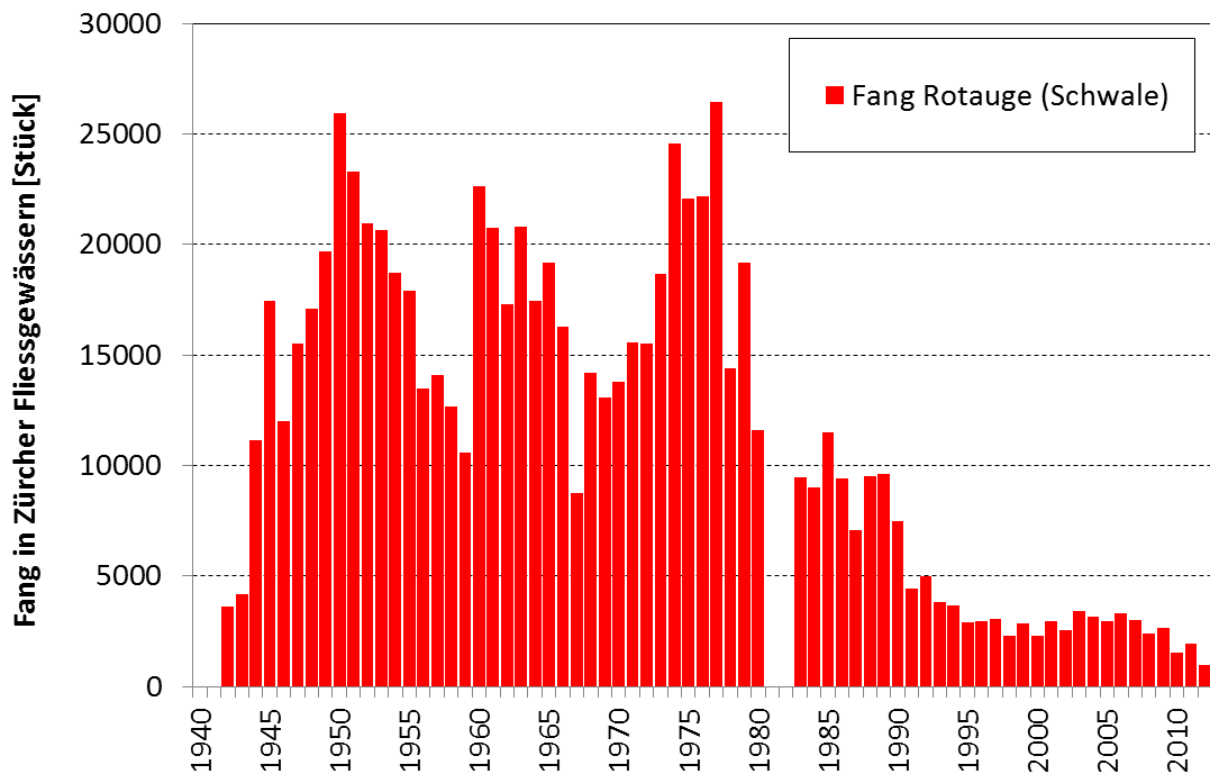


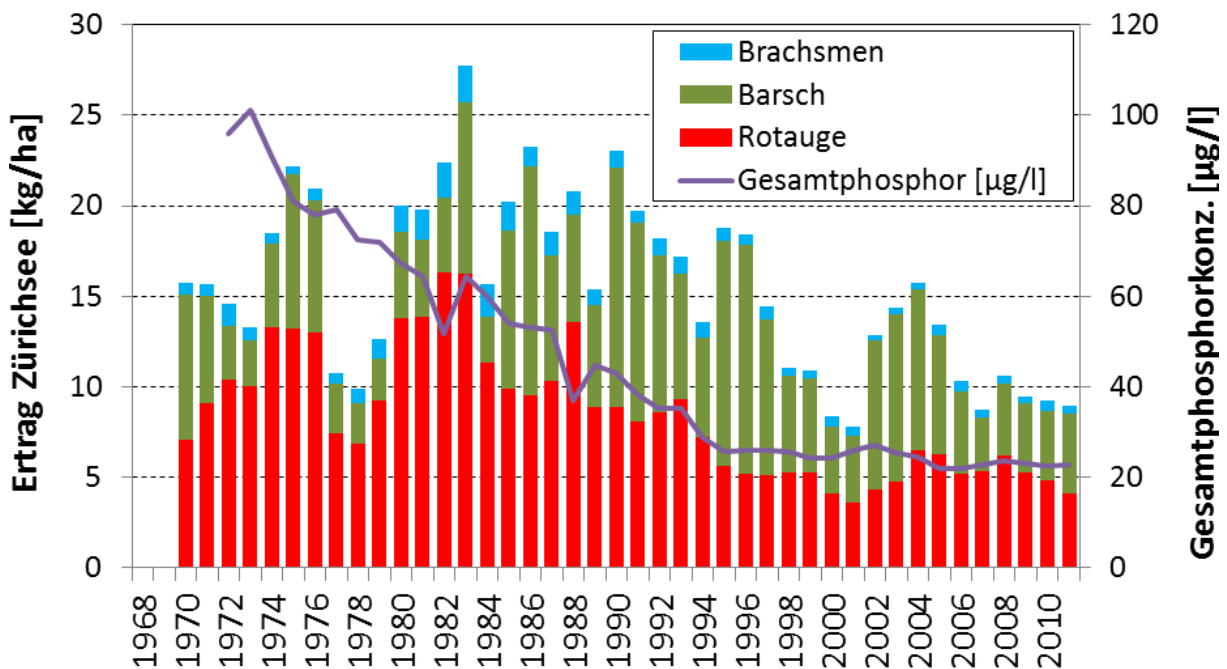
Abb. 7 Anglerfänge in Fließgewässern und kleinen stehenden Gewässern des Kantons ZH von 1942 bis 2012 (Daten Fischerei- und Jagdverwaltung Kanton ZH).

Eine sehr lange Zeitreihe liegt über die Rotaugenfänge in allen Fließgewässern des Kantons Zürich vor. Die Limmat erreichte in den Jahren mit Vergleichsdaten (1987 – 2012) einen

mittleren Anteil von 43% am gesamten Rotaugenfang (Variationsbreite 19 – 72%). Aus dieser langen Zeitreihe ist erkennbar, dass die Rotaugenfänge bis 1977 bei sehr starken Schwankungen weder einem ab- noch einem zunehmenden Trend folgten. Zwischen 1977 und 1991 erfolgte dann ein starker Rückgang der Fänge auf rund 15% des Ausgangswerts, gefolgt von einer Stabilisierung auf tiefem Niveau (Abb. 7).

### 5.1.2. Zürichsee

Während des Höhepunktes der Eutrophierung lebten in allen Seen der Schweiz grosse Rotaugenpopulationen. Die Art wurde damals als Problem empfunden (ROTH 1969, MÜLLER 1983) und man versuchte, Methoden für die Verwertung bzw. Vernichtung der Fänge zu entwickeln (MÜLLER 1969, SCHÄR 1978).



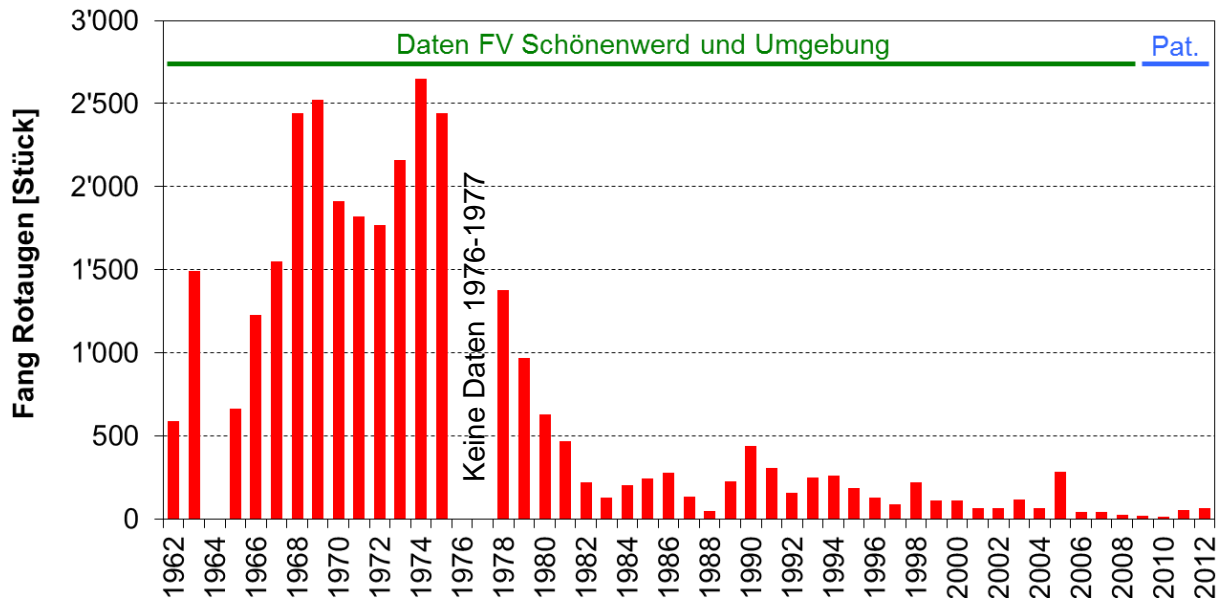
**Abb. 8 Fischereiertrag im Zürichsee von Brachsmen, Barsch und Rotaugen in den Jahren 1970 bis 2010. Im Vergleich dazu: Entwicklung der Gesamtphosphorkonzentration im Zürichsee (Daten BAFU).**

Da ein Austausch zwischen Zürichsee und Limmat wahrscheinlich ist, wird auch die Entwicklung der Rotaugenfänge im Zürichsee in die Betrachtungen einbezogen. Dort waren die Rotaugenfänge zwischen 1983 und 1996 rückläufig, die Gesamtphosphorkonzentration verlief sehr ähnlich (Abb. 8). Vor 1983 korrelierten die Rotaugenfänge (Schwankungen ohne Trend) und die Gesamtphosphorkonzentration (abnehmend) nicht. Dies ist dadurch erklärbar, dass die Phosphorkonzentration bei Überschreitung eines bestimmten Schwellenwerts nicht mehr limitierend ist und dichteabhängige Mechanismen die Bestände begrenzen. Der Rückgang der Rotaugenfänge betrug zwischen 1983 und 2010 etwa zwei Drittel. Wenn man die Schwankungen vor 1983 mitberücksichtigt, entsprechen die heutigen Rotaugenfänge etwa der Hälfte der Fänge zwischen 1970 und 1983. Der Rückgang war also im Zürichsee weitaus weniger ausgeprägt als in der Limmat.

Zusammenfassend betrachtet betrifft der Rückgang der Rotaugenfänge nicht nur den Stau Wettingen, sondern auch die Zürcher Limmat und in abgeschwächtem Mass den Zürichsee. Leichte Unterschiede ergeben sich in der Zeitspanne des Rückgangs der Rotaugenfänge: Während dieser im Stau Wettingen bereits ab 1970 oder sogar noch früher einsetzte und sein Minimum 1995 erreichte, begann der Rückgang im Zürichsee erst 13 Jahre später ab 1983. Das Ende des Rückgangs im Zürichsee und im Stau Wettingen ist identisch (1995).

### 5.1.3. Andere Flüsse der Schweiz

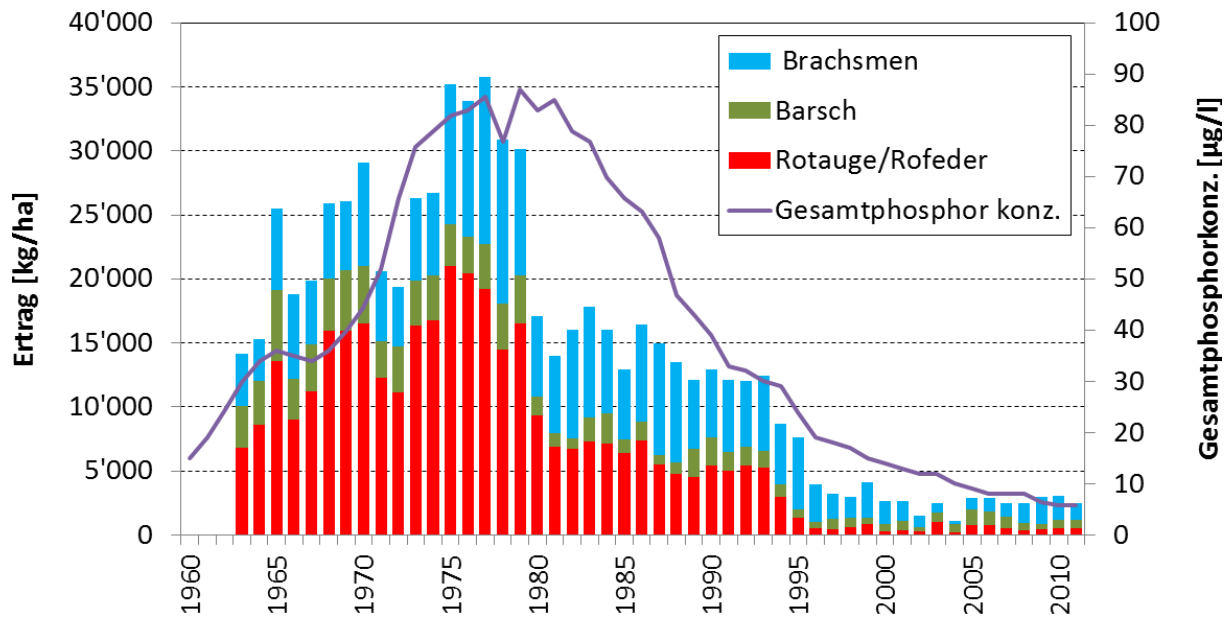
Zur Beurteilung, ob der Fangrückgang bei den Rotaugen auf das Einzugsgebiet der Limmat begrenzt ist, wurde die Aarestrecke zwischen Olten und Aarau, die über eine lange Zeitreihe der Anglerfänge verfügt, als Vergleichsstrecke ausgewählt. Auch in dieser Flussstrecke hat der Rotaugenfang massiv abgenommen (Abb. 9). Im Vergleich mit der Limmat im Stau Wettingen beginnt der Fangrückgang bei Schönenwerd etwas später (1974 statt 1970), und erreicht etwas früher den Tiefpunkt (1983 statt 1991). Das Ausmass des Fangrückgangs ist deutlich ausgeprägter als im Stau Wettingen. In zehn Jahren (1974 – 1983) gingen die Fänge um 96% zurück. Im längerfristigen Vergleich war der Rückgang der Rotaugenfänge in beiden Gewässerstrecken vergleichbar (beide um 93%, vgl. Abb. 5 und Abb. 9).



**Abb. 9 Anglerfänge in der Aare Schönenwerd (SO). Pat: = Patentstatistik (Strecken A3, A4, A5, A6) Die Fischerei des FV Schönenwerd (1962-2008) und die Patentstrecken A3-A6 sind nicht 100% deckungsgleich: Der oberste, 1.9 km lange Teil der Restwasserstrecke des KW Gösigen ist in den Patentstrecken enthalten, nicht aber in der Fischerei des FV Schönenwerd. Daten: Abteilung Jagd und Fischerei Kanton SO.**

Auch für den Hochrhein liegen längere Zeitreihen der Fangstatistik vor. In diesen wurden Rotaugen und Rotfedern zusammengefasst. Die Fänge dieser Artengruppe haben stark abgenommen. Der Rückgang erfolgte in zwei Schritten innerhalb der Jahre 1979 - 1996 (Abb. 10). Im Vergleich zum Stau Wettingen erfolgte der Rückgang am Hochrhein 9 Jahre später. Es dauerte aber etwa gleich lang, bis die Talsohle erreicht wurde. Der Rückgang zwischen 1979 und 1996 war mit 97% ähnlich stark wie im Stau Wettingen (vgl. Abb. 5 und Abb. 10). Der Vergleich mit anderen, bevorzugt in eutrophen Gewässern lebenden Arten (Brachsmen und Flussbarsch) zeigt, dass auch der Fang dieser beiden Arten in ähnlichem Mass rückläufig war wie derjenige der Rotaugen und Rotfedern (Abb. 10).

Die Gesamtphosphorkonzentration korreliert hoch signifikant mit dem Rotaugenfang (Spearman Rangkorrelation,  $p < 0.000001$ , Bestimmtheitsmass  $R^2 = 0.70$ ). Am Beispiel des Hochrheins ist im Unterschied zu den bisher behandelten Gewässern auch eine deutliche Korrelation der Gesamtphosphorkonzentration und der Rotaugenfänge während des Anstiegs der Phosphorkonzentrationen ersichtlich (Abb. 10).



**Abb. 10 Fischereiertrag im Hochrhein von Brachsmen, Barsch und Rotaugen in den Jahren 1963 bis 2010. Im Vergleich dazu: Entwicklung der Gesamtphosphorkonzentration im Bodensee Obersee (Daten BAFU).**

Allerdings sind die Rotaugenfänge im Hochrhein im Unterschied zu den bisher behandelten Gewässern nicht zu 100% mit der Gesamtphosphorkonzentration erklärbar: Der erste Zusammenbruch der Rotaugenfänge erfolgte zu einem Zeitpunkt, als die Konzentrationen noch sehr hoch waren (Abb. 10). Zudem blieben die Brachsmen- und Barsch-Fänge noch während Jahren hoch, als der Rotaugenfang bereits stark zurückging. Deshalb wurde angenommen, dass der Rückgang der Rotaugenfänge am Hochrhein nicht primär auf die Reoligotrophierung zurückzuführen ist (GERSTER 1998b). Wenn man die Entwicklung bis und mit 2011 berücksichtigt, so haben mit etwas Verzögerung auch die Barsch- und Brachsmenabgenommen, dies in ähnlichem Mass wie die Rotaugenfänge.

Der Beginn des Rückganges der Rotaugenfänge zu einem Zeitpunkt mit noch hohen Phosphorkonzentrationen ist durch Schwankungen der Fänge erklärbar. Die Zeitreihe der Zürcher Gewässer verdeutlicht, dass im Rahmen der Schwankungen durchaus eine Serie von 10 Jahren mit rückläufigen Fängen möglich ist. Es ist daher anzunehmen, dass auch der Fangrückgang im Hochrhein Trophie bedingt ist, überlagert von Schwankungen des Fanges. Lange Zeitreihen aus dem Bodensee-Obersee zeigen zudem, dass die Rotaugenfänge und die Gesamtphosphorkonzentration sowohl während der aufsteigenden als auch während der absteigenden Phase einen sehr ähnlichen Verlauf aufweisen (GERSTER 1998b).

Angaben zur Fangentwicklung in weiteren Gewässern finden sich im Anhang (Kapitel 10.1.1).

#### 5.1.4. Fazit Rotaugenfänge

In zahlreichen Seen der Schweiz korrelieren die Rotaugenfänge sehr stark mit der Phosphorkonzentration – ein Hinweis auf einen trophischen Einfluss. Im Verlauf der Zeit wurden auch in den grossen Flüssen unterhalb dieser Seen immer weniger Rotaugen gefangen. Auch wenn sich hinsichtlich des Zeitraums und des Ausmasses des Fangrückgangs kleinere Unterschiede ergeben, stimmt die Entwicklung in den einzelnen Gewässern im Grossen und Ganzen relativ gut überein. Es zeigt sich eine ausgeprägte positive Korrelation mit der Phosphorkonzentration des oberliegenden Sees. In welchem Ausmass der Zusammenhang zwischen See und Fluss über Migrationen der Rotaugen oder über den Nahrungsinput aus dem See funktioniert, kann auf Grund der vorliegenden Grundlagen nicht beurteilt werden.

Der Rückgang der Rotaugenfänge ist deshalb kein spezifisches Problem des Staus Wettingen, sondern entspricht einem gesamtschweizerischen Trend in Fliessgewässern, Stauhaltungen und Seen. Es konnte auch gezeigt werden, dass nicht nur das Rotauge vom Rückgang betroffen ist, sondern auch der Brachsmen, eine andere Art, welche von der Eutrophierung profitiert. Diese Zusammenhänge sind als Hinweis zu werten, dass die Reoligotrophierung eine bedeutende Rolle beim Rückgang der Rotaugenfänge spielt. Im Rahmen der Diskussion wird dieser Punkt detailliert beleuchtet (Kapitel 6.10).

## 5.2. Einfluss fischfressender Vögel

Der Überwinterungsbestand der Kormorane in der Schweiz nahm gemäss der Wasservogelzählungen der Schweizerischen Vogelwarte (<http://www.vogelwarte.ch/>) am stärksten zwischen 1982 und 1989 von rund 2'400 auf über 10'000 Vögel zu. Anhand der Wasservogelzählungen lässt sich grob prüfen, ob die Entwicklung der Rotaugenfänge und des Bestandes überwinternder Kormorane entgegengesetzt verlaufen:

Beim **Stau Wettingen** und im **Hochrhein** nahmen die Rotaugenfänge bereits ab, bevor die Zahl der überwinternden Kormorane steil anstieg. Höchstens für einen Teil des Rückgangs kommt folglich eine Prädation durch Kormorane in Frage.

Im **Zürichsee** und in den **Fliessgewässern des Kantons Zürich** hielt die Abnahme der Rotaugenfänge auch nach dem Rückgang der Zahl der überwinternden Kormorane weiter an. Auch in diesen Gewässern kann somit nur ein Teil des Zusammenbruchs der Rotaugenfänge durch Kormoranprädation erklärt werden.

An der **Aare bei Schönenwerd** waren die Rotaugenfänge bereits zusammengebrochen, bevor die Zahl der überwinternden Kormorane sprunghaft anstieg.

Kormoranprädation kann somit den Rückgang der Rotaugenfänge nur zu einem kleinen Teil erklären.

## 5.3. Einfluss des Fischbesatzes im Stau Wettingen

Die Besatzstatistik des Staus Wettingen ist ab 1996 verfügbar. Bis 1999 wurde der Stau mit Hechten und auch stark mit Felchen besetzt (Abb. 11).

Die Fischart mit den höchsten Besatzzahlen war in allen Jahren der Hecht. Während bis 2002 vor allem Vorsömmerlinge besetzt wurden, stellte man ab 2003 auf Brut um (Abb. 11). Rotaugen wurden in den Jahren 1998 – 2009 in Zahlen von über 1'000 Stück eingesetzt, mit Unterbrüchen in den Jahren 2005 und 2008. Gemäss Angaben der Pachtvereinigung Stausee Wettingen wurden jeweils verschiedene Altersklassen von Sömmerlingen bis zu mehrjährigen Tieren besetzt, die Anteile der einzelnen Klassen wurden aber nicht festgehalten (Abb. 11). Ansonsten wurden in den Jahren 1999 und 2010 grössere Mengen an Schleien, in den Jahren 1996 und 1997 Rotfedern und in den Jahren 1998, 1999 und 2010 in grosser Zahl Karpfen eingesetzt. Weiter erwähnenswert ist der Besatz mit 1'200 Nasenjährlingen im Jahr 2008 (Abb. 11). Der Erfolg dieser Besatzmassnahmen wurde abgesehen von den Rotaugen nicht untersucht.

Populationsgenetische Untersuchungen (KLÄFIGER et al. 2014) zeigten, dass nur ein geringer Anteil von 8% der beprobten Rotaugen dieser Studie dem Besatzmaterial aus Deutschland zugeordnet werden konnte. Der überwiegende Anteil der Rotaugen stammte aber aus natürlicher Reproduktion.

Trotz dieses geringen Anteils blieb der Besatz nicht ohne Folgen für die Rotaugenpopulation: Da der Besatz während rund 10 Jahren erfolgt war, konnten in den populationsgenetischen Untersuchungen rund 15% Hybriden nachgewiesen werden. Dies ist ein Nachweis, dass sich ein Teil der eingesetzten Rotaugen mit den einheimischen Rotaugen fortgepflanzt und damit zu einer Vermischung des Erbguts beigetragen hatte. Dies ist insofern negativ zu werten, da sich das Erbgut der eingesetzten Rotaugen erheblich von dem der natürlich in der Limmat vorkommenden Rotaugen unterschied (KLÄFIGER et al. 2014).

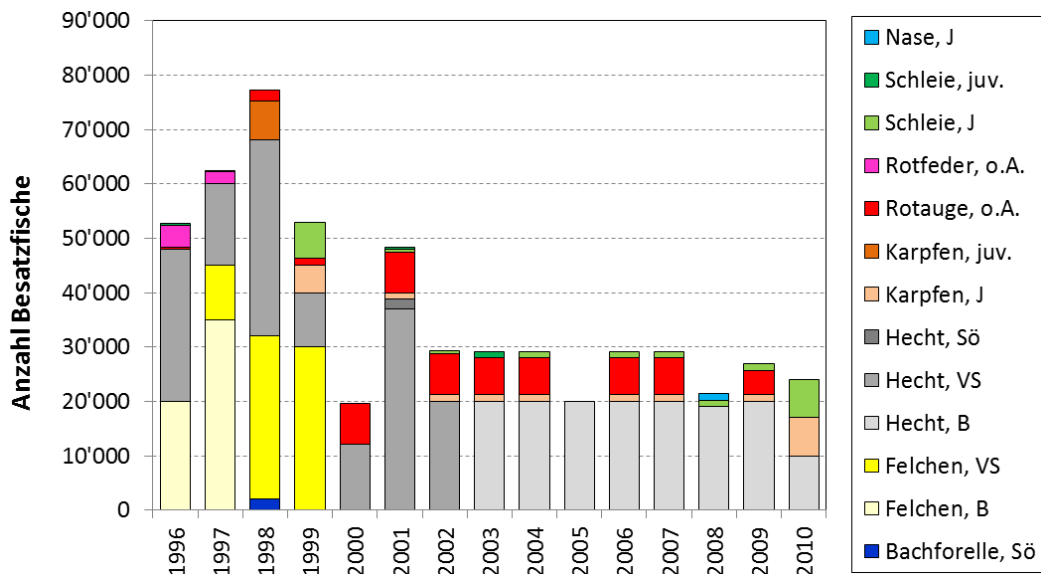


Abb. 11 **Besatz im Stau Wettingen (Staatsfischsz 22) in den Jahren 1996-2010, getrennt nach Arten und Besatzalter. Daten: Sektion Jagd und Fischerei Kanton AG. B=Brütlinge; VS=Vorsommerlinge; Sö=Sommerlinge; J=Jährlinge, juv.=juvenile Fische; o.A.=ohne nähere Angaben.**

#### 5.4. Altersaufbau der heutigen Rotaugenpopulation

An 126 Rotaugen aus dem Stau Wettingen wurden Altersbestimmungen vorgenommen. Es handelte sich um eine Stichprobe von 25 Tieren der 692 gefangenen 0<sup>+</sup>-Rotaugen sowie um sämtliche älteren Fische.

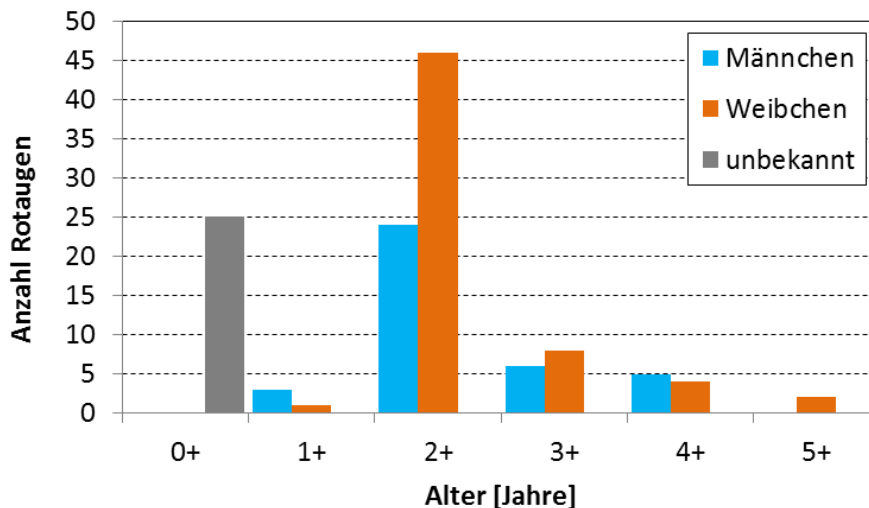


Abb. 12 **Alterszusammensetzung der 2011 und 2012 im Stau Wettingen gefangenen Rotaugen, nach Geschlechtern getrennt. Herkunft der Fische: Uferbefischungen (0<sup>+</sup>), Anglerfänge, Netzfänge, Fischaufstiegskontrollen beim Stauwehr Wettingen (>0<sup>+</sup>). Bei den 0<sup>+</sup>-Tieren konnten die Geschlechter noch nicht unterschieden werden.**

Die Stichprobe der Rotaugenpopulation aus dem Stau Wettingen setzte sich aus 6 Altersklassen (0<sup>+</sup> bis 5<sup>+</sup>) zusammen (Abb. 12). Rotaugen im Alter von 2<sup>+</sup> dominierten, während 1<sup>+</sup>-Tiere nur schwach vertreten waren. Ein Dominieren von alten Weibchen konnte im Unterschied zu anderen Gewässern (MANN 1973, GOLDSPINK 1979, PONTON & GERDEAUX 1987,

ZAUGG 1987, LOVAS 1988, NAUWERCK 1999, GUTHRUF 2003) nicht nachgewiesen werden. Dies könnte am generell geringen Anteil alter Rotaugen im Stau Wettingen liegen. Im Luganersee war das Überwiegen der Weibchen erst ab einem Alter von 4 Jahren feststellbar (GUTHRUF 2003). Diese Altersklasse ist in der Stichprobe im Stau Wettingen lediglich durch 11 Tiere repräsentiert (Abb. 12).

Im Rahmen der Uferbefischungen und den Fängen mit dem Fangboot wurden 2011 und 2012 viele junge Rotaugen gefangen. Anhand ihrer Längenverteilung lassen sich die Tiere eindeutig von den älteren Rotaugen abgrenzen (Abb. 13). Altersbestimmungen an 25 Tieren bestätigten, dass es sich um 0<sup>+</sup>-Rotaugen handelt.

Sowohl der Jahrgang 2011 (N=497) als auch der Jahrgang 2012 (N=195) waren bei den Uferbefischungen bzw. der Befischung mit dem Fangboot vertreten. Sie erreichten relativ hohe Anteile am erfassten Fischbestand (siehe Abb. 14 und Kapitel 5.12).

Die Stichprobe der älteren Rotaugen ("übrige Fangmethoden" in Abb. 14) wird durch die Kohorte 2008 dominiert. Da die Untersuchungen sich auf zwei Jahre erstreckten und verschiedene Fangmethoden zur Anwendung gelangten (Anglerfänge, Netzfänge mit verschiedenen Maschenweiten, Elektrofang, Senknetz, Fischfallen), ist anzunehmen, dass es sich effektiv um eine starke Kohorte 2008 handelt. Die Kohorte 2010 dagegen dürfte nur schwach vertreten sein (Abb. 14).

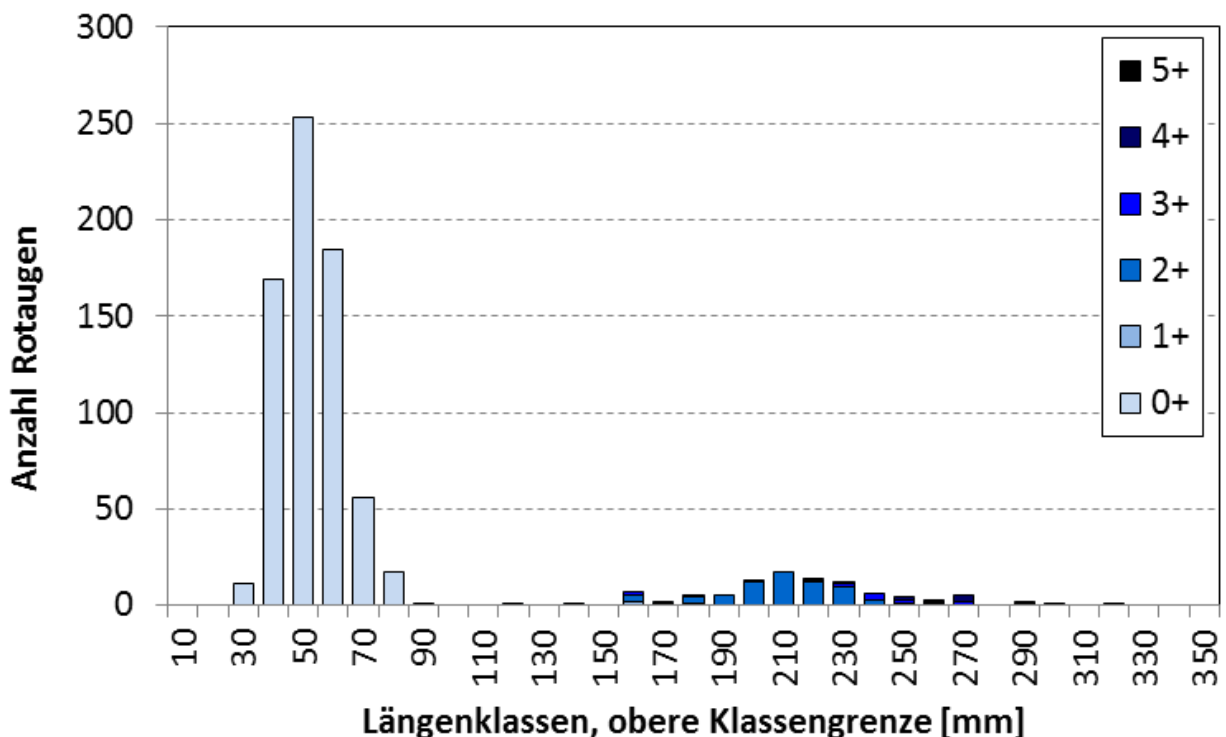


Abb. 13 Längenhäufigkeitsverteilung der 2011 und 2012 im Stau Wettingen gefangenen Rotaugen, nach Altersklassen getrennt. Herkunft der Fische: Uferbefischungen, Anglerfänge, Netzfänge, Fischaufstiegskontrollen beim Stauwehr Wettingen.



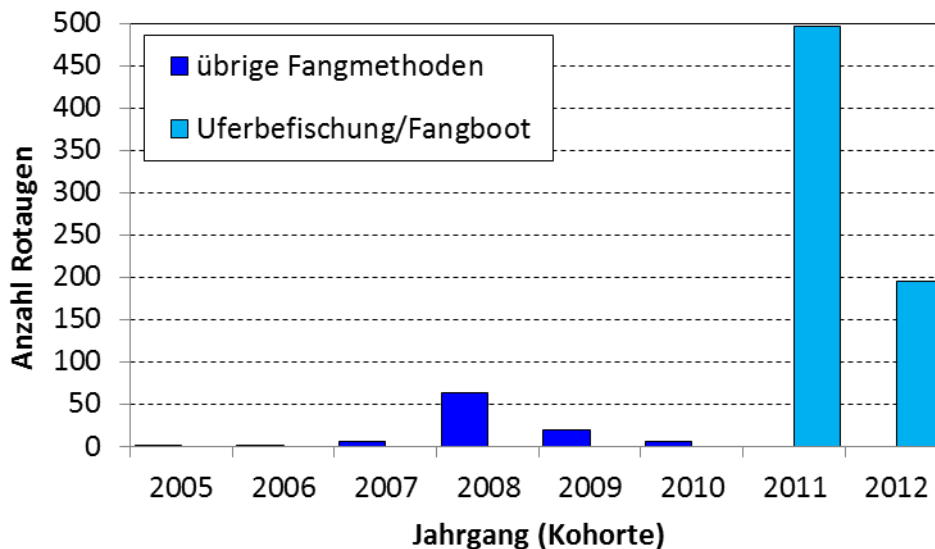


Abb. 14 Anteile der Kohorten an der Rotaugenstichprobe im Stau Wettingen (N=791): Herkunft der Fische: Uferbefischungen (692), Anglerfänge (61), Netzfänge (27), Fischaufstiegskontrollen beim Stauwehr Wettingen (11).

### 5.5. Wachstum

Die beiden Geschlechter der Rotaugen im Stau Wettingen wachsen im untersuchten Altersbereich ähnlich rasch (Abb. 15). Ein Wachstumsunterschied, wie er in verschiedenen Seen (GOLDSPINK 1979, MÜLLER & MENG 1986, LOVAS 1988, GUTHRUF 2003) oder Fließgewässern (MANN 1973) nachgewiesen wurde, war im Stau Wettingen nicht erkennbar. Dieser Umstand dürfte auf die schwache Vertretung alter Rotaugen in der Stichprobe zurückzuführen sein. Lediglich 11 Tiere waren älter als drei Jahre (Abb. 12).

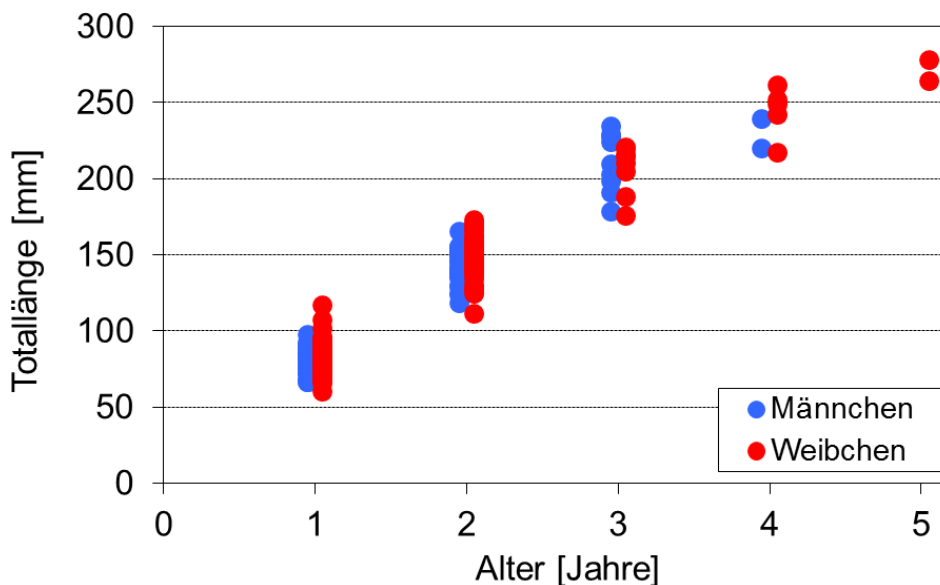
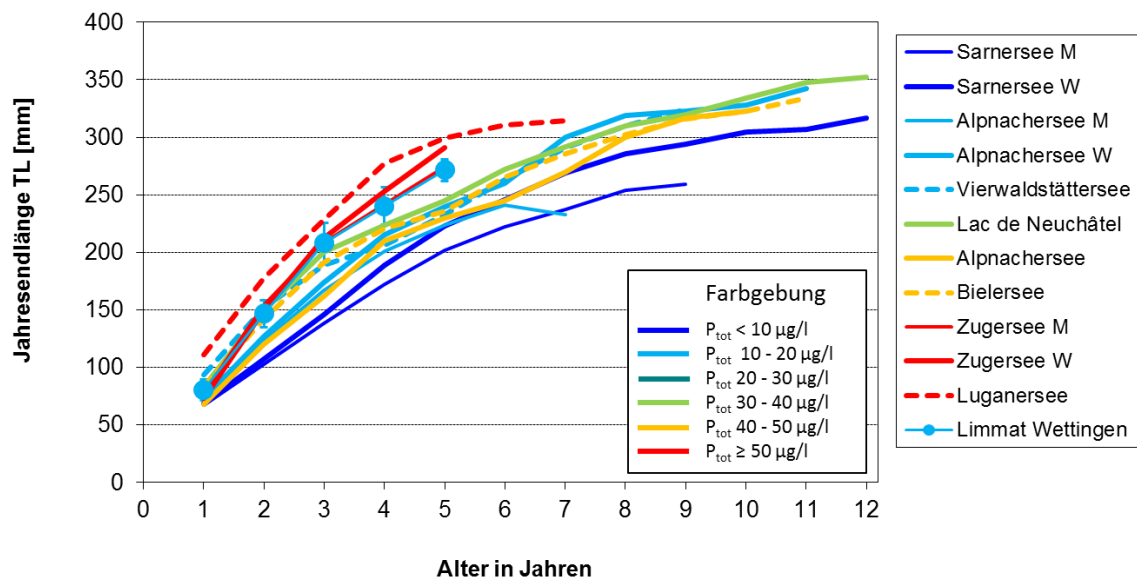


Abb. 15 Wachstum der Rotaugen im Stau Wettingen nach Geschlechtern getrennt. Jahresendlängen.

Die Rotaugen im Stau Wettingen erreichen am Ende ihres ersten Lebensjahres eine durchschnittliche Länge von 8 cm. Im zweiten erreichen sie 15, im dritten 21, im vierten 24 und im fünften Jahr 27 cm (Abb. 16). Im Vergleich mit anderen Gewässern der Schweiz wachsen die Rotaugen im Stau Wettingen relativ schnell. Sie liegen damit im oberen Drittel der Varia-

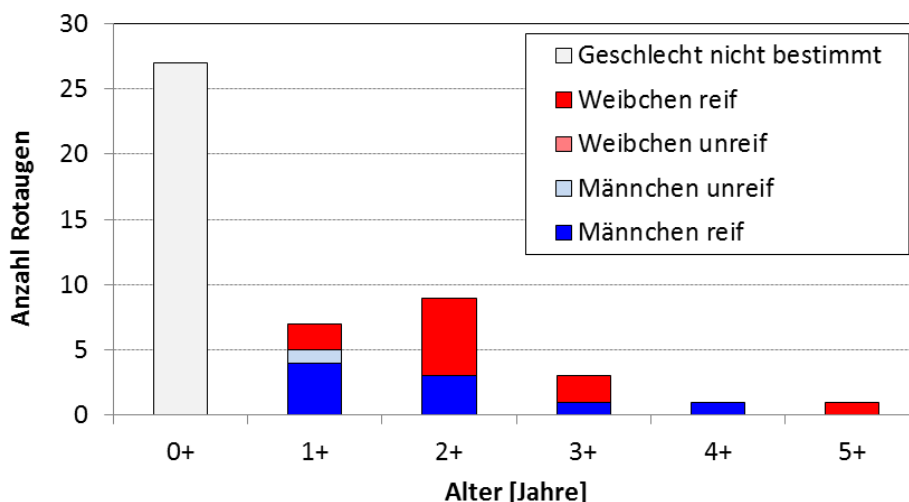
tionsbreite in der Schweiz (Abb. 16). Angesichts der geringen Phosphorkonzentrationen im Stau Wettingen spricht dies für sehr gute Wachstumsbedingungen, die unter anderem auf die Nutzung der Wandermuscheln als bedeutender Nahrungsbestandteil zurückzuführen sein könnten (KOTTELAT & FREYHOF 2007).



**Abb. 16** Wachstum der Rotaugen im Stau Wettingen im Vergleich zu anderen Gewässern der Schweiz. Jahresendlängen bei abgeschlossenem Annulus. Datenquellen: siehe Abb. 3. Blaue Punkte: Mittelwert, Fehlerbalken: Standardabweichung.

### 5.6. Laichreife

Von fünf untersuchten 1<sup>+</sup>-Männchen waren 4 laichreif. Die beiden untersuchten 1<sup>+</sup>-Weibchen waren bereits laichreif (Abb. 17). Von den älteren Tieren waren in den Monaten, in denen die Laichreife sicher bestimmt werden konnte, alle 5 Männchen und 9 Weibchen laichreif. Im Vergleich mit anderen Populationen der Schweiz erreichen die Rotaugen des Staus Wettingen die Geschlechtsreife sehr früh.



**Abb. 17** Laichreife der in den Monaten Dezember bis April gefangenen Rotaugen nach Geschlecht und Alter getrennt. Datenherkunft: 19 Rotaugen aus Netzfängen, 3 Rotaugen aus Fischaufstiegskontrollen beim Wehr Wettingen.

## 5.7. Kondition

Die Kondition der Rotaugen im Stau Wettingen wird mit den Werten der Rotaugenpopulation des hoch eutrophen Luganersees aus dem Jahr 1999 verglichen (Abb. 18). Daraus ist ersichtlich, dass vor allem die jungen Rotaugen im Alter von 1<sup>+</sup> im Stau Wettingen eine deutlich tiefere Kondition aufweisen als diejenigen im Luganersee. Bei den älteren Tieren sind die Unterschiede bedeutend weniger ausgeprägt und in den Monaten mit hohen Stichproben nicht signifikant (Abb. 18).

In Anbetracht der Tatsache, dass der K-Faktor der Rotaugen des Luganersees im Vergleich mit zahlreichen Gewässern der Schweiz ausserordentlich hoch war (GUTHRUF 2003), so erscheint die Kondition der Rotaugen des Staus Wettingen relativ hoch. Die 1<sup>+</sup>-Rotaugen waren leicht korpulenter als diejenigen des Zugersees (BONFIGLIOLI 1997). Bei den älteren Altersklassen war die Kondition der Rotaugen in beiden Gewässern ähnlich hoch. Die Untersuchungen ergaben keinen Hinweis auf aussergewöhnliche Nahrungsengpässe bei den Rotaugen des Staus Wettingen.

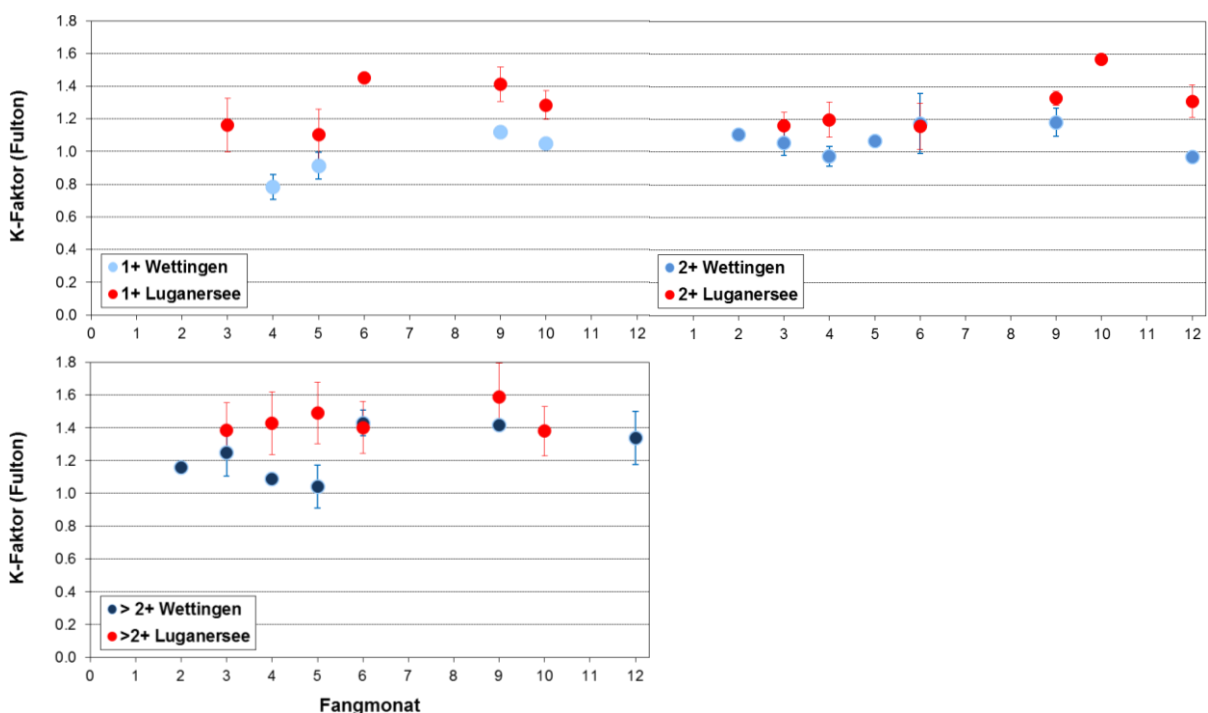
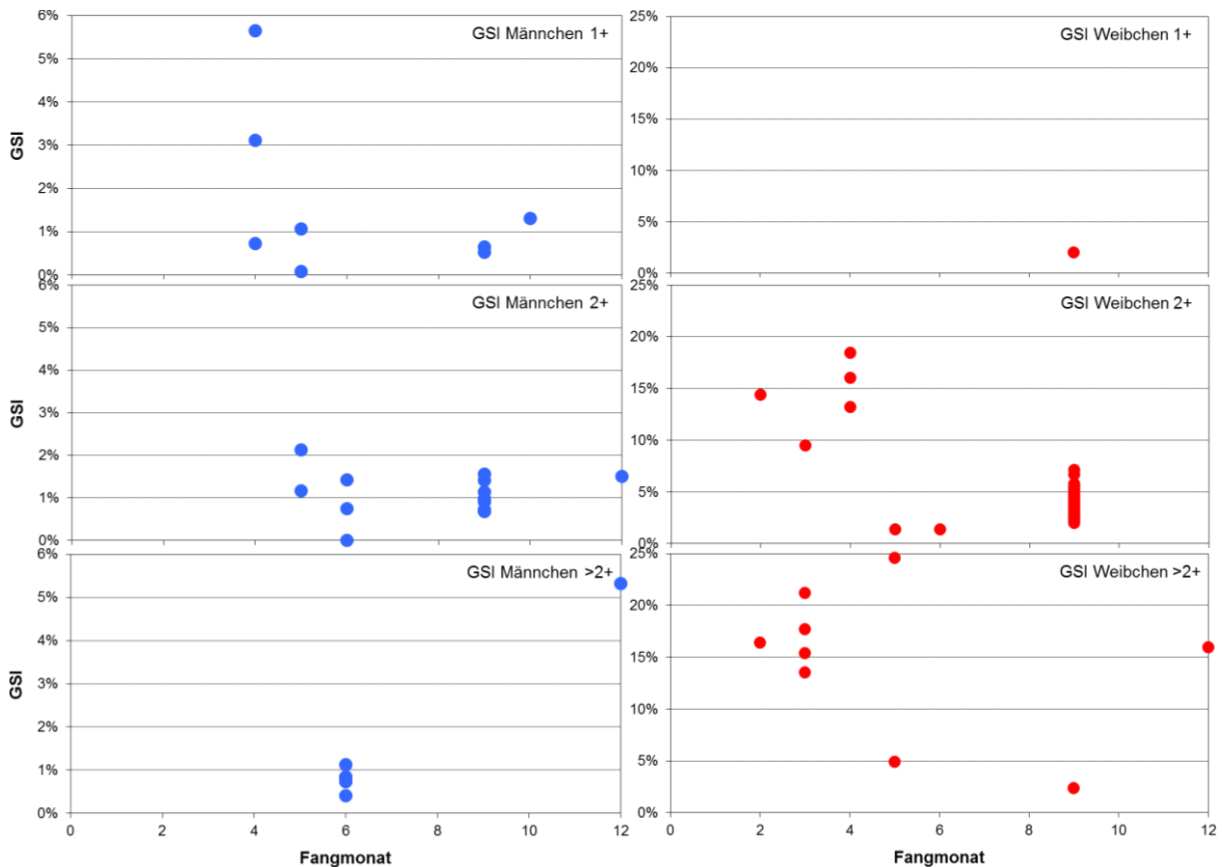


Abb. 18 K-Faktor der Rotaugen des Staus Wettingen (2011-2012) im Vergleich mit denjenigen des Luganersees im Jahr 1999 (Daten: GUTHRUF 2003), nach Altersklassen und Fangmonaten getrennt.

## 5.8. Gonadosomatischer Index

Der Gonadosomatische Index (GSI, Anteil Gonaden am Körpergewicht) beschreibt die Gonadenentwicklung im Jahreszyklus und liefert damit einen Anhaltspunkt über den Zeitpunkt des Ablachens. In allen Altersklassen und bei beiden Geschlechtern sind von Januar bis April hohe GSI feststellbar. Mit Ausnahme eines schwer verletzten Weibchens wiesen im Mai alle Rotaugen tiefe GSI auf (Abb. 19). Daraus lässt sich ableiten, dass die Laichzeit der Rotaugen im Stau Wettingen Ende April – Anfang Mai stattgefunden hat. Eine nähere Eingrenzung der Laichzeit erfolgt in Kapitel 5.10.1. Die Ergebnisse deuten zudem darauf hin, dass der Aufbau der Gonaden im Wesentlichen in den Herbst- und Wintermonaten erfolgt. Im September waren die Gonadengewichte ohne Ausnahme tief. Auch im Luganersee konnten reife und unreife Tiere erst ab dem Oktober unterschieden werden, da der grösste Teil des Gonadenwachstums erst ab diesem Monat erfolgte (GUTHRUF 2003).

Der GSI liefert, insbesondere bei den Weibchen, auch Anhaltspunkte über die Fekundität der Tiere: Einige der untersuchten Weibchen hatten ausserordentlich grosse Gonaden, welche im Maximum 25% des Körpergewichts ausmachten. Bei einigen der Weibchen, auch bei 2+-Tieren, lag der GSI im Bereich von 20% des Körpergewichts (Abb. 19). Im Luganersee konnten auch Weibchen mit einem GSI um 25% nachgewiesen werden (GUTHRUF 2003). Untersuchungen im Aydat-See in Frankreich ergaben ähnlich hohe GSI-Werte wie im Stau Wettingen. Auch der Jahreszyklus verlief ähnlich (JAMET & DESMOLLES 1994).



**Abb. 19** Gonadosomatischer Index (Anteil Gonaden am Körpergewicht) der Rotaugen im Stau Wettingen nach Geschlecht, Altersklasse und Fangmonat getrennt.

### 5.9. Uferbeschaffenheit

68% der gut 15 km langen Uferlinie war mit Bäumen bestockt (bewaldet). In diesen Abschnitten lag teils natürlicherweise, teils durch Fällen von Bäumen (Raubäume), viel Totholz im Wasser. Mit Röhricht (vor allem Schilf) bewachsene Ufer machten 18% aus. Dem Röhricht vorgelagert lag oft eine Flachwasserzone (30% der Uferlinie). Die bewaldeten Uferabschnitte gingen meist in ein Steilufer über (54% der Uferlinie), wiesen aber oft auch eine schmale Flachwasserzone (1-2 m breit) auf. Weitere Ergebnisse der Uferkartierung finden sich im Anhang (Kapitel 10.1.2).

Die Flachwasserzonen waren zur Zeit der Kartierung Mitte Mai noch kaum mit Wasserpflanzen bewachsen. Auffällig war das stellenweise flächige Vorkommen fädiger Algen.

**Da Angaben von früher fehlen, sind Aussagen über die zeitliche Veränderung der Biologie der Rotaugen (Altersaufbau, Wachstum, Reife, Kondition) nicht möglich.**

## 5.10. Fortpflanzung

### 5.10.1. Bestimmung der Laichzeit

Die Laichzeit der Rotaugen muss bekannt sein, um gezielte Untersuchungen über mögliche Rotaugenlaichplätze durchführen zu können. Aus diesem Grund wurde der Zeitpunkt der Laichzeit für die Jahre 2011 und 2012 nach verschiedenen Methoden eingegrenzt:

- Literaturstudium: Variabilität der Laichzeit,
- Literaturstudium: Temperaturen bei Beginn des Laichverhaltens,
- Reifegrad von Rotaugen aus dem Stau Wettingen (rückwirkend),
- Beobachtung von Laichausschlag bei gefangenen Rotaugen (rückwirkend),
- Rückberechnung der Laichzeit anhand des Entwicklungszustands von Larven bzw. Juvenilen.

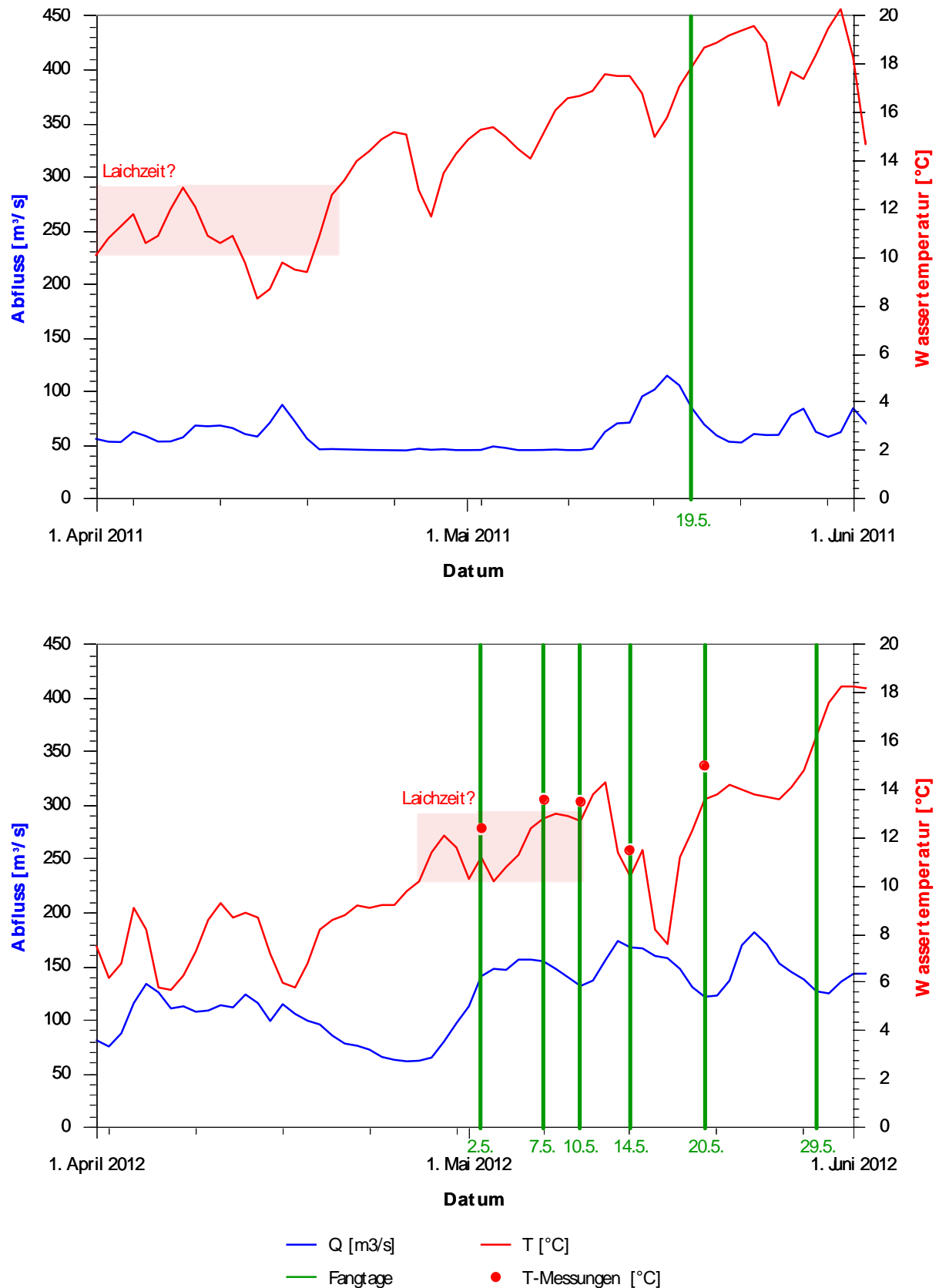
Die Laichzeit der Rotaugen liegt gemäss den meisten Literaturangaben in den Monaten April und Mai (Tab. 3). Als Schwellenwert für die Wassertemperatur werden oft 10°C oder 12°C genannt. Die Entwicklungszeit beträgt etwa 12 Tage. Die einzigen uns bekannten Entwicklungszeiten, die in Tagesgraden (°T) angegeben werden, betragen 80–120°T (Laboruntersuchungen, HERZIG & WINKLER 1985) bzw. 140–160°T (Felderhebungen Luganersee, GUTHRUF 2003).

**Tab. 3 Literaturangaben zu Laichzeit, Wassertemperatur und Entwicklungszeit bei Rotaugen.**

Gewässer	Laichzeit	Wassertemperatur [°C]	Entwicklungszeit [°T]	Quelle
<b>Generell</b>	April–Mai	>10	80-120	HERZIG & WINKLER 1985
<b>Generell</b>	April–Mai	>12	–	KOTTELAT ] FREYHOF 2007
<b>Generell</b>	April–Juni	>12	–	MAITLAND & CAMPELL 1992
<b>Generell</b>	April–Mai	>10	–	MUUS & DAHLSTRÖM 1990
<b>Generell</b>	April–Juni, meist Ende April/Anfang Mai	>12	–	PATZNER et al. 1996
<b>Generell</b>	–	>10	–	ZAUGG et al. 2003
<b>Genfersee</b>	Mitte Mai– Mitte Juni	>15	–	GILLET & DUBOIS 1995
<b>Luganersee</b>	Ende April–Anfang Mai	13–15	140-160	GUTHRUF 2003
<b>Zugersee</b>	Mitte April– ca. 10. Mai	>12	–	BONFIGLIOLI 1997

Aufgrund der Entwicklung der Wassertemperatur gemäss der BAFU-Messstation in Baden und den Angaben zur notwendigen Wassertemperatur in Tab. 3 konnte die ungefähre Laichzeit hergeleitet werden (Abb. 20). Im Jahre 2011 stiegen die Wassertemperaturen deutlich früher an als 2012. Die Laichzeit der Rotaugen fand demnach vermutlich Anfang bis Mitte April, im Jahr 2012 vermutlich erst Ende April bis Anfang Mai statt.

Die 4 Rotaugen aus dem Netzfang vom 17. April 2012 waren alle laichreif. Die beiden Männchen zeigten aber noch keinen Laichausschlag. Demnach wäre die Laichzeit für frühestens Ende April zu erwarten gewesen, was gut mit der hergeleiteten Laichzeit übereinstimmt.



**Abb. 20** Entwicklung des Abflusses und der Wassertemperatur in den Jahren 2011 (oben) und 2012 (unten) im Stau Wettingen. Angabe der ungefähren Laichzeit und der Tage an denen im ganzen Stau *Jungfische kartiert* (2011) wurden bzw. an denen kombinierte Laichplatz- und Larvenkartierungen stattfanden (2012)

Ein weiteres laichreifes Rotaugenweibchen wurde am 22. Mai 2012 mit dem Netz gefangen. Dieses Weibchen wies allerdings eine schwere Verletzung auf (Abb. 21). Die Verwendung dieses Fisches zur Eingrenzung der Laichzeit ist daher nicht sinnvoll.



Abb. 21 Verletztes Rotaugenweibchen, Foto J. Guthruf.

### 5.10.2. Laichplätze

Die typischen Laichplätze von Rotaugen sind seichte, gut strukturierte Flachufer (z. B. Wasserpflanzen, Totholz, Steinblöcke) mit geringer Strömung (GUTHRUF 2006). Als potenziell geeignete Ufer wurden im Stau Wettingen Abschnitte mit einer Beschaffenheit der Uferlinie mit Bewuchs und Totholz sowie die Bühnenabschnitte betrachtet. Potenziell optimale Ufer weisen zudem ein vorgelagertes Flachufer auf. Demnach wiesen 28% der Ufer optimales und 65% geeignetes Laichhabitat auf (Abb. 22).

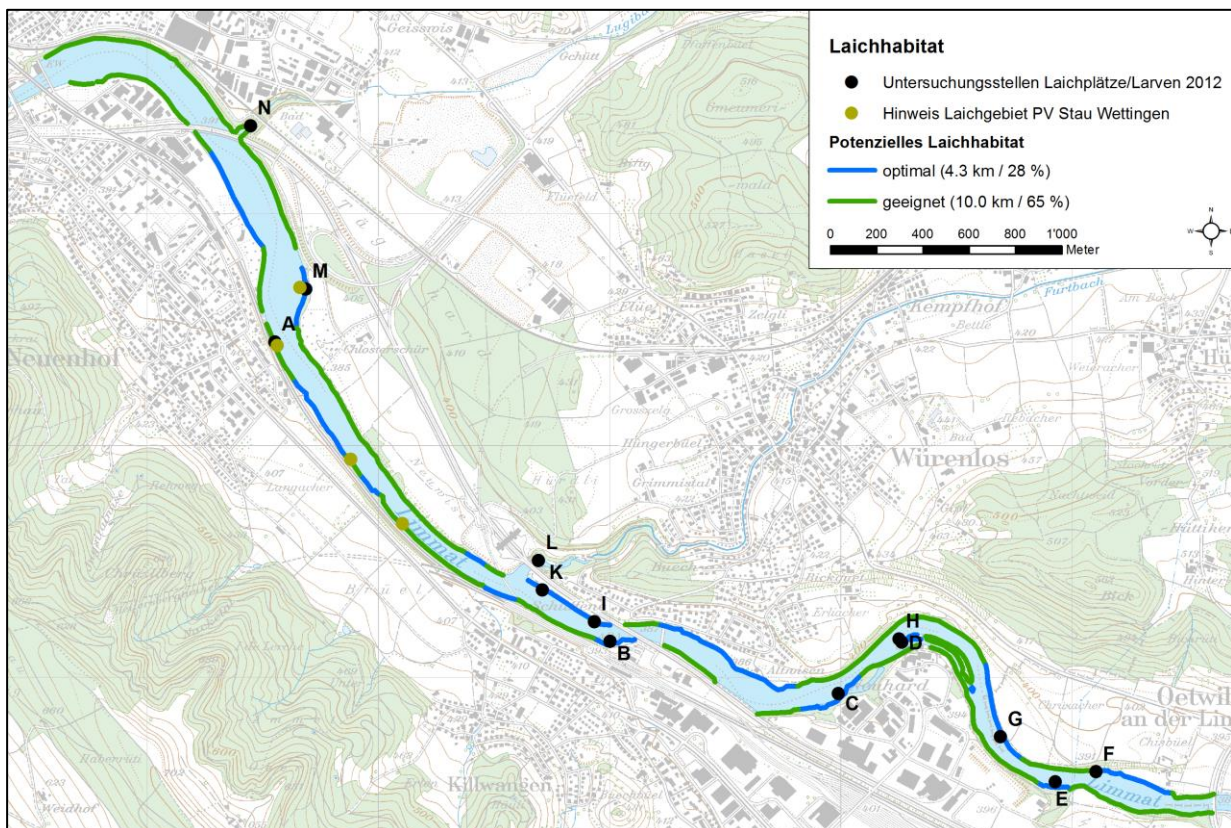


Abb. 22 Abb. 2: Vorkommen von potenziellem Laichhabitat für Rotaugen im Stau Wettingen, Lage der Untersuchungsstellen für die Laichplatz- und Larvenkartierung (A–N) sowie Hinweise der Pachtvereinigung Stau Wettingen auf potenzielle Laichgebiete.

Die Suche nach Laichplätzen und laichenden Rotaugen erfolgte im Jahre 2012. Die Fischer hielten bereits ab ca. Mitte April Ausschau nach laichenden Rotaugen. Anfang Mai startete eine einmonatige intensive Suche an 13 als potenzielles Laichhabitat eingestuften ca. 50 m langen Uferabschnitten. Es wurden aber weder laichende Rotaugen noch Eier von Rotaugen oder anderen Fischarten gefunden.

## 5.11. Larven und erste Juvenilstadien

### 5.11.1. Schlupfzeit der Larven

Basierend auf den Wassertemperaturen gemäss der BAFU-Messstation in Baden und den Angaben in Tab. 3 konnte die ungefähre Schlupfzeit der Rotaugenlarven hergeleitet werden (Tab. 4).

**Tab. 4 Eingrenzung der Schlupfzeiten der Rotaugen in den Jahren 2011 und 2012 aufgrund verschiedener Szenarien für die minimale Wassertemperatur bei der Eiablage und für die Entwicklungszeit der Eier sowie aufgrund der Entwicklung der Wassertemperatur (Messstation Baden, Daten BAFU). Einzelmessungen der Wassertemperatur deuten darauf hin, dass die Wassertemperaturen im Stau Wettingen etwas höher waren als in Baden (Abb. 20). Die Schlupftermine wären demnach ein bis zwei Tage früher anzusetzen.**

Wassertemperatur [°C]	>10	>12	>13
Entwicklungszeit [°T]			
<b>2011</b>			
100	9. April	17. April	27. April
120	11. April	19. April	29. April
140	13. April	20. April	30. April
160	15. April	21. April	1. Mai
<b>2012</b>			
100	5. Mai	8. Mai	15. Mai
120	7. Mai	9. Mai	17. Mai
140	8. Mai	11. Mai	19. Mai
160	10. Mai	12. Mai	20. Mai

### Jahr 2011

Die ersten Cypriniden-Larven wurden am 9. Mai von einem Mitglied der Pachtvereinigung Stau Wettingen vor dem Schilfgürtel oberhalb der Fischerhütte Wettingen entdeckt. Es handelte sich um zwei Schwärme von etwa 50 und 15 Larven.

Am 19. Mai wurden an 11 Stellen im Stau Wettingen Larven gefunden (Abb. 23). Alle Stellen lagen mit einer Ausnahme oberhalb der Autobahnbrücke. Die Schwärme umfassten einige Hundert bis einige Zehntausend Individuen. Aufgrund der Körperlänge wurde das Alter der Larven seit dem Schlupf auf 1 – 2 Wochen geschätzt. An 3 Stellen wurden ca. 3–4 cm lange Juvenile beobachtet.

Die Bestimmung der Jungfische anhand morphologischer Merkmale ergab kein eindeutiges Resultat. Es war aber eine Eingrenzung auf die Arten Rotauge, Alet und Hasel möglich. Die



Larven wurden eher den Arten Alet oder Hasel, die Juvenilen eher den Arten Hasel oder Rotauge zugeordnet.

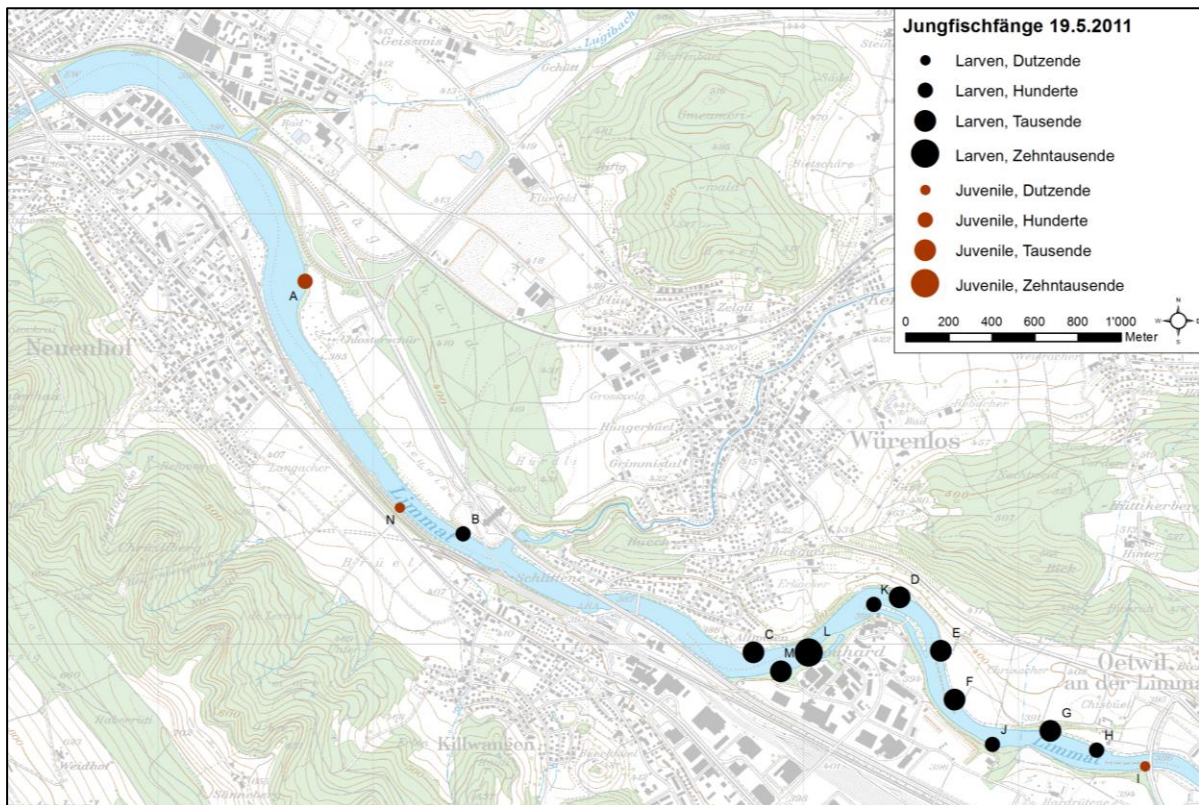


Abb. 23 Vorkommen von Fischlarven und Juvenilen (Länge 3–4 cm) im Stau Wettingen am 19.5.2011.

### Jahr 2012

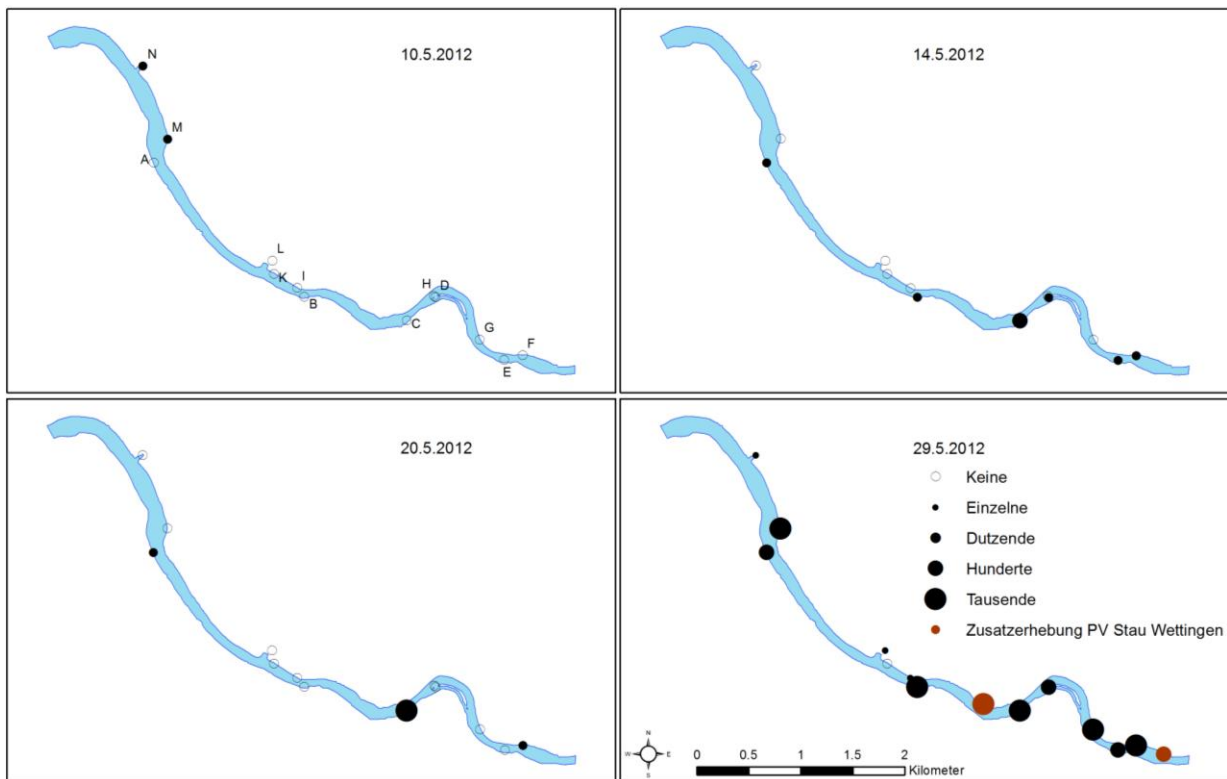
Am 2. und am 7. Mai wurden noch keine 0<sup>+</sup>-Fische beobachtet. Die ersten Larven wurden am 10. Mai in der Wettinger Bucht und oberhalb der Fischerhütte Wettingen gefunden (Abb. 24). Am 14. Mai wurden an 5 Stellen je einige wenige ca. 1 cm lange Einzellarven gefunden. Zusätzlich konnten beim Schleienloch und vor dem obersten linksufrigen Schilfgürtel erstmals je ein kleiner Cyprinidenschwarm beobachtet werden.

Am 20. Mai wurden nur noch in der Bühnenstrecke und beim Bootsplatz Oetwil Einzellarven gefunden. Beim Schleienloch wurde ein mehrere Tausend Larven umfassender Cyprinidenschwarm beobachtet. Ein einzelner juveniler Fisch fand sich im Bereich der Bühnenstrecke und ein kleiner Schwarm beim Bootsplatzes Oetwil (Längen je ca. 4 cm).

Am 29. Mai wurden an allen Stellen kleinere bis grössere Schwärme von 1–1.5 cm langen Larven beobachtet. Die Larvenhäufigkeit nahm gegenüber dem 20. Mai deutlich zu. Wie bereits 2011 schien es, dass im oberen Teil (oberhalb des Schleienlochs) deutlich mehr Larven lebten, als im unteren Staubereich.

Nach Aussage von A. Bolliger nahm die Larvenhäufigkeit in den folgenden Wochen ab. Wie in früheren Jahren konnten aber bis in den September hinein viele Larven und Juvenile beobachtet werden.

Die genetischen Analysen zur Artbestimmung konnten lediglich für zwei Einzellarven erfolgreich durchgeführt werden (KLÄFIGER & SALZBURGER 2012)<sup>3</sup>. Es handelte sich je um einen Hasel von den Stellen "Wettinger Bucht" und "Fischerhütte Wettingen" vom 10. Mai. Die übrigen Proben vom 10. und vom 14. Mai konnten nicht sicher identifiziert werden.



**Abb. 24** Ergebnisse der Fischlarvenkartierung im Stau Wettingen vom Mai 2012. An den ersten beiden Erhebungstagen (2./7. Mai) wurden keine Larven gefunden.

### 5.11.2. Interpretation der Ergebnisse

Gemäss der Entwicklung der Wassertemperatur hätten Rotaugenlarven 2011 spätestens Ende April auftreten müssen (Tab. 4). Der erste Nachweis von Fischlarven datierte aber erst vom 9. Mai. Bei den am 19. Mai kartierten, zehntausenden, 1-2 Wochen alten Larven (Abb. 23) dürfte es sich demnach eher nicht um Rotaugen gehandelt haben.

Im Jahre 2012 waren die ersten Rotaugenlarven frühestens zu Beginn des Monats Mai zu erwarten (Tab. 4). Die intensive, aber bei weitem nicht lückenlose Kartierung von 0<sup>+</sup>-Fischen zeigte, dass die ersten Larven erst am 10. Mai erschienen (Abb. 24). Gemäss der genetischen Artbestimmung handelte es sich bei zwei dieser Larven um Hasel, die im Allgemeinen früher laichen als die übrigen Cypriniden (Februar–April; MAITLAND & CAMPBELL 1992).

Typische Larvenschwärme von Cypriniden wurden am 14. Mai erstmals gefunden. Ihr Schlupftermin lag vermutlich um den 10. Mai. Er fällt somit in den Zeitrahmen der hergeleiteten Schlupfzeit der Rotaugen Anfang bis Mitte Mai.

<sup>3</sup> Der Grund dürfte in der geringen Menge an DNA liegen, die aus den Larven (<16mm) extrahiert werden konnten. Möglicherweise waren die Larven auch nicht ausreichend gut konserviert.

Die meisten Larven wurden am 29. Mai gefunden. Sie waren 10–15 mm lang und somit maximal eine Woche alt. Aufgrund der Entwicklung der Wassertemperatur dürfte der letzte mögliche Schlupftermin der Rotaugenlarven um den 20. Mai gelegen haben. Insofern ist die Wahrscheinlichkeit eher gering, dass es sich bei den beobachteten Larven um Rotaugen gehandelt hat.

Leider waren die morphologischen und genetischen Artbestimmungen nicht eindeutig. Sie scheinen aber den Befund zu bestärken, dass es sich bei den 2011 und 2012 beobachteten Larven nicht oder nur zu einem kleinen Teil um Rotaugen gehandelt hat.

## **5.12. Anteil der Rotaugen am Jungfischbestand, räumliche Verteilung**

### **5.12.1. Vergleich der Uferbefischungen mit den Anglerfängen (Fangstatistik)**

Auch wenn der Nachweis einer erfolgreichen natürlichen Fortpflanzung der Rotaugen im Stau Wettingen zwischen der Brücke Oetwil und dem Stauwehr in Wettingen weder im Jahr 2011 noch im Jahr 2012 erbracht werden konnte, so zeigen die Ergebnisse der Larvenkartierung, dass der Stau Wettingen bereits im Mai-Juni, also sehr kurz nach der Laichzeit von Rotaugen im Larven- und im frühen Juvenilstadium bewohnt wird. Allerdings war der Rotaugenanteil mit einem von insgesamt 38 bestimmbareren Tieren in dieser Jahreszeit noch sehr gering (KLÄFIGER & SALZBURGER 2013).

Im Rahmen der Uferbefischungen von Juli bis September war der Rotaugenanteil bedeutend höher. Im Mittel über alle Strecken und Befischungsdaten lag er bei rund 15% (Abb. 25).

In der Summe aller Strecken ist der Alet mit Abstand die häufigste Art, gefolgt von Gründling, Rotauge, Barbe, Laube, Hasel und Bitterling. Vor allem der relativ hohe Anteil des in der Roten Liste als stark gefährdet aufgeführten, beim Ablichten auf Grossmuscheln angewiesenen Bitterlings ist sehr erfreulich. Die Art kam im Wesentlichen an einer eng umgrenzten Stelle in sehr hoher Dichte vor, nämlich im Wasserschilfbestand beim Bootsplatz Oetwil. Dieses Habitat ist unter allen Umständen zu erhalten.

Zahlreiche der bei den Uferbefischungen gefangenen Arten fehlen in der Fangstatistik, da sie fischereilich bzw. kulinarisch nicht von Belang sind. Dazu gehören Bitterling (für den gemäss Verordnung zum Bundesgesetz über die Fischerei Art. 2a ein Fangverbot gilt), Blicke, Elritze, Laube, Schneider, Schmerle (Abb. 25). Die Trüsche fehlt in den Fängen, obwohl sie eine beliebte Speisefischart ist. Ihr Fehlen im Fang dürfte an der Seltenheit der Art, kombiniert mit der sehr spezifischen Fangmethode zusammenhängen.

Brachsmen sind in den Anglerfängen mit rund 3% vertreten, obwohl sie wegen ihres grätenreichen Fleisches nicht sehr geschätzt werden. Im Gegensatz dazu fehlten Brachsmen in den Uferbefischungen vollständig, was damit zusammenhängen dürfte, dass junge Brachsmen in Stauhaltungen bereits in einem sehr frühen Entwicklungsstadium in grössere Tiefen abwandern (MATENA 1995).

Das Rotauge ist in den Anglerfängen stärker vertreten als in den Uferbefischungen, ein Hinweis, dass die Art gezielt befischt wird. Auch die Tatsache, dass Rotaugen zwischen 1996 und 2006 besetzt wurden, deutet in diese Richtung. Fischereilich interessante Arten wie Hecht, Flussbarsch, Bachforelle, Karpfen und Schleie sind stärker in den Anglerfängen vertreten als in den Uferbefischungen (Abb. 25).

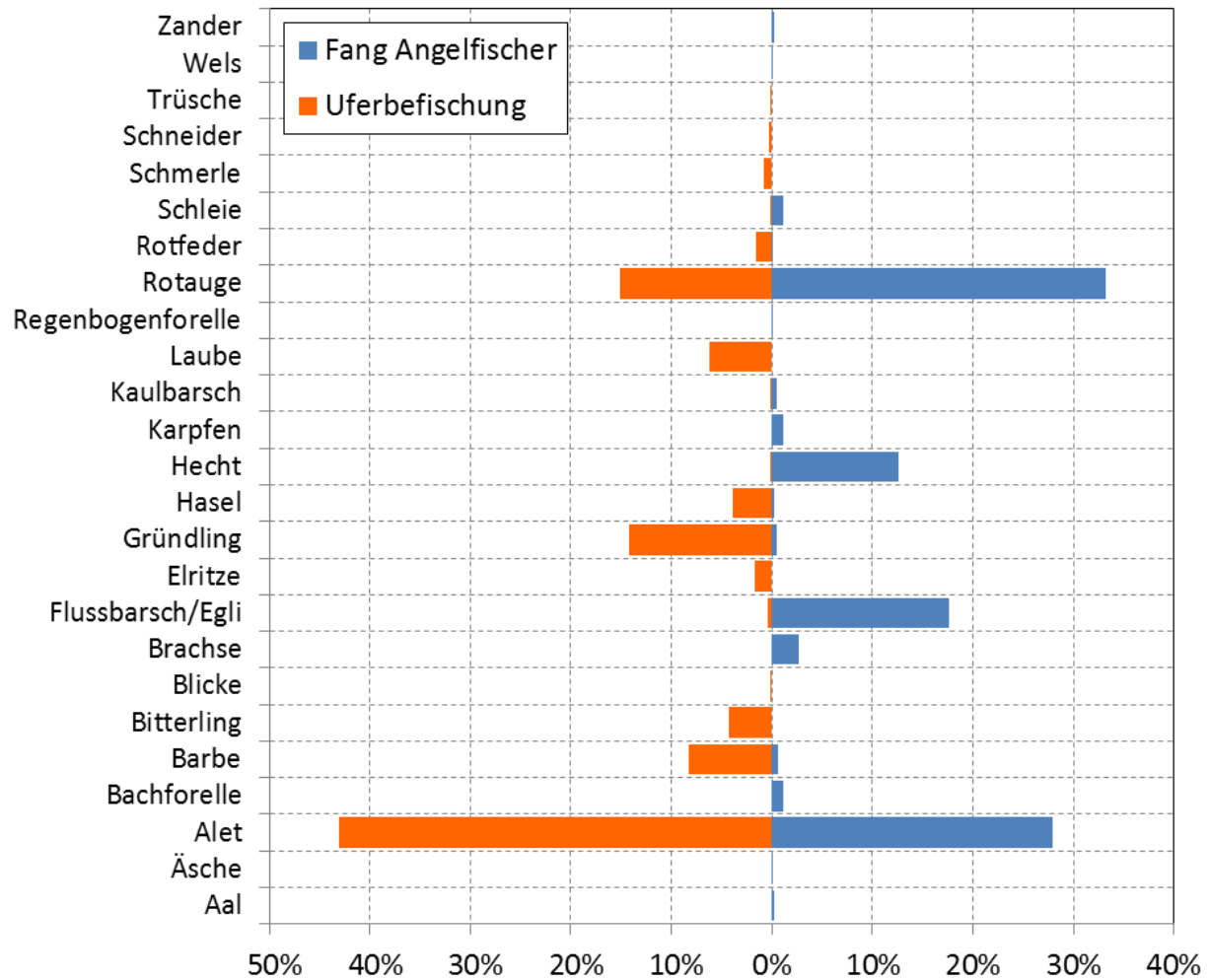


Abb. 25 Prozentanteile der Fischarten an den Uferbefischungen (links) und an den Anglerfängen im Revier 22 von 2006-2010 (rechts).

### 5.12.2. Artenzusammensetzung und Fangzahlen mit den eingesetzten Fanggeräten

Die Fängigkeit der eingesetzten Geräte war unterschiedlich: Am meisten Arten wurden mit dem Elektrofänger gefangen (17), gefolgt vom Senknetz (12) sowie den Fischfallen und dem Fangboot mit je 10 Arten (Abb. 26). Mit dem Elektrofänger wurden auch am meisten Fische gefangen, gefolgt von den Jungfischfallen, Senknetz und Fangboot (Abb. 26). Dabei ist zu erwähnen, dass das Fangboot nur einmal eingesetzt wurde, während mit den Jungfischfallen und dem Elektrofänger an 4 Daten und mit dem Senknetz an 3 Daten gefischt wurde.

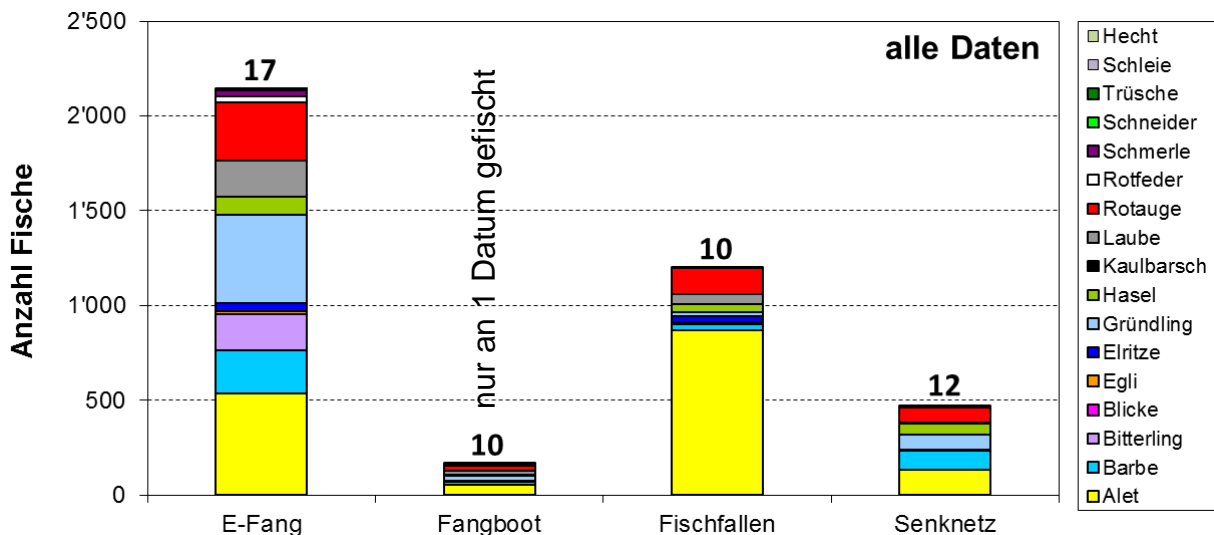


Abb. 26 Mit den 4 angewendeten Fangmethoden erfasste bestimmbare Fische aufgeteilt nach Fischarten. Zahlen über den Säulen: Anzahl erfasste Fischarten. Daten: Uferbefischungen 2011 und 2012.

### 5.12.3. Räumliche Verteilung der Fischarten bei den Uferbefischungen

Während in der obersten Strecke bei Oetwil 5 Arten (Rotaugen, Alet, Bitterling, Barbe, Gründling) mit jeweils über 10% an der Artenzusammensetzung beteiligt waren, dominierte in der mittleren (Schleienloch) und der unteren Strecke (Neuenhof) klar der Alet. In beiden Strecken erreichten lediglich zwei bzw. drei Arten Anteile von mehr als 10% (Abb. 27).

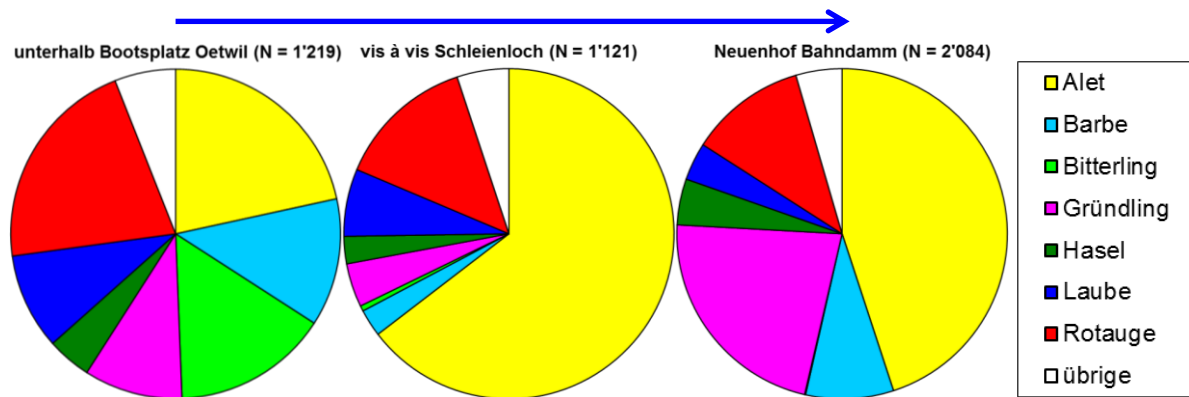
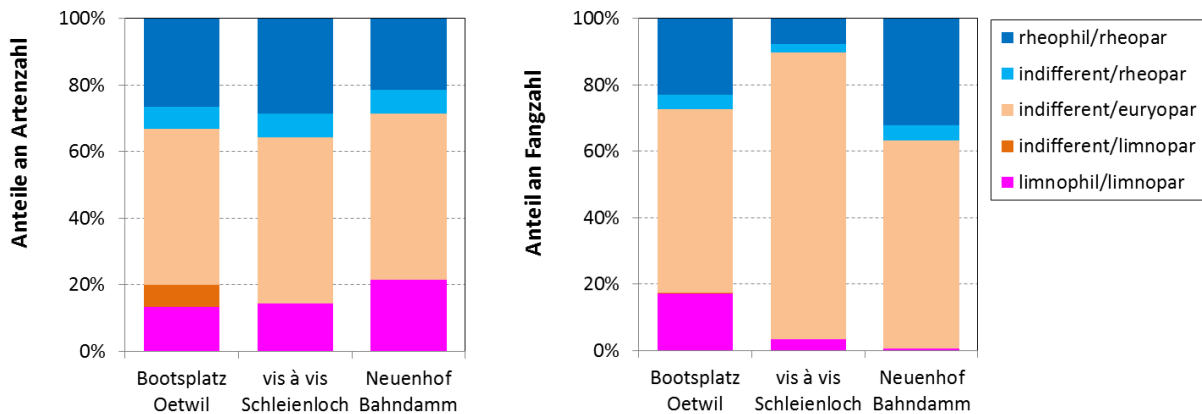


Abb. 27 Artenzusammensetzung bei den Uferbefischungen. Summe der Befischungen am 4.7.2011, 10.8.2011, 12.9.2011 (E-Boot Kanton SG), 14.9.2011 und am 13.8.2012. Blauer Pfeil: Fliessrichtung Limmat.

Die Abnahme des Rotaugen-Anteils in Fliessrichtung (21% in Oetwil, 14% beim Schleienloch und 11% bei Neuenhof,) könnte für eine Einwanderung der Rotaugen von oben sprechen. Aber auch Unterschiede der drei Strecken hinsichtlich der Habitateignung für Rotaugen könnten für den Gradienten verantwortlich sein. In der Strecke Oetwil war die Ausbreitung der submersen Wasserpflanzen mit Abstand am grössten, dem Habitateyp in dem die meisten Rotaugen gefangen wurden. Die Abwägung, ob eher eine Besiedlung von oben oder eher eine Habitatspezifität für den Gradienten verantwortlich ist, erfolgt in Kapitel 6.6.

#### 5.12.4. Zugehörigkeit der Fische zu den Strömungsgilden (Uferbefischung)

Die Zugehörigkeit der gefangenen Fischarten zu den Strömungsgilden charakterisiert das Gewässer klar als Stauhaltung: Selbst in der obersten, relativ strömungsreichen Strecke dominieren indifferente Arten, welche sowohl bei fliessendem als auch bei stehendem Wasser laichen und überleben können. Dabei handelt es sich um Ubiquisten wie Alet, Rotauge, Flussbarsch und Laube (Abb. 28).



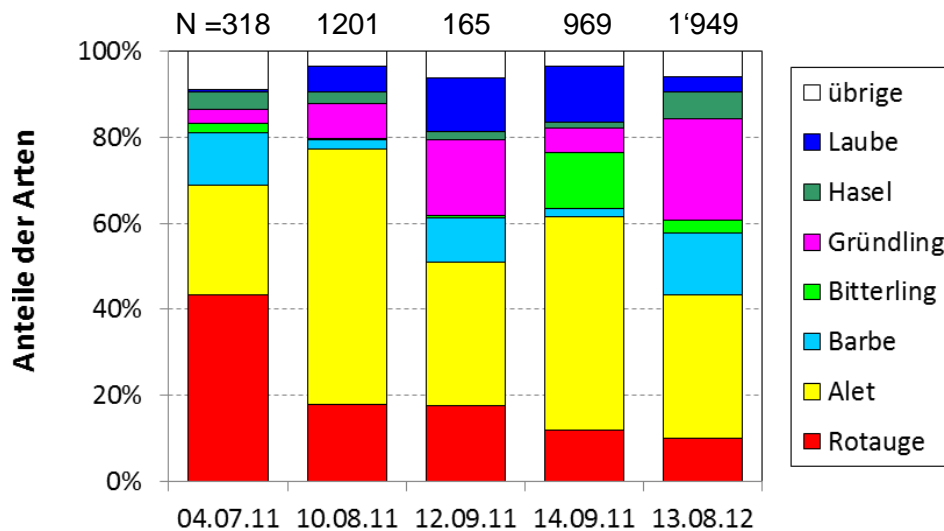
**Abb. 28** Zugehörigkeit der bei den Uferbefischungen erfassten Fischarten zu den Strömungsgilden (ZAUNER & EBERSTALLER 1999a). Links: Anteile an Artenzahl, rechts: Anteil an Fangzahl. Datengrundlage: siehe Abb. 27.

Die strömungsliebenden typischen Flussfischarten sind hinsichtlich der Artenzahl, besonders aber hinsichtlich der Fangzahl in der Minderheit. Weder der Anteil der Flussfischarten an der Fangzahl noch derjenige an der Artenzahl nimmt erwartungsgemäss in Fliessrichtung ab. Es ist anzunehmen, dass der relativ hohe Anteil strömungsliebender Arten auf der untersten Strecke auf die Uferrevitalisierung zurückzuführen ist, bei der kleine Buhnen mit Totholz eingebracht wurden, ergänzt durch Kiesschüttungen zwischen den Buhnen.

Erwähnenswert an der obersten Strecke (Oetwil) ist der hohe Anteil an limnophilen Arten, welche für sämtliche Lebensstadien stehendes oder nur sehr langsam fliessendes Wasser bevorzugen (Abb. 28). Bitterling, Rotfeder und Schleie gehören dieser Gruppe an. Der hohe Anteil ist primär auf das grosse Vorkommen an Bitterlingen zurückzuführen, welche eine enge Lücke im umfangreichen Wasserschilfbestand unterhalb des Bootsplatzes bewohnen.

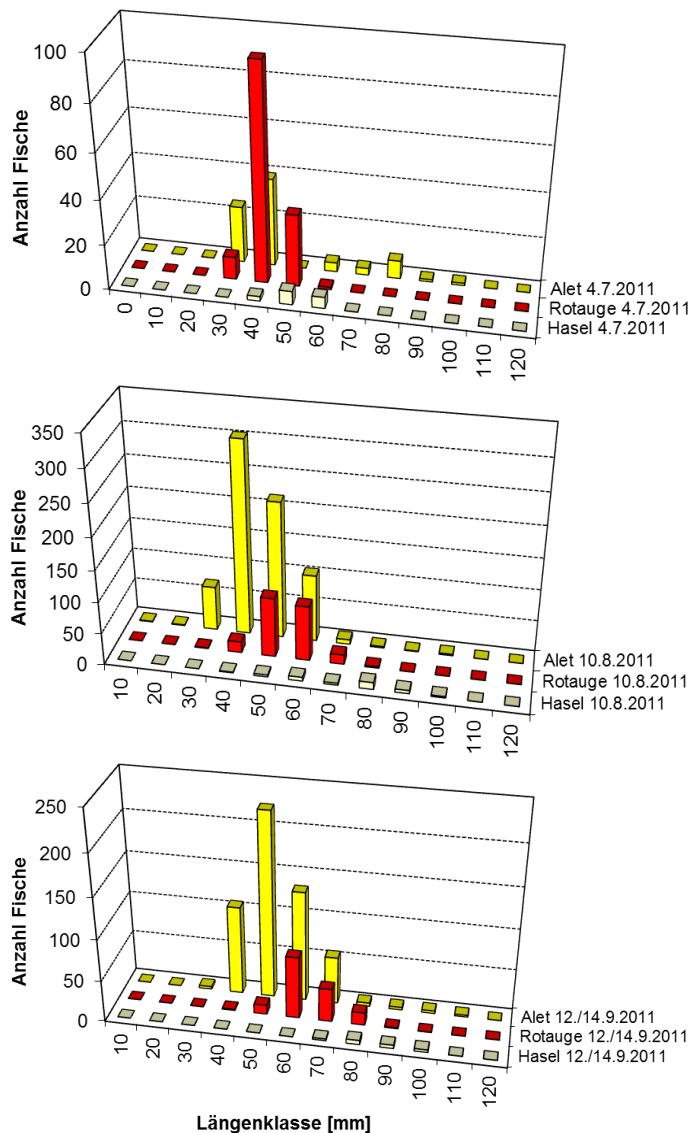
#### 5.12.5. Zeitliche Veränderung der Artenzusammensetzung (Uferbefischung)

Am ersten Befischungsdatum im Juli 2011 war der Anteil der Rotaugen mit 43% sehr hoch. In der Folge nahm der Rotaugenanteil bis im September kontinuierlich auf 12% ab (Abb. 29). Gleichzeitig nahm der Aletanteil zu. Diese Entwicklung lässt sich durch die Grössenverhältnisse und das Wachstum der beiden Arten erklären: Am 4.7.2011 befanden sich sowohl ein Teil der Rotaugen als auch der Alet im Längenbereich um 30 mm, der mit den angewandten Fangmethoden nicht erfasst bzw. im Feld nicht auf die Art bestimmt werden konnte (Abb. 30). Bereits am 10. August waren alle Rotaugen diesem Längenbereich entwachsen, während beim Alet immer noch ein beachtlicher Anteil auf diesen Längenbereich entfiel. Selbst Mitte September gehörten einige Alet diesem Längenbereich an. Das bedeutet, dass während der Untersuchungsperiode dauernd junge Alet in den methodisch erfassbaren Längenbereich hineinwuchsen und so den Rotaugenanteil verminderten. Dieser Umstand dürfte auf die spätere und länger dauernde Laichzeit des Alet im Stau Wettingen zurückzuführen sein. Auch in Stauhaltungen ist der Alet im Gegensatz zum Rotauge als Mehrfachlaicher bekannt (HLADIK & KUBECKA 2003).



**Abb. 29** Artenzusammensetzung der im Rahmen der Uferbefischungen 2011 und 2012 erfassten Fische. Zahl der auf die Art bestimmbaren Fische (N) getrennt nach Befischungsdaten (X-Achse). Elektrofang, Senknetz, Jungfischfallen; Ausnahme 12.9.2011: Befischung mit Fangboot.

Am 13. August 2012 wurde erneut eine Uferbefischung durchgeführt, bei welcher aber der Rotaugenanteil nur etwa  $\frac{2}{3}$  des Vorjahreswertes erreichte (Abb. 29). Dies spricht für einen im Vergleich zum Vorjahr schwächeren Bestand an jungen Rotaugen. Die strömungsliebenden Arten Barbe und Gründling erreichten hingegen bedeutend höhere Anteile als in der gleichen Zeit des Vorjahres.



**Abb. 30** Längenhäufigkeitsverteilung der bei den Uferbefischungen gefangenen Alet, Hasel und Rotaugen an drei verschiedenen Daten im Jahr 2012.

## 5.13. Vorkommen adulter Rotaugen und ihre Habitate

### 5.13.1. Rotaugen im Netzfang

Die Netzfänge unterlagen verschiedenen Randbedingungen, welche durch die Strömungsverhältnisse im Stau, die Befischung des Staus durch Angelfischer sowie durch den Freizeitbetrieb von Booten gegeben waren:

- Die Netze durften nicht in Zeiten oder an Orten mit zu starker Strömung gesetzt werden.
- Die Netze mussten in relativ grosser Tiefe gesetzt werden, so dass sich die Schiffsschrauben bzw. die von den Angelfischern verwendeten Schleppköder nicht in den Netzen verfangen.
- Zeitlich war die Setzdauer auf den Zeitraum zwischen der Abenddämmerung und dem folgenden Morgen begrenzt.

Die Einschränkung bezüglich der Fangorte hat zur Folge, dass sowohl für den stark strömenden Teil oberhalb der Autobahnraststätte, wie auch für alle Bereiche mit Tiefen von weniger als 3 m – und somit für den weitaus grösste Teil des Staus – keine Aussagen zum Vorkommen von Rotaugen möglich sind.



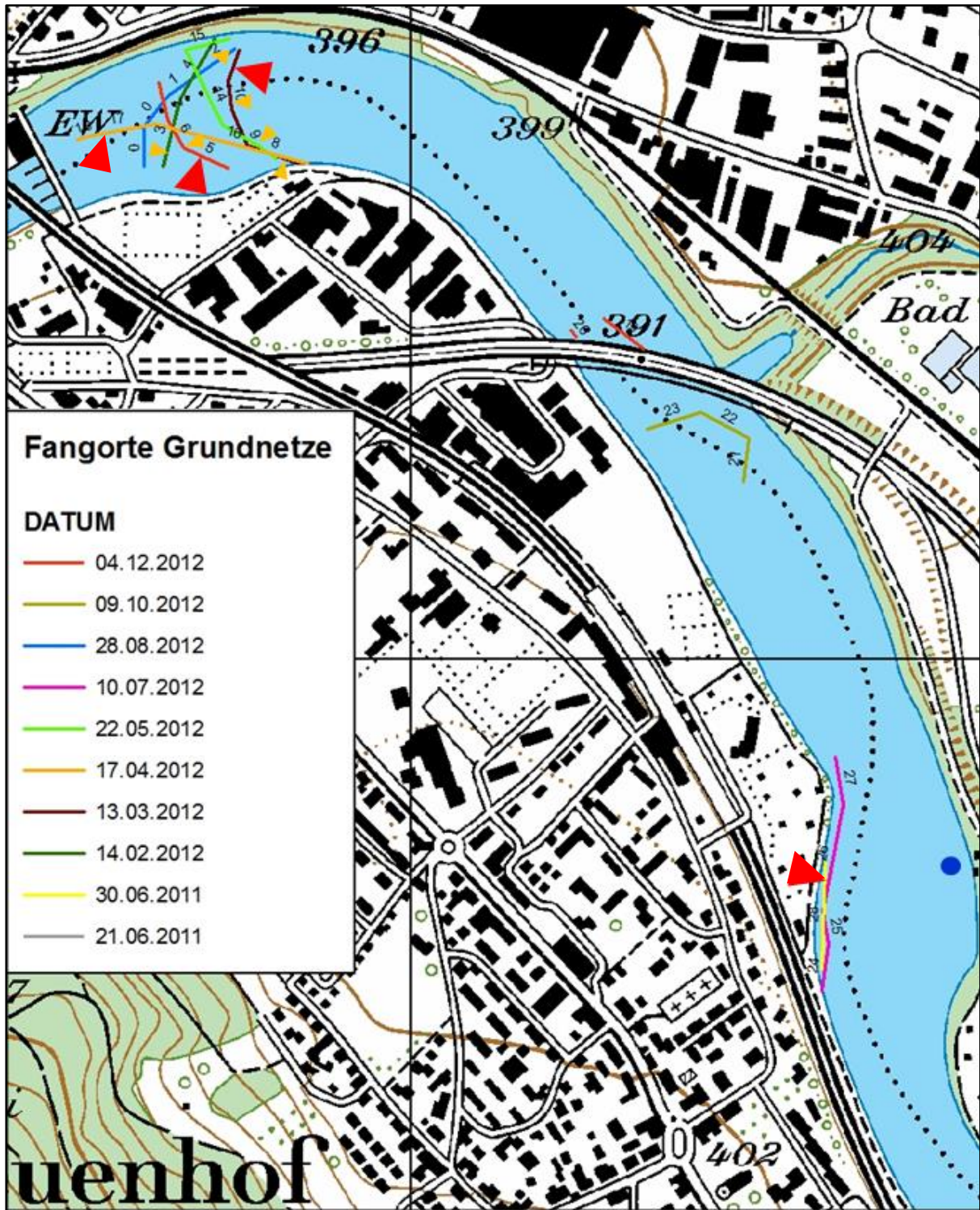


Abb. 31 Netz- und Anglerfänge im Stau Wettingen, unterer Teil. Linien: Position der Kiemennetze. Beginn und Ende der Netze wurde mit GPS eingemessen. Grosse rote Dreiecke: Netze, in denen mehr als 2 Rotaugen gefangen wurden. Kleine orange Dreiecke: Netze, in denen ein Rotauge gefangen wurde. Blaue Punkte: Ort der Anglerfänge gemäss Angaben der Angelfischer.

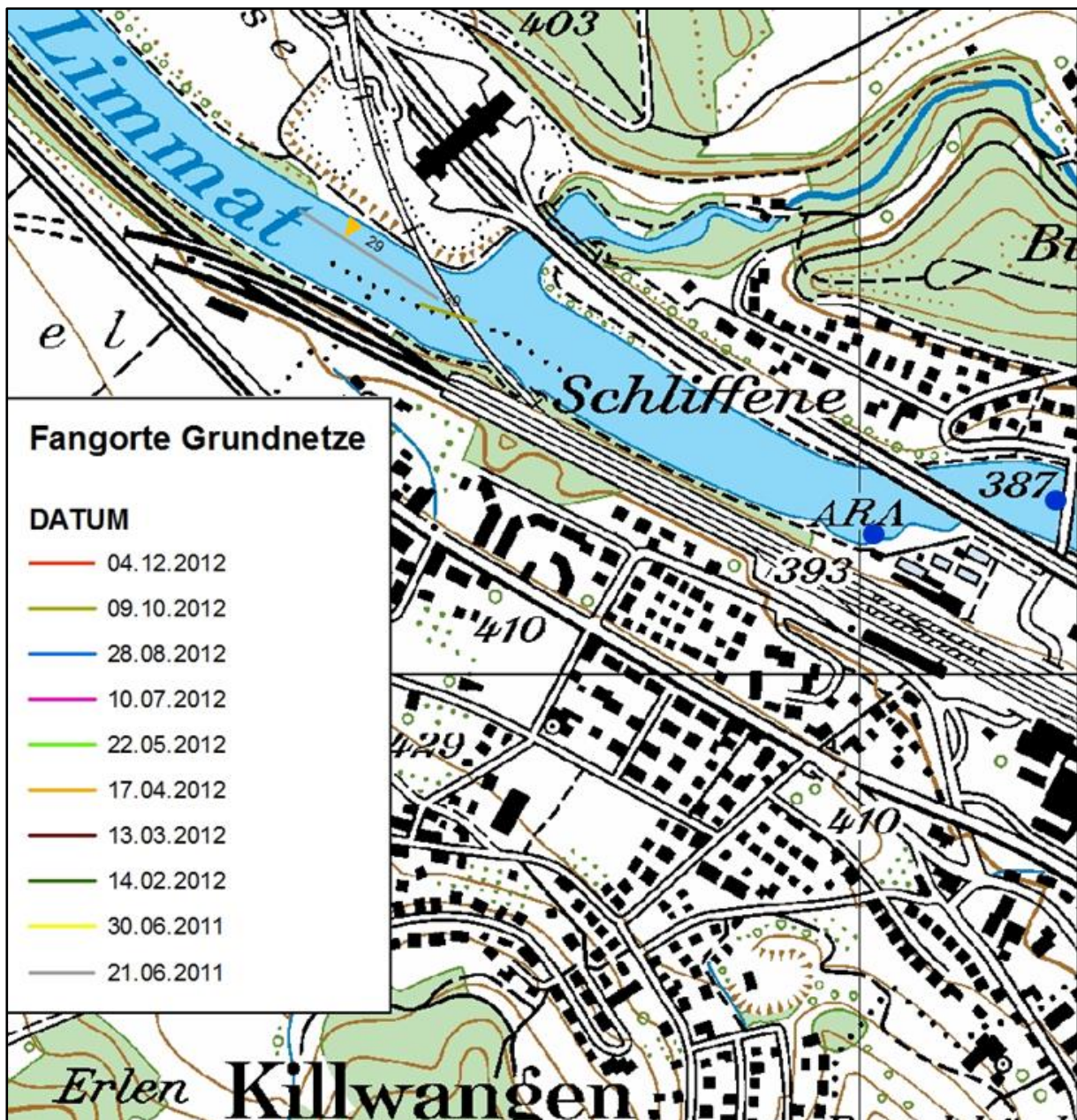


Abb. 32 Netz- und Anglerfänge im Stau Wettingen, oberer Teil. Linien: Position der Kiemennetze. Beginn und Ende der Netze wurde mit GPS eingemessen. Kleines rotes Dreieck: Netz, in dem ein Rotauge gefangen wurde. Blaue Punkte: Ort der Anglerfänge gemäss Angaben der Angelfischer.

Der unterste Teil des Staus wurde wegen der grossen Tiefe und wegen der geringen Strömung intensiv befischt (Abb. 31). Die Netze aus den Monaten Dezember bis April enthielten jeweils mehrere Rotaugen. Im Mai wurde in diesem Gebiet aber lediglich ein Rotauge gefangen. Im August waren die Netze leer.

Weiter flussaufwärts wurden deutlich weniger Netze gesetzt, da beispielsweise bei hohem Abfluss wegen der zu starken Strömung nicht gefischt werden konnte. Im Bereich der Autobahnbrücke oberhalb des Wehres (Abb. 31) wurden im Oktober und im Dezember 2 Sätze von Netzen gesetzt – ohne Erfolg. Am Prallufer unterhalb des Bahndammes bei Neuenhof wurden im Juni 2011 8 Rotaugen, im Juli 2012 an der gleichen Stelle keine Rotaugen gefangen.

Der oberste Fangort befand sich im Bereich der Eisenbahnbrücke bei Killwangen (Abb. 32). Dort wurden im Juni und im Oktober Netze gesetzt. Im Juni konnte ein Rotauge gefangen werden, im Oktober war der Fang erfolglos.

Die Fänge zeigen eine leichte Tendenz, dass die Rotaugen im Winterhalbjahr vermehrt im tiefen unteren Teil des Staus gefangen werden, während sie im Sommer häufiger mit den weiter flussaufwärts gesetzten Netzen gefangen werden. Die Fangzahlen sind aber derart klein, dass keine gesicherten Aussagen möglich sind.

### 5.13.2. Artenzusammensetzung

Im Rahmen der Netzfänge konnten insgesamt 131 Fische gefangen werden, welche 11 Arten angehörten (Tab. 5). Mit Abstand am häufigsten wurde der Flussbarsch /Egli gefangen, gefolgt vom Rotauge. Wie bereits nach der Fangstatistik der Angelfischer beurteilt, ist das Rotauge auch gemäss den Netzfängen eine der häufigsten Arten im Stau Wettingen. Weiter folgen Kaulbarsch, Rotfeder, Zander und Barbe. Fasst man Uferbefischungen und Netzfänge zusammen, so ist das Rotauge nach dem Alet die zweithäufigste Art, gefolgt von Gründling, Barbe und Laube.

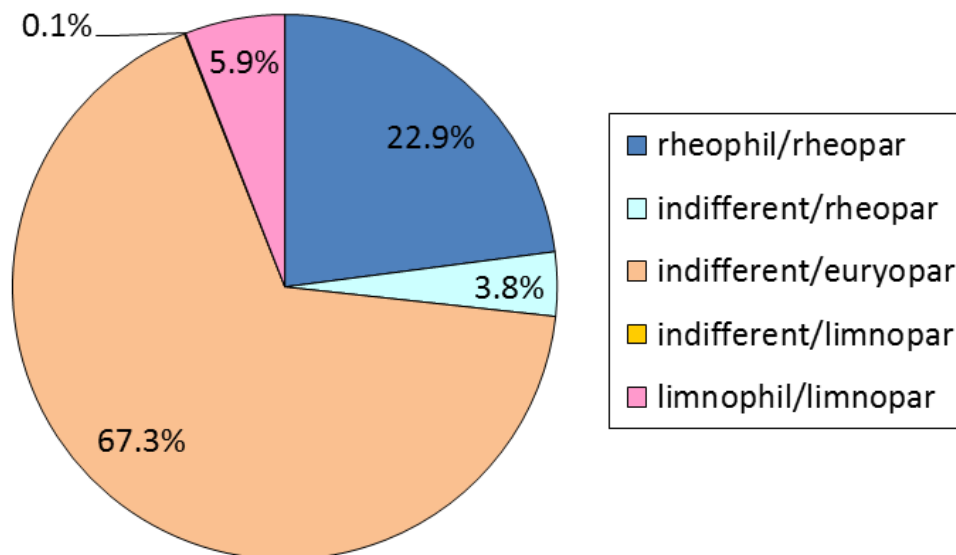
**Tab. 5 Artenliste Stau Wettingen. Grundlage: Uferbefischungen und Netzfänge. Ergänzende Angaben: Status Rote Liste (KIRCHHOFER et al. 2007): 2=stark gefährdet, 3=verwundbar, 4=potenziell gefährdet, NG=nicht gefährdet, ZN=zoogeografischer Neuling (ortsfremde Arten). Strömungsgilden (ZAUNER & EBERSTALLER 1999b): r/r=rheophil/rheopar, i/r=indifferent/rheopar, i/e=indifferent/euryopar, i/l=indifferent/limnopar, l/l=limnophil/limnopar.**

Arten	Rote Liste	Gilden	Uferbefischung 2011	Uferbefischung 2012	Netzfang 2011-12	Summe Ind.	Anteil an Total	Anteil an bestimmbar
Alet	NG	i/e	1'328	652	3	1'983	40.26%	41.87%
Bachforelle	4	r/r			2	2	0.04%	0.04%
Barbe	4	r/r	102	277	4	383	7.78%	8.09%
Bitterling	2	l/l	137	58		195	3.96%	4.12%
Blicke	4	i/e	3	3		6	0.12%	0.13%
Brachsmen	NG	i/e			1	1	0.02%	0.02%
Egli	NG	i/e	8	11	62	81	1.64%	1.71%
Elritze	NG	i/e	9	71		80	1.62%	1.69%
Gründling	NG	r/r	194	462		656	13.32%	13.85%
Hasel	NG	i/r	59	121		180	3.65%	3.80%
Hecht	NG	i/l	2	1		3	0.06%	0.06%
Karpfen	NG*	i/l			1	1	0.02%	0.02%
Kaulbarsch	NG	i/e	3		18	21	0.43%	0.44%
Laube	NG	i/e	220	67		287	5.83%	6.06%
Rotauge	NG	i/e	497	195	27	719	14.60%	15.18%
Rotfeder	NG	l/l	46	29	9	84	1.71%	1.77%
Schleie	NG	l/l		1		1	0.02%	0.02%
Schmerle	NG	r/r	34			34	0.69%	0.72%
Schneider	3	r/r	10	1		11	0.22%	0.23%
Sonnenbarsch	ZN	l/l			1	1	0.02%	0.02%
Trüsche	NG	i/e	1			1	0.02%	0.02%
Zander	ZN	i/e			6	6	0.12%	0.13%
unbestimmbar			119			119	2.42%	
Cypriniden				70		70	1.42%	
<b>Summe</b>			<b>2'653</b>	<b>1'949</b>	<b>134</b>	<b>4'925</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.00%</b>
<b>Artenzahl</b>			<b>16</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>22</b>		

### 5.13.3. Strömungsgilden

Die Einteilung in Strömungsgilden zeigt folgende Befunde:

- Es gibt eine klare Dominanz von Ubiquisten (Gilde *indifferent/euryopar*) wie Alet, Rotaugen und Egli, welche sowohl fließendes als auch stehendes Wasser besiedeln können. Sie bilden  $\frac{2}{3}$  der im Rahmen der Uferbefischungen und der Netzfänge gefangenen Fische (Abb. 33).
- Knapp ein Viertel der Fänge setzte sich aus strömungsliebenden Arten zusammen (Gilde *rheophil/rheopar*), welche zu den Kieslaichern gehören (Barbe, Gründling, Schneider, Bachforelle).
- Der Hasel gehört zur Gilde "*indifferent/rheopar*", deren Vertreter sowohl in fließendem wie auch in stehendem Wasser überleben können, zum Ablaichen aber auf fließendes Wasser angewiesen sind.
- 5.9% des erfassten Fischbestandes gehören der Gilde *limnophil/limnopar* an. Diese Artengruppe, zu der Bitterling, Rottfeder und Schleie gehören, ist auf stehendes oder sehr langsam fließendes Wasser angewiesen. Diese Arten laichen häufig auf Wasserpflanzen ab. Der Bitterling, der seine Eier in Grossmuscheln abgibt, in denen sie sich bis zur Larvenphase entwickeln, bildet diesbezüglich eine Ausnahme.
- Die Gilde "*indifferent/limnopar*" wird im Stau Wettingen nur durch eine Art repräsentiert, den Hecht. Dieser kann sowohl in Fließgewässern als auch in Seen leben, ist aber zum Ablaichen auf stehendes Wasser angewiesen. Er laicht bevorzugt auf Wasserpflanzen ab. Diese Gilde erreicht nur einen sehr geringen Anteil an der Zahl der erfassten Fische.



**Abb. 33** Einteilung der auf die Art bestimmbaren Fische nach Strömungsgilden. Herkunft der Fische: Uferbefischung und Befischung mit Grundnetzen in den Jahren 2011 und 2012, N = 4'922 Fische.

#### 5.13.4. Gefährdung

Da die meisten grossen Flüsse der Schweiz als Folge der Wasserkraftnutzung in eine Kette von Stauhaltungen verwandelt wurden, ist der Lebensraum für die Mehrzahl der strömungsliebenden Arten sehr knapp geworden. Die meisten stehen deshalb auf der Roten Liste. Der Anteil dieser bedrohten Fischarten gibt einen Anhaltspunkt, wie sehr der Fluss noch Eigenschaften eines Lebensraumes für anspruchsvolle Fischarten bewahrt hat.

87% der im Stau Wettingen nachgewiesenen Fischarten sind nicht gefährdet (Abb. 34). 8% der erfassten Fische gehören zu den potenziell gefährdeten, 0.2% zu den verwundbaren (gefährdeten) und 3.8% zu den stark gefährdeten Arten. Bezeichnenderweise handelt es sich bei Letzterer nicht um eine Fließwasserart, sondern um den Bitterling, eine Stillwasser-

art. Der Bitterling ist selten geworden, weil sein Wirt, Grossmuscheln, in zahlreichen Gewässern ausgestorben ist.

Erfreulicherweise gehört nur ein äusserst geringer Anteil der gefundenen Fische Arten an, welche aus anderen Teilen der Welt eingeschleppt wurden (0.2%). Zu diesen Neozoen gehören der aus Nordamerika eingeschleppte Sonnenbarsch und der Zander, dessen ursprüngliches Verbreitungsgebiet in Nord- und Osteuropa liegt. Im Rhein-Einzugsgebiet kam er ursprünglich nicht vor, wurde aber wegen seines kulinarischen Wertes in verschiedenen Gewässern der Schweiz eingesetzt.

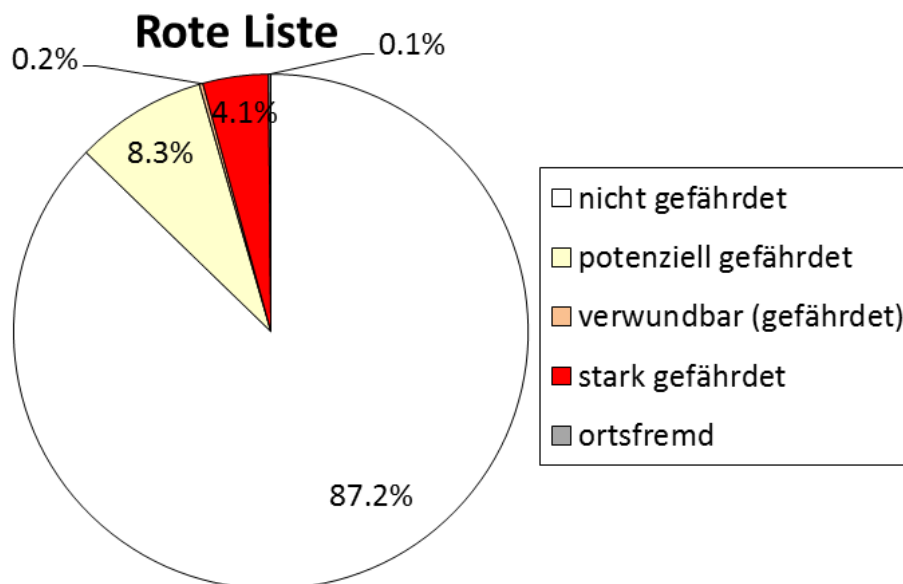


Abb. 34 Einteilung der auf die Art bestimmbaren Fische nach Gefährdungskategorien gemäss Roter Liste (KIRCHHOFER et al. 2007). Herkunft der Fische: Uferbefischung und Befischung mit Grundnetzen in den Jahren 2011 und 2012, N = 6'682 Fische.

#### 5.14. Prädation

Von insgesamt 126 untersuchten Rotaugen wiesen zwei Verletzungen, vermutlich von einem fischfressenden Vogel, auf (Abb. 35). Die Verletzungsquote liegt somit unter 1%. Bei den Uferbefischungen konnten keine Fische mit Verletzungen gefangen werden, welche auf den Kontakt mit fischfressenden Vögeln zurückzuführen waren.

Da Rotaugen nicht sehr gross werden, können auch die ältesten Tiere von Kormoranen und Graureihern leicht geschluckt werden (STAUB et al. 1993, ESCHER et al. 2012). Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Rotauge einen Kontakt mit einem Kormoran verletzt überlebt, ist sehr gering. Allerdings dürfte der Graureiher wegen der grossen Wassertiefe im Stau Wettingen als Prädator nur von untergeordneter Bedeutung sein. Auch Gänsesäger, deren Beutegrösse etwas kleiner ist als diejenige der Kormorane, können den Rotaugenbestand von den jüngsten bis zu den ältesten Tieren nutzen, wenn man die an der Aare ermittelte Längenverteilung der gefressenen Fische voraussetzt (STAUB et al. 1993, ESCHER et al. 2012).



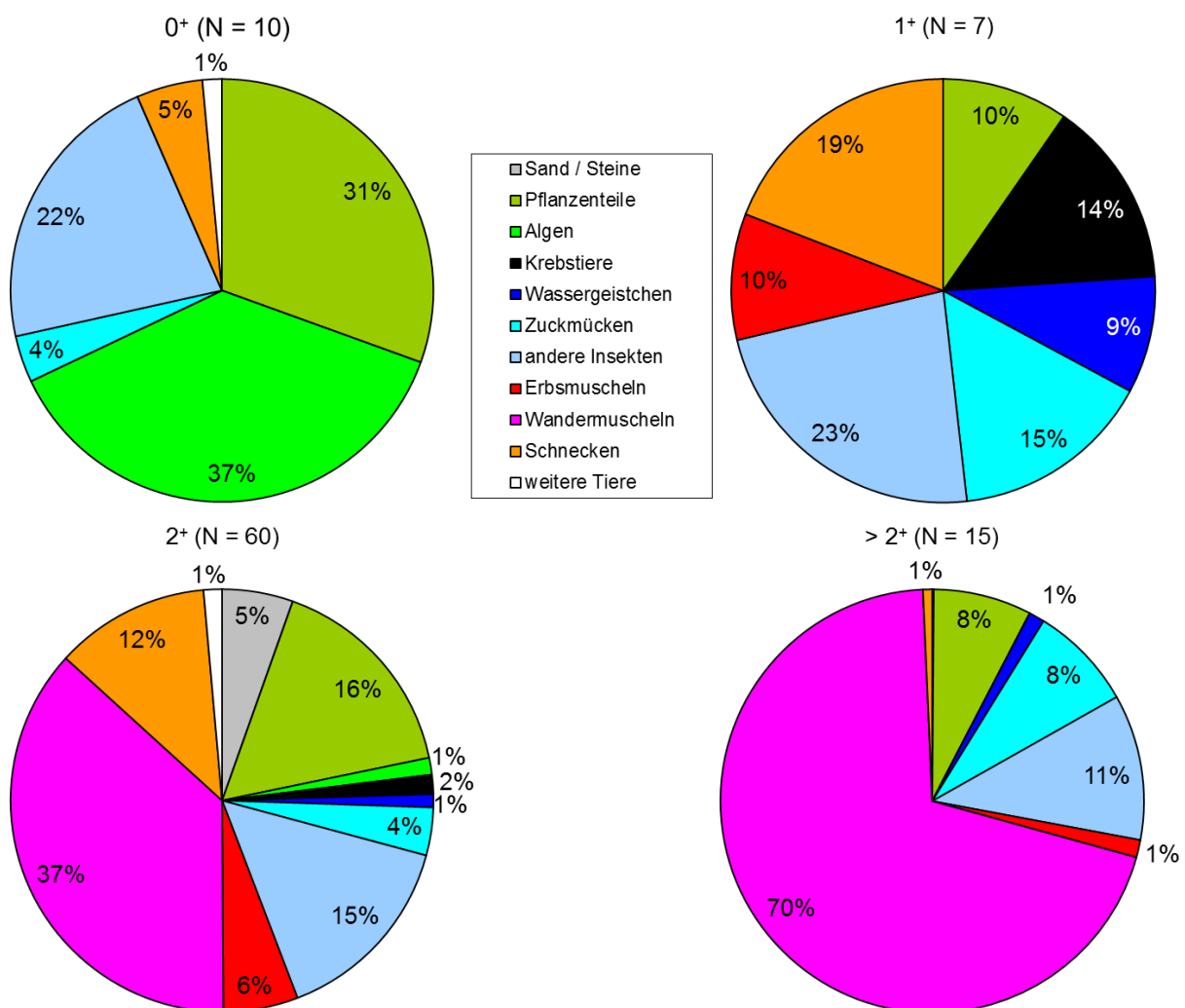
**Abb. 35 Rotaugen mit einer Verletzung, welche vermutlich durch einen fischfressenden Vogel verursacht worden ist.**

## 5.15. Nahrungszusammensetzung

### 5.15.1. Gewichtsanteile der Nahrungskategorien

Das Nahrungsspektrum der **0<sup>+</sup>-Rotaugen** setzte sich aus 6 verschiedenen Nahrungskategorien zusammen, wovon 4 mit Anteilen von mehr als 5% vertreten waren: Algen, Pflanzenteile, Insektenlarven und -puppen sowie Schnecken (Abb. 36).

Die **1<sup>+</sup>-Rotaugen** haben eine vielfältigere Nahrungszusammensetzung bestehend aus 7 Kategorien. Alle sind mit Gewichtsanteilen von mehr als 5% vertreten, nämlich Insektenlarven (welche auf Grund der Zerkleinerung durch die Schlundknochen nicht mehr näher bestimmt werden konnten), Schnecken, Zuckmücken, Krebstiere, Erbsenmuscheln, Pflanzenteile und das zu den Köcherfliegen gehörende Wassergeistchen (Abb. 36). Die fädigen Algen, welche in der Nahrung der 0<sup>+</sup>-Rotaugen überwogen, konnten in den Mägen der 1<sup>+</sup>-Rotaugen nicht nachgewiesen werden. Auch im Lago Maggiore wurden Algen vor allem von den jungen Rotaugen gefressen (VOLTA & JEPSEN 2008).



**Abb. 36** Nahrungszusammensetzung der Rotaugen im Stau Wettingen nach Altersklassen getrennt. Gewichtsanteile, Herkunft der Fische: Uferbefischungen (0<sup>+</sup>), Anglerfänge, Netzfänge, Fänge im Rahmen der Fischaufstiegszählung beim Stauwehr Wettingen (>0<sup>+</sup>). Altersklassen: Bestimmung anhand der Schuppen.

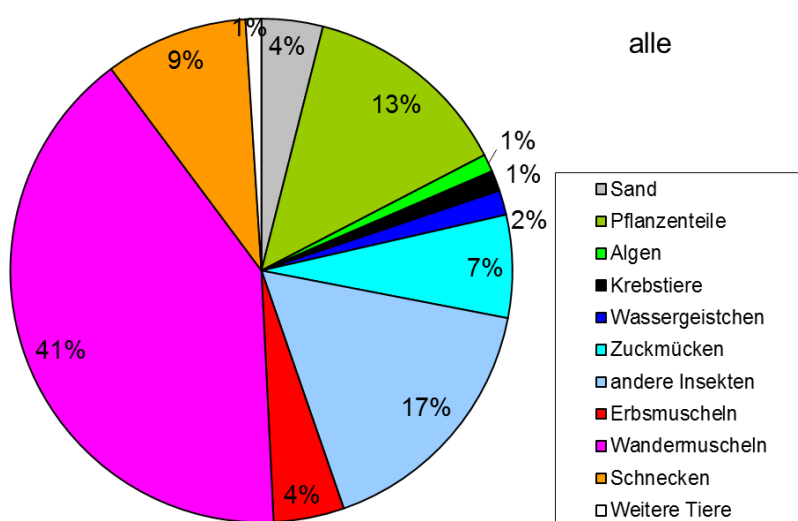
Bei den **2<sup>+</sup>-Rotaugen** konnten 11 Kategorien unterschieden werden. Diese grosse Vielfalt dürfte nicht zuletzt darauf zurückzuführen sein, dass die Stichprobe bei dieser Altersklasse

mit Abstand am grössten war. 6 Nahrungskategorien erreichten Anteile von mehr als 5%, nämlich Wandermuscheln, Pflanzenteile, Insektenlarven, Pflanzenteile, Erbsenmuscheln sowie Sand/Steine (Abb. 36). Letztere dürften beim Fressen der Wandermuscheln, Schnecken und Erbsenmuscheln in die Nahrung gelangt sein. Möglicherweise stellen sie aber auch Relikte von Köcherfliegenlarven dar, welche in der Nahrung dieser Altersklasse der Rotaugen gefunden wurden. Köcherfliegenlarven mit Köcher wurden in der Kategorie "andere Insekten" zusammengefasst.

Die Altersklasse der **Rotaugen >2<sup>+</sup>** war im Vergleich zu den jüngeren Rotaugen viel stärker spezialisiert. Die 8 unterschiedenen Nahrungskategorien waren von der Wandermuschel dominiert. Es folgten die Kategorien "andere Insektenlarven", Zuckmückenlarven und -puppen sowie Pflanzenteile. Somit war auch die Anzahl Kategorien mit einem Anteil über 5% (4 Kategorien) nur noch rund  $\frac{2}{3}$  so gross wie bei der nächstjüngeren Altersklasse.

Zusammenfassend sind zwei Tendenzen auszumachen: Die jüngsten Rotaugen (0<sup>+</sup>) sind relativ spezialisiert in ihrer Nahrungsaufnahme. Im Alter von 1<sup>+</sup> und 2<sup>+</sup> nimmt die Spezialisierung ab, was sich sowohl in einer höheren Zahl an Nahrungskategorien als auch in einer gleichmässigeren Aufteilung der Nahrung auf die verschiedenen Kategorien äussert. Bei der höchsten Altersklasse (>2<sup>+</sup>) ist dann wiederum eine stärkere Spezialisierung zu beobachten. Generell ist zu bemerken, dass jede Altersklasse relativ zahlreiche, und verschiedenartige Nahrungskategorien genutzt hatte (0<sup>+</sup>: 8; 1<sup>+</sup>: 7; 2<sup>+</sup>: 16; >2<sup>+</sup>: 9 Kategorien). Die Nahrungszusammensetzung variierte innerhalb der Altersklassen relativ stark, das heisst, nicht jeder Fisch hatte das gleiche im Magen. Dabei gab es in jeder Altersklasse spezialisierte Rotaugen mit nur einer Kategorie im Magen und Tiere, die relativ zahlreiche Nahrungsorganismen gefressen hatten: (0<sup>+</sup>: 1-4; 1<sup>+</sup>: 1-5; 2<sup>+</sup>: 1-8; >2<sup>+</sup>: 1-6 Kategorien).

Weiter konnte festgestellt werden, dass die beiden jüngsten Altersklassen die Wandermuscheln (*Dreissena polymorpha*) noch nicht nutzen können. In 17 untersuchten Mägen konnte die Kategorie nicht gefunden werden. Dies stimmt mit den Beobachtungen im Luganersee überein (GUTHRUF 2003). Auch dort konnte die Nahrungskategorie erst ab dem Ende des zweiten Lebensjahres genutzt werden. Es wird vermutet, dass die Rotaugen erst ab einer bestimmten Grösse fähig sind, die Muscheln vom Substrat abzureissen bzw. mit dem Schlundapparat zu zerkleinern. Auch KOTTELAT & FREYHOF (2007) erwähnen, dass Rotaugen erst ab einer Länge von etwa 14 cm Wandermuscheln nutzen können. In den Altersklassen ab 2<sup>+</sup> kommt die Kategorie mit zunehmendem Alter immer häufiger vor, was sich mit den Ergebnissen der Nahrungsanalysen am Luganersee deckt (GUTHRUF 2003).



**Abb. 37** Nahrungszusammensetzung der Rotaugen im Stau Wettingen, Gewichtsanteile, alle Fische. Herkunft der Fische: Uferbefischungen, Angler- und Netzfänge sowie Fänge im Rahmen der Fischaufstiegszählung beim Stauwehr Wettingen, N = 92.



Werden die Nahrungsanalysen aller Rotaugen zusammengefasst, so stellen die Wandermuscheln mit einem Gewichtsanteil von 41% die am stärksten vertretene Nahrungskategorie dar, gefolgt von "anderen Insekten" (17%), Pflanzenteilen (13%), Schnecken (9%) und Zuckmückenlarven und -puppen (7%).

### 5.15.2. Anteil der Mägen mit einer bestimmten Nahrung ("frequency of occurrence")

Die "frequency of occurrence" liefert einen Anhaltspunkt über den Anteil der Population, der sich von einer bestimmten Nahrungskategorie ernährt.

Bei den jüngsten **Altersklasse (0<sup>+</sup>)** hatten je die Hälfte der untersuchten Fische Insektenlarven und -puppen sowie Pflanzenteile im Magen. Auch Algen wurden in 40% der untersuchten Mägen angetroffen (Tab. 6).

Die **1<sup>+</sup>-Rotaugen** hatten verschiedene Nahrungskategorien, welche in einem hohen Anteil der Mägen vorkamen: Dazu gehören Insekten, Zuckmückenlarven und Schnecken sowie Wassergeistchen und Algen.

In den Mägen der **2<sup>+</sup>-Rotaugen** kamen zahlreiche Nahrungskategorien häufig vor: Schnecken, Pflanzenteile, Erbsenmuscheln, Zuckmückenlarven, Wandermuscheln, Sand und Steine.

In den Mägen der älteren **Rotaugen** kamen insbesondere "andere Insektenlarven- und puppen", Zuckmückenlarven, Pflanzenteile, Erbsenmuscheln, Wandermuscheln und Schnecken vor.

**Tab. 6** Nahrungszusammensetzung der Rotaugen im Stau Wettingen nach Altersklassen getrennt. Prozentsatz der Mägen, die eine bestimmte Nahrungskategorie enthielten ("frequency of occurrence").

	Altersklassen					
	0	1	2	3	4	5
Anzahl Mägen	10	7	60	9	4	2
Sand / Steine		14	20	11		
Pflanzenteile	50	14	60	11	75	50
Algen	40	29	2			
Moostierchen	10					
Milben	10					
Flohkrebse		14	7			
andere Krebstiere			2			
Wanzen	50					
Wassergeistchen (Köcherfliegenlarve ohne Köcher)		0	0	0		
Köcherfliegenlarven mit Köcher			13			
Eintagsfliegenlarven				0		
Zuckmückenlarven und Puppen	0	0	0	22	0	0
Zweiflüglerlarven (nicht weiter bestimmbar)			30			
Käfer			5			
Insektenlarven und Puppen (nicht weiter bestimmbar)	0	0	3	0	0	0
Erbsenmuscheln		14	53	11	50	50
Wandermuscheln (Dreissena sp.)			27	22	25	50
Schnecken	20	43	70	22	75	
Egel			12			
Wenigborster (Würmer)			2			

Aus dem Vergleich der Massenanteile mit der "frequency of occurrence" geht hervor, dass Zuckmückenlarven, "andere Insektenlarven und -puppen" sowie Pflanzenteile von sehr vielen Rotaugen gefressen wurden, aber nur verhältnismässig geringen Massenanteile erreichten, während Wandermuscheln von eher wenigen Rotaugen gefressen wurden, aber in sehr grossen Mengen.

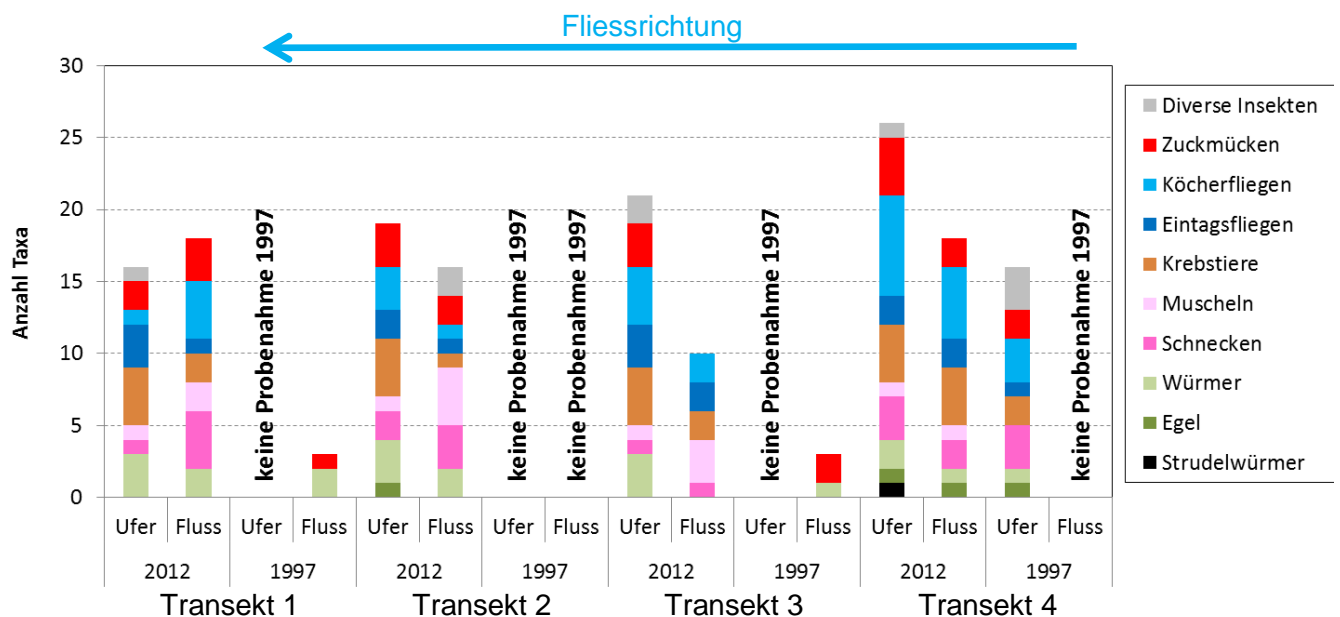
## 5.16. Vorhandenes Nahrungsangebot (Wasserwirbellose)

### 5.16.1. Artenzusammensetzung

Im November 2012 wurden im Stau Wettingen mit Hilfe von Tauchern entlang von 4 Transekten halbquantitative Benthosproben genommen. Die Lage der Transekte wurde so gewählt, dass ein Vergleich mit den Probenahmen aus dem Jahr 1997 möglich war. Es wurden sowohl ufernahe ("Ufer") als auch uferferne Standorte ("Fluss") beprobt (Abb. 38).

**Uferferne Stellen** wurde im Jahr 1997 nur bei zwei Transekten (1 und 3) beprobt. Beide Stellen waren durch eine sehr niedrige Taxazahl (3) charakterisiert. Die gefundenen Wirbellosen gehörten den Zuckmückenlarven und den zu den Wenigborstern gehörenden Würmern an. Beide Gruppen sind hinsichtlich einer Belastung der Wasserqualität tolerant. An den gleichen Standorten fanden sich 2012 18 bzw. 10 Taxa, welche 7 bzw. 5 verschiedenen Gruppen angehörten, darunter auch Vertreter der Eintagsfliegen und Köcherfliegen, welche auf geringere Gewässerbelastung und höhere Sauerstoffkonzentrationen angewiesen sind.

**Uferproben** liegen im Rahmen der Untersuchung aus dem Jahr 1997 nur für das am weitesten flussaufwärts gelegene Transekt 4 vor, wo das Wasser am schnellsten fließt und die Sauerstoffversorgung am besten ist. Zudem wird das Ufer durch den schwankenden Pegel und durch den Wellenschlag der Boote regelmässig von Feinstoffen befreit und mit sauerstoffhaltigem Wasser versorgt. Entsprechend war die Taxazahl an diesem Standort bereits im Jahr 1997 hoch: Die 16 nachgewiesenen Taxa gehörten 8 verschiedenen Gruppen an, darunter auch Eintagsfliegen und Köcherfliegen. Im Jahr 2012 stieg die Taxazahl am entsprechenden Standort auf 26, die 10 verschiedenen Gruppen angehörten. Die Taxazahl der Eintagsfliegen und Köcherfliegen war von 4 auf 9 gestiegen.



**Abb. 38 Taxazahl der im Rahmen der Transektuntersuchungen gefundenen Benthos-Organismen: 1997 (BÜSSER 1998) und 2012. Die Insekten wurden als Larven bzw. als Puppen gefunden.**

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass 1997 am Grund des Staus – vor allem im uferfernen Bereich, wo Feinsedimente überwiegen und die Sauerstoffversorgung nur beschränkt stattfinden kann – nur sehr wenige Taxa vorkamen. Sie gehörten ohne Ausnahme zu den Belastungszeigern. Die Situation hat sich bis 2012 sehr stark verbessert. Es wurden viel mehr Taxa gefunden, welche zum Teil Zeiger für eine geringere Belastung sind. Der Uferbereich des obersten Transekts ist wegen der erhöhten Fließgeschwindigkeit im Stauwurzelbereich, der starken Pegelschwankungen und des Wellenschlags durch Boote günstiger gelegen. Entsprechend grösser war die Taxazahl bereits im Jahr 1997. Im Jahr

2012 erhöhte sich auch an diesem Standort die Taxazahl stark. Zeiger für starke Belastung nahmen ab.

### 5.16.2. Neozoen

Im Jahr 1997 wurde lediglich in 2 von 4 Transekten an jeweils einer von 2 Proben eine Neozoenart gefunden (Abb. 39). Im Jahr 2012 fanden sich im Bereich der Uferproben pro Transekt 3 bis 5 Neozootaxa. Auch an den uferfernen Standorten wurden pro Probestelle im Durchschnitt 1.7 bis 4.5 Neozoenarten nachgewiesen. Folgende 8 Neozoen fanden sich im November 2012 im Stau Wettingen:

- Neuseeländische Zwergdeckelschnecke (Neuseeland),
- Körbchenmuschel (Asien),
- Wandermuschel (Schwarzmeer-Raum),
- Höckerflohkrebs (Schwarzmeer-Raum),
- aufrechter Flohkrebs (Nordamerika),
- Süßwassergarnele (Schwarzmeer-Raum),
- Tigerplanarie (Nordamerika)
- Kiemenwurm (Südostasien).

Im Rahmen der Uferbefischungen wurden zudem die aus Nordamerika stammenden Decapodenarten Kamberkrebs und Signalkrebs nachgewiesen. Folglich ist der Prozentsatz der Neozoen bei den Wirbellosen (10 von 53 Taxa, 19%) im Stau Wettingen rund doppelt so hoch wie bei den Fischen, wo der Zander und der Sonnenbarsch nachgewiesen wurden (2 von 22 Arten, 9%).

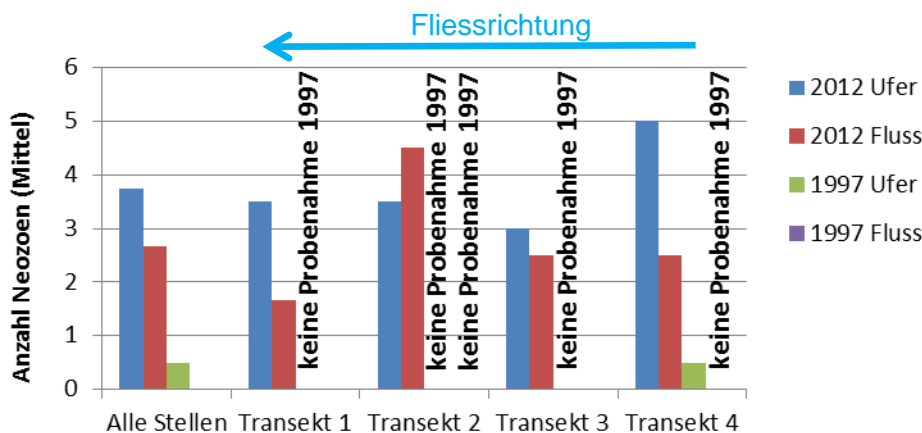


Abb. 39 Anzahl Neozoenarten im Stau Wettingen (Mittelwerte der Anzahl Proben pro Transekt) 1997 (BÜSSER 1997) und 2012.

### 5.16.3. Anzahl anspruchsvollere Arten (EPT-Arten)

Die zu den Eintagsfliegen (**E**phemeroptera), Steinfliegen (**P**lecoptera) und Köcherfliegen (**T**richoptera) gehörenden Arten gelten generell als eher anspruchsvoll bezüglich Wasserqualität und Sauerstoffgehalt. In belasteten Gewässern fehlen diese folglich oft oder sind nur durch wenige Taxa vertreten. Zahlreiche Vertreter der EPT-Arten sind strömungsliebend.

## 1997

In den **“Flussproben“** in der Mitte des Staus, wo in der Regel Feinsediment den Boden bedeckte und weder Pegelschwankungen, starke Strömungen noch der Wellenschlag der Boote einen Einfluss haben, kamen im Jahr 1997 an keinem der untersuchten Transekte Vertreter dieser Artengruppen vor. Dies spricht für eine deutliche Belastung des Wassers und des Flusssediments in diesem Jahr.

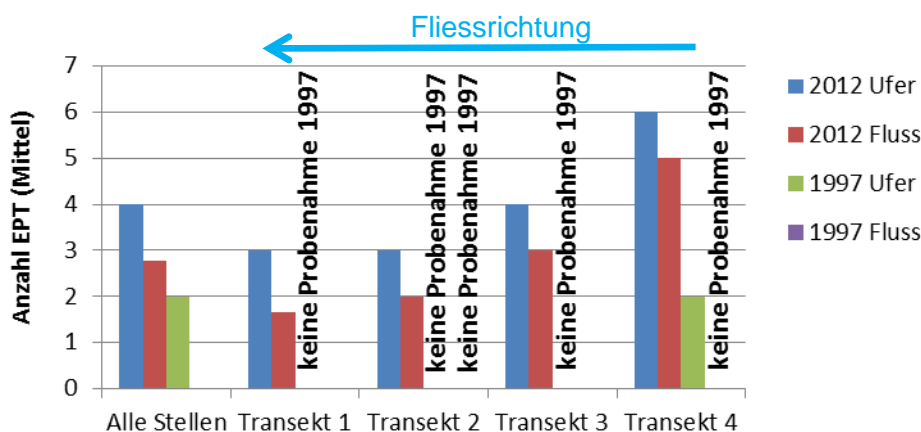
Auch in der im oberen Teil des Staus genommenen **“Uferprobe“**, wo eine erhöhte Strömung, starke abflussbedingte Pegelschwankungen und der Wellenschlag durch Boote die Sauerstoffversorgung des Flussgrundes begünstigen, kamen im Jahr 1997 lediglich zwei Vertreter dieser empfindlicheren Artengruppen vor.

## 2012

In den **“Flussproben“** wurden im Jahr 2012 im Mittel 1.7 bis 5 Vertreter dieser Artengruppen pro Probestelle gefunden, obwohl sich die Substrat- und Strömungsverhältnisse am Grund, kaum wesentlich verändert haben dürften. Diese Zunahme spricht für eine deutliche Verbesserung der Wasserqualität in uferfernen Bereichen des Staus.

In der im oberen Teil des Staus genommenen **“Uferprobe“**, hat sich die Zahl der EPT-Taxa im Vergleich zum Jahr 1997 von 2 auf 6 verdreifacht (Abb. 40).

Sowohl bei den Flussproben als auch bei den Uferproben war eine Zunahme der Zahl der EPT-Taxa gegen die Fließrichtung hin feststellbar (Abb. 40). Sie dürfte auf die zunehmende Strömung gegen die Stauwurzel hin zurückzuführen sein.



**Abb. 40** Anzahl der zu den EPT-Arten gehörenden Insektenlarven im Stau Wettingen 1997 (BÜSSER 1997) und 2012, getrennt nach Transekten sowie Probenahme-standorten in Flussmitte oder am Ufer.

Bei jedem Transekt war die Zahl der EPT-Arten im Bereich des Ufers höher als in den Flussproben. Dies dürfte primär mit dem Wellenschlag der Boote im Zusammenhang stehen, welcher für eine bessere Sauerstoffversorgung des Substrats sorgt und stellenweise das Feinmaterial aus dem Substrat am Ufer ausschwemmt. Dadurch entstand lokal ein Kieslückensystem, welches von den EPT-Arten genutzt wurde. Wegen der abflussbedingten Pegelschwankungen ist ein relativ breites Band des Uferbereichs diesem Wellenschlag ausgesetzt. Daneben spielten auch die im Uferbereich wachsenden Wasserpflanzen eine wichtige Rolle als Nahrung und Substrat für die EPT-Arten.

### 5.16.4. Dichte

Um die Bedeutung der verschiedenen Arten als Fischnahrung besser abschätzen zu können, wurde deren Dichte halbquantitativ in Klassen eingeteilt (Tab. 7). Mehrere als Fischnahrung

sehr wertvolle Artengruppen kamen in relativ hoher Dichte vor. Ein Beispiel sind die Würmer, die vor allem im uferfernen feinen Flusssediment zum Teil in sehr hoher Dichte vorkamen.

**Tab. 7 Individuendichten der häufigsten Wasserwirbellosen im Stau Wettingen, getrennt nach Transekten, Probenahmeort (Ufer, Sohle) und Substrat. Taxa mit Maximaldichten unter 10 Stück (Dichteklassen 1-2) wurden weggelassen.**

Transekt-Nr.		1					2					3				4					
Makrozoobenthos Stau Wettingen 2012 Häufigste Taxa (Maximaldichte > 10 Stück)		Ufer links	Sohle links	Sohle links	Sohle rechts	Ufer rechts	Ufer links	Sohle links	Sohle rechts	Ufer rechts	Ufer rechts	Ufer links	Sohle links	Sohle rechts	Ufer rechts	Ufer links	Sohle links	Sohle rechts	Ufer rechts		
Lateinischer Name	Deutscher Name	Steine	Schotter	Block	Steine	Schlamm	Steine	Schlamm	Schlamm	Schlamm	Block	Steine	Schlamm	Feinwurzeln	Sand und Steine	Sand, Block	Stein Schlamm	Stein Sand	Steine Kies Sand	Blöcke Steine	Schluff
<b>Gesamt Häufigkeit</b>		3	4	3	4	4	4	4	5	3	3	4	3	3	4	4	3	3	3	3	3
<i>Oligochaeta indet.</i>	Würmer	3			1	2	3	3	3	4		2	2					3	1	3	3
<i>Ancylus fluviatilis</i>	Fluss-Napfschnecke						1		1										2	3	1
<i>Potamopyrgus antipodarum</i>	Neuseeländische Zwergdeckelschnecke			1				2	3	3		3									
<i>Physa sp.</i>	Blasenschnecke				2	3			1				1	1				2			1
<i>diesjährige Corbicula (3 mm)</i>	Körbchenmuschel (Asien)											3									
<i>Dreissena polymorpha</i>	Wandermuschel (Schwarzmeer-Raum)	3	4	2	2		1	2		3				2	3	3	1	1	3		
<i>Sphaerium sp.</i>	Kugelmuschel			2		4				4						1					
<i>Dikerogammarus villosus</i>	Höckerflohkrebs (Schwarzmeer-Raum)	3	2				3	3	2	1		1	3	2			2	3	2	1	2
<i>Gammarus pulex</i>	Gewöhnlicher Flohkrebs	1					2	2					2			1	2	2			3
<i>Crangonyx pseudogracilis</i>	Aufrechter Flohkrebs (Nordamerika)						3						3	2				3			3
<i>Limnomysis benedeni</i>	Süsswassergarnele (Schwarzmeer-Raum)	2					3	2					3					3	1		1
<i>Heptagenia sulphurea</i>	Schwefel-Aderhaft		1											1	1			1	1		3
<i>Sialis Sp.</i>	Schlammfliege					3											1				
<i>Hydropsyche Sp.</i>	Wassergeistchen		3					1	3	1				2	1	1	2	3	3	1	
<i>Chironomidae indet</i>	Zuckmücken				2	3				4				4				1			
<i>Chironomini</i>	Zuckmücken-Gruppe	2					3	3	1			2				3	2	1			3
<i>Chironomus riparius-Gruppe</i>	Zuckmücken, Belastungszeiger			1			3					1									
<i>Tanytarsini</i>	Zuckmücken-Gruppe	1					3									2	2				2

1: 1-2 Tiere/Probe
2: 3 -10 Tiere/Probe
3: 11 -100 Tiere/Probe
4: 100 -1000 Tiere/Probe

Daneben kamen Schnecken, welche im Mageninhalt der Rotaugen sehr häufig waren, wie die Blasenschnecke, aber auch die neuseeländische Zwergdeckelschnecke häufig vor. Auch die Muscheln waren häufig. Sie waren durch einheimische Vertreter der Erbsenmuscheln, aber auch durch eingeschleppte Arten wie die Körbchenmuschel und die Wandermuschel vertreten. Vor allem die Wandermuschel als auch Erbsenmuschel waren sehr häufig in der Nahrung der Rotaugen.

Auch Krebstiere sind als Fischnahrung von grosser Bedeutung, insbesondere die Flohkrebse. Diese können sehr hohe Dichten erreichen und sind, da sie sich pro Saison mehrmals fortpflanzen, während der ganzen Saison in verschiedenen Grössen für die Fische verfügbar. Krebstiere waren durch einheimische Arten (Gewöhnlicher Flohkrebs), besonders aber durch exotische Arten (Höckerflohkrebs, Aufrechter Flohkrebs, Süsswassergarnele), welche stellenweise hohe Dichten erreichten, im Stau Wettingen vertreten.

Weitere wichtige Fischnährtiere waren die Larven der Schlammfliege (*Sialis*), der Schwefel-Aderhaft (*Heptagenia sulphurea*), des Wassergeistchens (*Hydropsyche*) und der Zuckmücken (*Chironomidae*). Vor allem die Zuckmücken waren durch zahlreiche Taxa vertreten, welche zum Teil sehr hohe Dichten erreichten.

Da die Wandermuschel einen wichtigen Nahrungsbestandteil der ausgewachsenen Rotaugen darstellt, wurde ihre Verbreitung im Rahmen der Transektuntersuchungen besonders

berücksichtigt. An den meisten Probestellen wurden Wandermuscheln gefunden. Die Dichte variierte sehr stark. Hohe Dichten waren sowohl in grosser als auch in geringer Wassertiefe anzutreffen (Abb. 41). Die entscheidende Rolle spielte das Substrat: alle Flächen mit festem Substrat (Blöcke, Schotter, Kies, Äste) waren von Wandermuscheln besiedelt (Abb. 42).

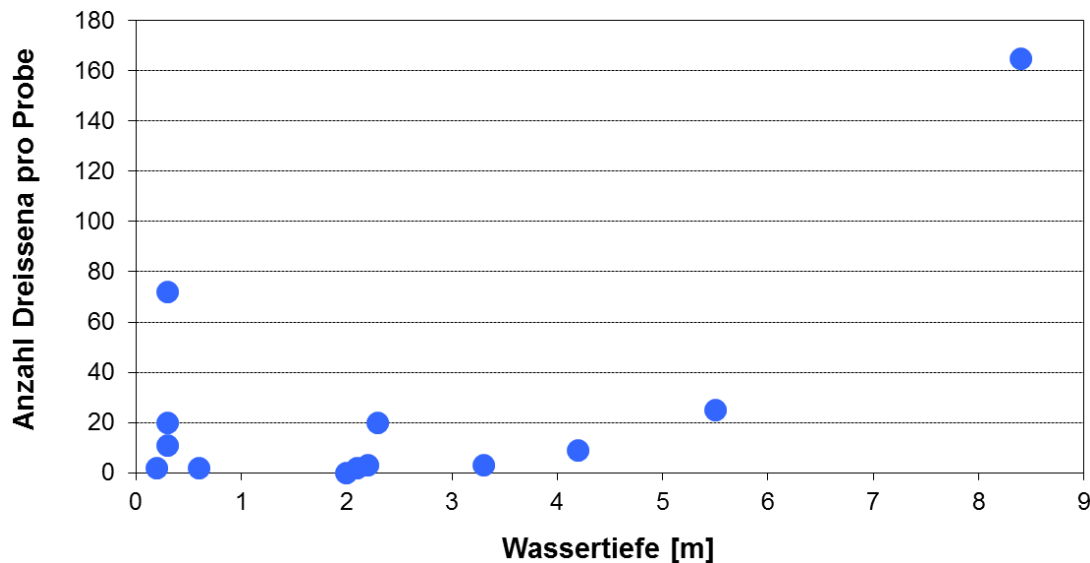


Abb. 41 Dichten der Wandermuscheln im Rahmen der Transektprobenahme vom 20.11.2012 in Abhängigkeit von der Wassertiefe.



Abb. 42 Bei den Netzfängen am 10. Juli 2012 wurde ein Ast mit zahlreichen Wandermuscheln gehoben. Foto J. Guthruf.

Die Verteilung der Wandermuscheln während der Probenahme im November 2012 war relativ stark durch die Prädation durch Tafelenten und Reiherenten geprägt. Bis in 8 m Tiefe wurden deshalb auf der Oberfläche der Steine kaum Wandermuscheln gefunden. Die Unterseiten waren aber relativ stark besiedelt. In tieferen Bereichen siedelten sowohl auf der Steinoberfläche als auch in den Lücken zahlreiche Muscheln (Abb. 41).

Keine Bedeutung in der Rotaugennahrung hatte die Körbchenmuschel, welche in den Benthosprobenahmen sehr häufig anzutreffen war.

### 5.17. Befall mit Parasiten

Der Magen-Darm-Trakt sowie der Mageninhalt der untersuchten Rotaugen wurden von Auge auf das Vorhandensein von Parasiten kontrolliert. 8 von 126 Rotaugen waren von *Acanthocephala* (Kratzer) befallen. In allen Fällen handelte es sich um die Art *Pomphorhynchus laevis*, dessen Zwischenwirt Flohkrebse sind.

## 6. Diskussion

### 6.1. Kondition

Rotaugen in Fließgewässern mit starker Strömung sind schlank und torpedoförmig, während sie in stehenden oder langsam fließenden Gewässern hochrückiger sind (KÖHLER 1992). Dies drückt sich auch in einer höheren Kondition aus. Die Kondition der Fische wird zudem durch den Trophiegrad beeinflusst: In eutrophen Gewässern leben in der Regel hochrückigere und korpulentere Rotaugen als in oligotrophen. In verschiedenen Gewässern konnte gezeigt werden, dass die Kondition der Rotaugen auch mit dem Alter zunimmt (BONFIGLIOLI 1997, GUTHRUF 2003).

Die Kondition der Rotaugen im Stau Wettingen unterschied sich nur geringfügig von der Kondition anderer Rotaugenpopulationen der Schweiz. Einzig die 1<sup>+</sup>-Rotaugen des Luganer-sees – welche im schweizerischen Vergleich durch eine aussergewöhnlich hohe Kondition charakterisiert sind – übertrafen die Rotaugen des Staus Wettingen. Die Kondition der Rotaugen aus dem Stau Wettingen liefert somit keine Anhaltspunkte auf einen Nahrungsmangel oder eine anderweitige Beeinträchtigung der Population.

### 6.2. Wachstum

Verschiedene ökologische Faktoren bestimmen das Wachstum bei Rotaugen: Die nach der Gesamtposphorkonzentration stratifizierte Darstellung der Wachstumskurven deutet darauf hin, dass Rotaugenpopulationen in eutrophen Gewässern rascher wachsen als in oligotrophen (Abb. 16). Der Vergleich einzelner Gewässer im Laufe der Eutrophierung bzw. der darauf folgenden Reoligotrophierung liefert ein etwas differenzierteres Bild: Während im Laufe der Eutrophierung des Bodensees eine Wachstumszunahme nachgewiesen werden konnte (HARTMANN 1978), bewirkte die Abnahme des Nährstoffgehaltes in verschiedenen Schweizer Seen keinen nachweisbaren Wachstumsrückgang (MÜLLER & MENG 1986; BÜSSER & TSCHUMI 1987; LOVAS 1988; BONFIGLIOLI 1997). Dies wird damit erklärt, dass neben dem sinkenden Nährstoffgehalt auch die rückläufige Fischdichte eine wesentliche Rolle spielt (LOVAS 1988).

Die Dichteabhängigkeit des Rotaugenwachstums konnte für verschiedene Gewässer belegt werden, beispielsweise im Slapton Ley. In diesem englischen See wuchsen die Rotaugen in Jahren mit hoher intraspezifischer Konkurrenz langsamer. Der Bestand reagierte aber auf eine reduzierte Dichte infolge eines Bandwurmbefalls mit beschleunigtem Wachstum (KENNEDY 1996). Eine geringe Dichte kann in Kombination mit hoher Produktivität eines Gewässers zu einem aussergewöhnlich raschen Wachstum führen (WYATT 1988). Auch in einer Stauhaltung in Frankreich konnte ein dichteabhängiges Wachstum der Rotaugen aufgezeigt werden: Die Rotaugendichte reduzierte sich erheblich nach einer Entleerung und Wiederfüllung des Staus. In den ersten zwei Jahren nach der Wiederfüllung wuchsen die Rotaugen rascher als vor der Entleerung (ANGÉLIBERT et al. 1999). Das schnellere Wachstum wird durch ein erhöhtes Angebot an Zooplankton erklärt, welches den 0<sup>+</sup>- und 1<sup>+</sup>-Rotaugen infolge reduzierter intraspezifischer Konkurrenz zur Verfügung stand (ANGÉLIBERT et al. 1999).

Das Wachstum der Rotaugen im Stau Wettingen ist im Vergleich mit anderen Gewässern der Schweiz hoch. Es dürfte unter anderem auf die vergleichsweise geringe Rotaugendichte zurückzuführen sein.

### 6.3. Geschlechtsreife

Beide Geschlechter der Rotaugen werden im Stau Wettingen zum frühestmöglichen Zeitpunkt erstmals laichreif, nämlich im Alter von zwei Jahren (siehe Kapitel 3.2). Diese frühe Geschlechtsreife dürfte unter anderem eine Folge des raschen Wachstums sein.

#### 6.4. Verbreitung und Lebensraum

Rotaugen kommen hauptsächlich in Seen und artenreichen, langsam fliessenden Flüssen vor (ZAUGG et al. 2003). In Zuflüssen des Bottnischen Meerbusens (MÜLLER 1982) und anderen Gewässern (LADIGES & VOGT 1979) wechseln sie zwischen Salz- und Süsswasser, wobei ihre Nahrungshabitate in der Ostsee liegen. Zur Laichzeit unternehmen sie Wanderungen in die Zuflüsse. Schon als Jungfische wandern sie wieder ins Meer ab (MÜLLER 1982). Das Rotauge ist auch eine der Arten, welche gut in Stauhaltungen leben können (GRIMAS & NILSSON 1965, ANGÉLIBERT et al. 1999, BROSE et al. 2000, VASEK et al. 2006). Das Rotauge gehört der Gilde der Fischarten an, welche sowohl in stehendem als auch fliessendem Wasser ablaichen und leben können (indifferent/euryopar) und ist somit ein Ubiquist, welcher in sehr unterschiedlichen Bedingungen überleben und grosse Bestände bilden kann.

Die Uferkartierungen im Stau Wettingen liefern keine Hinweise auf einen Mangel an geeigneten Habitaten für Rotaugen. Die zu einem grossen Teil naturnahen und strukturreichen Ufer sind sehr geeignet Lebensraum für verschiedene Altersklassen. Die lockeren bis dichten Wasserpflanzenbestände bieten den Rotaugen optimale Kinderstuben und werden auch genutzt, wie die Uferkartierungen zeigten. Dasselbe gilt für Totholzansammlungen und die naturnahen Flachufer, welche im Bereich des Bahndamms Neuenhof geschaffen wurden. Die Uferbefischungen ergaben, dass Rotaugen im oberen Teil des Staus in höheren Anteilen am Jungfischbestand vertreten waren als im unteren Teil.

#### 6.5. Laichhabitate

In Seen pflanzen sich die Rotaugen bevorzugt in der Uferzone fort, insbesondere auf Flächen mit Bewuchs untergetauchter Wasserpflanzen (GUTHRUF 2003). Im eutrophen Årungen-See in Norwegen suchen Rotaugen sowohl zum Laichen als auch zur Ernährung einen Zufluss auf (L'ABBÉE-LUND & VOLLESTAD 1987). Bezüglich ihres Laichsubstrats sind die Rotaugen sehr anpassungsfähig, wie Untersuchungen in verschiedenen Gewässern zeigen (Kapitel 3.3). Einzig über feinen Substraten wird nicht gelaicht (GUTHRUF 2003).

Aus verschiedenen Untersuchungen geht hervor, dass Rotaugen eher strömungsberuhigte Zonen für ihre Fortpflanzung aufsuchen (Kapitel 3.3).

Nicht nur in Seen und Flüssen, sondern auch in Stauhaltungen wie dem Saidenbachstau in Deutschland bevorzugen laichende Rotaugen seichte Abschnitte mit Wasserpflanzenbewuchs (KAHL et al. 2008). Tauchgänge im Wohlensee (gestaute Aare unterhalb von Bern) hingegen zeigen, dass Rotaugen auch in tieferen Bereichen laichen (Abb. 43).

Das Rotauge weist hinsichtlich seiner Laichhabitatwahl offensichtlich eine hohe Plastizität auf. Je nach Gewässer kann es in unterschiedlichen Tiefen, bei verschiedenen Strömungsbedingungen und auf sehr unterschiedlichen Substraten ablaichen.

Die Uferkartierungen im Stau Wettingen zeigten denn auch, dass ein grosser Teil der Ufer als Habitat für laichende Rotaugen geeignet ist und sogar ein grosser Teil als optimal kartiert wurde. Das Angebot an potenziellem Laichhabitat im Stau Wettingen kann daher insgesamt als sehr gut beurteilt werden. Es gibt deshalb keine Anhaltspunkte, dass im Stau Wettingen ein Mangel an geeigneten Laichhabitaten für Rotaugen herrschen könnte.

Dass keine Laichplätze gefunden wurden, dürfte weniger daran liegen, dass im Stau Wettingen nicht abgelaicht wurde, sondern vielmehr daran, dass nicht flächendeckend untersucht werden konnte. So fehlen Erhebungen der Tiefenzonen. Auch der ganz im Kanton Zürich liegende Stauwurzelbereich wurde nicht untersucht.

Auch wenn kein Laichnachweis erbracht werden konnte, so liefern die vorliegenden Untersuchungen Anhaltspunkte, dass sich die Rotaugen fortpflanzten: So der Nachweis von Rotaugen im frühen Larvenstadium.

Noch stärkere Hinweise ergeben sich aus den genetischen Untersuchungen (KLÄFIGER et al. 2014): Die leichten genetischen Unterschiede zwischen den Populationen am Letten und im



Stau Wettingen deuten darauf hin, dass die im Stau Wettingen lebenden Tiere mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht aus dem Zürichsee stammen, sondern aus natürlicher Fortpflanzung im Stau Wettingen. Einen weiteren Hinweis liefern die Hybriden: Sie beweisen nämlich, dass sich wenige der im Stau Wettingen eingesetzten Rotaugen aus Deutschland mit wilden Rotaugen des Staus Wettingen gepaart haben.



**Abb. 43** Rotaugenlaich auf einer als Laichsubstrat für Barsche in 5 – 7 m Tiefe versenkten Tanne im Wohlensee. Bildquelle: Fischerei-Pachtvereinigung Bern und Umgebung, <http://www.bfc1927.ch/up/files/Bericht%20Eglibaumprojekt-%202013.pdf>.

## 6.6. Juvenilhabitate im Sommer und im ersten Winter

### 6.6.1. Nahrungshabitate im Sommer

Erfahrungen aus Freilandstudien in Seen (ROSSIER et al. 1996), Flüssen (GARNER 1995, POIZAT & PONT 1996) und Stauhaltungen (BROSSE et al. 2000) sowie aus Modellrechnungen (BROSSE & LEK 2000) bestätigen, dass 0<sup>+</sup>-Rotaugen besonders häufig Habitate besiedeln, welche durch untergetauchte Wasserpflanzen geprägt werden. Im Genfersee verliess der grösste Teil der juvenilen Fische erst im Herbst die zusammenbrechenden Wasserpflanzenbestände (ROSSIER et al. 1996).

Auch im Pareloup-Stau in Frankreich gehorcht die Nahrungshabitatwahl der 0<sup>+</sup>-Rotaugen ähnlichen Gesetzmässigkeiten: Von Mai bis Mitte Juli hielten sich die meisten Fische in den Wasserpflanzenbeständen auf, während die Adulten im Freiwasser lebten. Von Mitte Juli bis Ende August war das Bild weitgehend unverändert; nur wenige 0<sup>+</sup>-Tiere zogen in Richtung Freiwasser. Ende August bis Oktober verliessen die meisten 0<sup>+</sup>-Fische die Standorte, wo sich im Sommer die Wasserpflanzenbestände befunden hatten (BROSSE et al. 2000). Eine Modellrechnung ergab, dass die räumliche Verteilung der 0<sup>+</sup>-Rotaugen im Wesentlichen durch 5 Variablen bestimmt wird: Tiefe, Uferabstand, Uferneigung, Feinstoffanteil und Deckung durch untergetauchte Wasserpflanzen (BROSSE & LEK 2000).

In der Great Ouse, einem Fluss in Grossbritannien wurde das optimale Habitat der 0<sup>+</sup>-Rotaugen folgendermassen umschrieben: Tiefe = 1 m, Substratdurchmesser 15 – 20 mm, vernachlässigbare Fliessgeschwindigkeit, Deckung durch breitblättrige untergetauchte Wasser-

pflanzen (GARNER 1995). Die Entfernung dieser Wasserpflanzenbestände stellt folglich bei "Entkrautungsaktionen" einen tiefgreifenden Eingriff dar: Die Entkrautung führte zu einem massiven Abfall der Zooplanktondichte. Erhöhte Ausschwemmung, Prädation oder Nahrungsmangel der Kleinkrebse werden als mögliche Ursachen angeführt. Eine weitere Folge der Entkrautung war der Einbruch des Wachstums der 0<sup>+</sup>-Rotaugen, welche von Zooplankton auf Aufwuchsnahrung umstellten (GARNER et al. 1996).

Die Wasserpflanzen sind also in Flüssen und Flusstauen nicht nur als Habitat und Unterstand von Belang, sondern auch als Lebensraum für die Nährtiere der juvenilen Rotaugen und als Schutz vor Verdriftung.

Untergetauchte Wasserpflanzenbestände, insbesondere der Bestand des Kammförmigen Laichkrauts und des Durchwachsenen Laichkrauts unterhalb der Bootsplätze bei Oetwil, gehörten auch am Stau Wettingen zu den wichtigsten Habitaten juveniler Rotaugen. Das Angebot an solchen Wasserpflanzenbeständen stellt eine mögliche Erklärung für ihre räumliche Verteilung dar. Daneben waren junge Rotaugen auch häufig im Bereich von Ansammlungen aus Ästen, insbesondere im Bereich der linksufrigen Uferrevitalisierung beim Bahndamm Neuenhof.

### 6.6.2. Winterhabitate

Während im Sommer das Litoral, welches durch Wasserpflanzen besonders strukturiert ist, einen ganz wichtigen Lebensraum für die Rotaugen aller Altersklassen darstellt, wandert zeitweise ein nicht unwesentlicher Teil des Bestandes ins Pelagial (SVÄRDSON 1976; HORPPILA & PELTONEN 1994; HORPPILA ET AL. 1996).

In den meisten Seen verlassen die Rotaugen im Winter das Litoral und suchen grössere Tiefen auf. Bei der Wahl der Winterhabitate spielen Deckungsstrukturen eine wichtige Rolle (JEPSEN & BERG 2002).

Der Zusammenbruch der Bestände an untergetauchten Wasserpflanzen im Herbst zwingt die juvenilen Rotaugen, ihr Habitat, das ihnen Nahrung und Schutz vor Prädatoren bot, zu verlassen. Die Migration in die Winterhabitate und der dortige Aufenthalt kann erheblich durch Prädation geprägt sein: Grössere Rotaugen sind dabei im Vorteil, da sie der Prädation durch Egli nicht mehr in dem Mass ausgesetzt sind wie kleine. KEMPE (1962 zit. in SVÄRDSON 1976) konnte beobachten, dass die mittlere Länge einer Kohorte während der Winterphase (Wachstum eingestellt) markant zunahm, was er mit längenselektiver Mortalität erklärt. Diese könnte auch der Grund dafür sein, dass in allen Gewässern, gleich welcher Temperatur und welches Trophiegrades die Länge bei der Bildung des ersten Jahrrings (Annulus) nie unter 40 – 45 mm lag.

### 6.7. Spezielle Lebensbedingungen in Flusstauen

Stauhaltungen sind insofern ein spezieller Lebensraum, indem pelagische Arten oft fehlen. Das Leben konzentriert sich vorwiegend auf das Litoral. Dadurch erklärt sich, dass der fischereiliche Ertrag in Stauhaltungen oft tiefer ist als in Fließstrecken (FERNANDO & HOLCIK 1991). In Abweichung von dieser Regel waren Rotaugen im Rimov-Stau in Tschechien sowohl im Litoral als auch im Pelagial häufig (VASEK et al. 2006). Versuchsfänge mit Kiemennetzen zeigten aber, dass Artenzahl, Dichte und Biomasse gegen die Stauwurzel hin zunahm, unabhängig davon, ob es sich um juvenile oder adulte Fische handelte (PRCHALOVA et al. 2009). Dadurch, dass die Fluchtmöglichkeiten ins Pelagial in einem Flussstau sehr begrenzt sind, wirkt sich der Zusammenbruch der untergetauchten Wasserpflanzen entsprechend stärker aus.

Da im Stau Wettingen alle beobachteten Wasserpflanzenarten, welche den Jungfischen als Unterstände dienen können (Durchwachsenes Laichkraut, Kamm-Laichkraut, Krauses Laichkraut, Ähriges Tausendblatt), im Herbst zusammenbrechen, dürfte der erste Winter im Leben der jungen Rotaugen eine Schlüsselphase darstellen. Die Prädation könnte in dieser Zeit zu grossen Bestandeseinbussen führen. Der Barsch war in den Netzfängen mit 47% die

mit Abstand häufigste Art. Dazu kommt der Zander mit 5% und die Bachforelle mit 2% (Tab. 5). Nicht zu vergessen sind Fisch fressende Vögel wie Kormoran und Gänsesäger, die in der Schweiz in grosser Zahl überwintern. In verschiedenen Arbeiten wird davon ausgegangen, dass Prädation durch Kormorane zu einem Bestandesrückgang der Rotaugen beitragen kann (STAUB et al. 1993, PEDROLI & ZAUGG 1995, GERSTER 1998b). Die zeitliche Abfolge der Fangrückgänge im Stau Wettingen und anderen Schweizer Gewässern kann jedoch höchstens teilweise durch die Prädation durch Kormorane und Gänsesäger erklärt werden (siehe Kapitel 5.1.1).

## 6.8. Ernährung

Rotaugenlarven leben in grossen Schwärmen ausschliesslich im Litoral (HORPPILA ET AL. 1996). Im Genfersee ernährten sie sich primär von Rädertierchen (PONTON & STROFFEK 1987). In anderen Gewässern wurde in diesem Stadium primär Phytoplankton aufgenommen (SVÄRDSON 1976). Zwei Wochen später bildeten die grösseren Zuckmückenlarven den Hauptteil der Nahrung (NAUWERCK 1999).

In anderen Gewässern spielen schon früh im Leben planktisch lebende Krebse eine wesentliche Rolle bei der Nahrung der Rotaugen. Ein Teil der Rotaugen ernährt sich auch als Adulttier von Zooplankton (ELORANTA & ELORANTA 1978 zit. in BÜSSER 1980; NAUWERCK 1999). Die Ernährung mit Zooplankton wird vor allem bei Rotaugen in der Freiwasserzone beobachtet. So kann ein starker Rotaugen-Jahrgang die bevorzugten planktischen Blattfusskrebse in ihrer Dichte deutlich reduzieren (CRYER et al. 1986, PERSSON & GREENBERG 1990) oder sogar vollständig abschöpfen (TOWNSEND & PERROW 1989, PERSSON & GREENBERG 1990). Ruderfusskrebse werden hingegen von Rotaugen weniger aufgenommen.

In der Uferzone lebende Rotaugen ernähren sich dagegen vermehrt von Schnecken, Muscheln, Detritus und Wasserpflanzen (BÜSSER 1980). Im Winter enthalten die Mägen in der Regel wenig Nahrung, wobei am Grund lebende Wirbellose dominieren. Im eutrophen Aydat-See bildeten Wirbellose, Sediment, Wasserpflanzen und Algen den Hauptteil der Rotaugennahrung. Die Zusammensetzung variierte aber je nach Jahreszeit deutlich (JAMET 1994). Im Frühjahr fressen Rotaugen aus dem Mondsee vermehrt Algen und Teile höherer Wasserpflanzen (NAUWERCK 1999), im Lago Maggiore in Italien dominierten im frühen Frühjahr Algen, Benthos und Detritus (VOLTA & JEPSEN 2008). Wasserpflanzenteile, fädige Algen und Detritus weisen einen verminderten Nährwert auf (HÖLKER et al. 2002) und werden deshalb vor allem in Jahreszeiten aufgenommen, wenn keine andere Nahrung verfügbar ist (SVÄRDSON 1976).

### 6.8.1. Die Wandermuschel als Nahrungsquelle

Die eingeschleppte Wandermuschel spielt auch im Bielersee (BÜSSER 1980) und im Luganersee (GUTHRUF 2003) eine wichtige Rolle als Nahrungsquelle. Nachdem im Pleshcheevo-See in Russland die Wandermuschel eingeschleppt wurde, begannen die Rotaugen ab Längen von 17 cm, sich von Wandermuscheln zu ernähren. Die Folge war ein rascheres Wachstum und eine Zunahme der Maximallänge. Dass Rotaugen bereits bei so geringen Längen fähig sind, die Muscheln aufzunehmen und zu knacken, hängt mit der Form der Schlundknochen zusammen (SHCHERBINA 2008). Untersuchungen mit Röntgenstrahlen zeigten zudem, dass der Schlundapparat des Rotauges im Vergleich zu anderen Cypriniden besser geeignet ist, um grosse Wandermuscheln zu knacken. Darin liegt ein Konkurrenzvorteil gegenüber anderen Fischarten (NAGELKERKE & SIBBING 1996). Im Stau Wettingen mass das kleinste Rotauge mit Wandermuscheln im Magen 16 cm, was sehr gut mit den Verhältnissen im Pleshcheevo-See und im Luganersee (17.4 cm) übereinstimmt (GUTHRUF 2003). Mit Hilfe von Modellrechnungen konnte gezeigt werden, dass Rotaugen, die sich von Mollusken ernähren, rascher wachsen (HÖLKER & BRECKLING 2001). Das rasche Wachstum der Rotaugen im Stau Wettingen und im Luganersee dürfte unter anderem auch mit der Nutzung dieser Nahrungsressource zusammenhängen.

Das Nahrungsspektrum des Rotauges ist sehr breit und variiert je nach Lebensraum sehr stark. Zusammen mit der Fähigkeit zur sehr effizienten Nutzung wichtiger Nahrungsressourcen wie *Cladocera* (PERSSON 1987), die opportunistische Lebensweise (PONTON & STROFFEK 1987) und die Fähigkeit, Nahrungsressourcen wie Algen, Wasserpflanzen und Wandermuscheln zu nutzen, die anderen Arten vorenthalten sind (PERSSON 1987), kann das Rotauge in einem Gewässer sehr konkurrenzstark auftreten (SVÄRDSON 1976; PERSSON 1983).

### 6.9. Fortpflanzungserfolg und Kohortenstärke

Die Alterszusammensetzung der Rotaugen deutet auf erhebliche Schwankungen in der Jahrgangsstärke: Während die Kohorten 2007 und 2010 sehr schwach waren, fiel die Kohorte 2008 sehr stark und diejenige im Jahr 2009 mittelmässig aus. Im Folgenden wurde versucht, mit Hilfe eines Literaturstudiums und mit Hilfe einer Analyse der Abfluss- und Temperaturdaten herauszufinden, welche Umweltfaktoren am ehesten die Kohortenstärke beeinflussen.

In stehenden und in fliessenden Gewässern führen hohe Wassertemperaturen zu starken Jahrgängen bei Rotaugen (NUNN et al. 2003, BRITTON et al. 2004). Eine Erklärung dafür dürfte im gesteigerten Wachstum (BROUGHTON & JONES 1978, NUNN et al. 2003) und der dadurch verminderten Verletzlichkeit der Jungfische durch Prädatoren liegen (Kapitel 3.5). Trotzdem bedeutet ein warmer Sommer in Fliessgewässern und Flusstauen nicht a priori einen starken Jahrgang. Vielmehr ist der Abfluss der Schlüsselfaktor bei der Bestimmung der Jahrgangsstärke. Diese korreliert negativ mit dem maximalen Abfluss während der Jungfischphase, sei es durch direkte Mortalität infolge Hochwasser, sei es durch vermindertes Wachstum der Jungfische bei erhöhtem Abfluss (NUNN et al. 2003, BRITTON et al. 2004, NUNN et al. 2007). Ob die Jungfische ein Hochwasser überstehen können, hängt nicht zuletzt von ihrer Schwimmfähigkeit und damit von der Grösse der Fische während des Hochwasserereignisses ab (BRITTON et al. 2004). Somit wird die Jahrgangsstärke durch das Temperatur- und das Abflussregime vor dem Hochwasser mitbestimmt.

In Fliessgewässern mit stabilem Abflussregime wird die Jahrgangsstärke mehr durch biotische Faktoren bestimmt. In der Rhone in Frankreich entwickelte sich die Dichte der 0<sup>+</sup>-Rotaugen in allen Untersuchungsstrecken sehr synchron. Dabei korrelierte sowohl die Länge der 0<sup>+</sup>-Rotaugen als auch ihre Kohortenstärke mit der Wassertemperatur (GRENOUILLET et al. 2001).

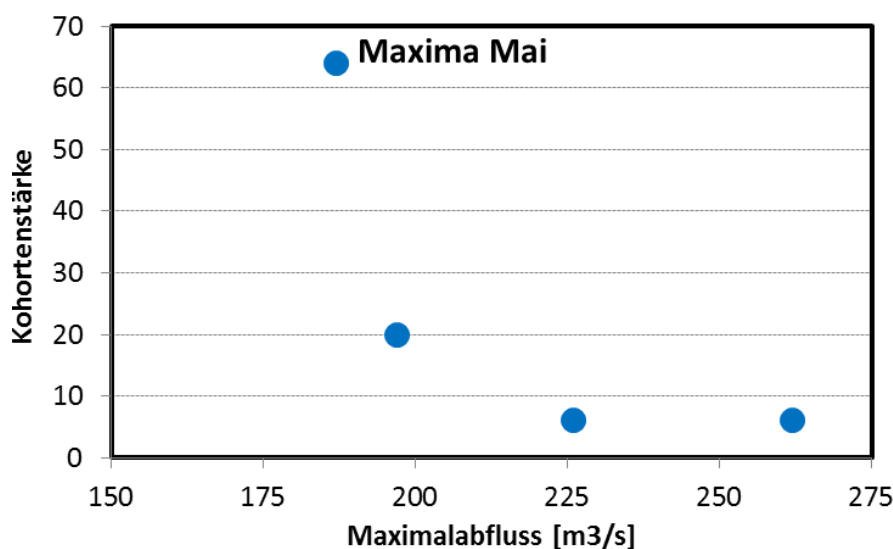


Abb. 44 Kohortenstärke (Fangzahlen) der Rotaugen im Stau Wettingen, dargestellt gegen den Maximalabfluss der Limmat im Mai des Geburtsjahres der Kohorte.

Daneben gibt es auch Gewässer mit sehr geringen Laichtierdichten, in denen der Bestand an Elterntieren ausschlaggebend für die Stärke der folgenden Kohorte ist (KENNEDY 1996). Im Stau Wettingen wurde die auf Grund der Netzfänge und der Sonderfänge durch Angelfischer in den Jahren 2011 und 2012 gewonnenen Kohortenstärken analysiert: Es wurde geprüft, ob der Abfluss (Maxima Mai, Juni und Juli) oder die Wassertemperatur (Tagesgrade Mai, Juni und Juli) mit der Kohortenstärke korrespondieren. Dies war einzig beim maximalen Abfluss im Mai der Fall. Je höher der Abfluss war, desto geringer war die entsprechende Kohortenstärke (Abb. 44). Dies ist plausibel, da die Rotaugenlarven im Monat nach ihrem Schlüpfen am verletzlichsten durch Hochwasser sind. Angesichts der sehr geringen Kohortenzahl ist allerdings eine statistische Prüfung nicht möglich.

## 6.10. Einfluss der Eutrophierung

Auch wenn Rotaugen in oligotrophen Gewässern überleben können (SVÄRDSON 1976), steigt ihre Konkurrenzstärke gegenüber dem Barsch und anderen Arten mit zunehmendem Trophiegrad des Gewässers (SVÄRDSON 1976). Verschiedene Autoren verbinden die Dominanz der Rotaugen mit nährstoffreichen, eutrophen und trüben Bedingungen eines Gewässers (COWX & BROUGHTON 1986). Innerhalb einer Stauhaltung in Tschechien war der Rotaugenanteil im oberen, eutrophen Teil am höchsten (VASEK et al. 2006).

Die Eutrophierung der Gewässer begünstigte im gesamten Verbreitungsgebiet des Rotauges die Dominanz der Art (WINFIELD 1992). Dies konnte sowohl im Quervergleich unterschiedlich produktiver Gewässer als auch in der zeitlichen Veränderung eines bestimmten Gewässers im Laufe der Eutrophierung aufgezeigt werden (PERSSON 1991). Aus Seen sind zahlreiche Untersuchungen bekannt, in denen die Rotaugenbestände sowie die fischereilichen Erträge dieser Art als Folge der Eutrophierung massiv zunahmten (ROTH 1969, BRENNER 1973, WINFIELD 1992, BONFIGLIOLI 1997).

Durch einen Rückgang des Nährstoffgehalts nimmt die Dichte der Rotaugen ab (WINFIELD 1992). Die Daten der Fangstatistik diverser Schweizer Seen (siehe Anhang, Kapitel 10.1.1), liefern einen Hinweis, dass die Entwicklung im Laufe der Reoligotrophierung in der Schweiz sehr ähnlich ablief. In der Mehrzahl der Schweizer Seen setzte der Rückgang der Rotaugenfänge ein, nachdem die Gesamtphosphorkonzentration den Wert von 60 µg/l unterschritten hatte (siehe Anhang). Vorher schwankten die Rotaugenfänge stark. Nicht in dieses Muster passten die hoch eutrophen Zuger- und Sempachersee sowie der Vierwaldstättersee, welcher während der Messperiode nie eine Gesamtphosphorkonzentration von 60 µg/l erreichte.

Für die Seen ist der Wirkungsmechanismus relativ gut bekannt, der über die Nahrungskette zum Rückgang der Fischbiomasse und zum prozentualen Rückgang der Rotaugen verantwortlich ist (PERSSON 1991). Für die Fließgewässer ist der Zusammenhang zwischen dem Phosphorgehalt und der Fischbiomasse sowie dem Rotaugenanteil weniger klar, da die fließende Welle auch bei weniger hohem Nährstoffangebot die Lebensgemeinschaft mit Nährstoffen versorgt. Die Fangstatistik-Daten der grossen Schweizer Flüsse zeigen aber sehr ähnliche Verläufe wie an den flussaufwärts liegenden Seen, was die Vermutung einer vergleichbaren Entwicklung nährt. Ob die analoge Entwicklung auf den Input von Plankton als direkte oder indirekte Nahrungsbasis (über Filtrierer) oder auf Migrationen von Rotaugen zwischen See und Fluss zurückzuführen ist, wird später diskutiert (siehe Kapitel 7).

Die mehr oder weniger synchrone und ähnliche Entwicklung der Rotaugenfänge in der Limmat und im Zürichsee zeigt, dass der Rückgang der Rotaugenfänge im Stau Wettingen kein lokales Phänomen darstellt, sondern zumindest typisch für das Einzugsgebiet ist. Es ist davon auszugehen, dass der Zustand des Zürichsees den Rotaugenbestand im Stau Wettingen massgeblich beeinflusst, sei es durch Migration von Rotaugen aus dem See in die Limmat, sei es durch den Eintrag von Plankton als Nahrungsbasis für die Benthos- und Fischfauna der Limmat.

Die Fangstatistik-Daten zahlreicher Schweizer Seen, Flüsse und Flusstäue machen deutlich, dass die Rotaugenfänge praktisch flächendeckend einbrachen. Dass dahinter auch effektiv ein Bestandesrückgang steht, verdeutlichen Fischaufstiegskontrollen, bei denen die Zahl der aufsteigenden Rotaugen ebenfalls stark einbrach (STAUB & GERSTER 1992, GERSTER 1998a, GUTHRUF 2006, GUTHRUF 2008). Die weitgehend analoge Entwicklung der Phosphorkonzentrationen in diversen Schweizer Gewässern deutet darauf hin, dass die Hauptursache für die tiefgreifenden Veränderungen im Rückgang des Trophiegrades der entsprechenden Gewässer liegen dürfte.

## 7. Fazit und Empfehlungen für die Bewirtschaftung

Das rasche Wachstum, die gute Kondition, der hohe Anteil der Gonaden am Körpergewicht sowie die ausserordentlich frühe Laichreife liefern einen Hinweis, dass die Lebensbedingungen im Stau Wettingen für die dort lebenden Rotaugen günstig sind. Dabei ist aber im Auge zu behalten, dass die Dichte des Rotaugenbestandes ein wesentlicher, aber unbekannter Parameter ist, welcher Kondition, Wachstum und Laichreife massgeblich beeinflusst. Aus der Altersverteilung lässt sich schliessen, dass sich der Bestand im Vergleich zu anderen Gewässern aus relativ jungen Tieren zusammensetzt. Rasches Wachstum und Kurzlebigkeit sind zwei Eigenschaften, welche häufig in Kombination auftreten (WYATT 1988, KENNEDY 1996), insbesondere in Ländern am südlichen Rand des Verbreitungsgebiets der Art (LAPPALAINEN et al. 2008). Allerdings ist das relativ geringe festgestellte Höchstalter vermutlich auch eine Folge der relativ geringen Stichprobenzahl.

In der Literatur gilt das Rotauge als sehr konkurrenzstarke Art. Sie stellt im Vergleich zu anderen Arten relativ geringe Ansprüche an ihren Lebensraum und ist sehr flexibel bezüglich der Produktivität des Gewässers, in ihrer Habitatwahl und ihrer Ernährung.

Dass keine laichenden Rotaugen nachgewiesen werden konnten, kann nicht als Beweis verwendet werden, dass Rotaugen nicht im Stau Wettingen ablaichen. Es ist möglich, dass sich wenige Tiere verteilt auf verschiedene Stellen im Uferbereich fortpflanzten. Auch Laichplätze in grösseren Tiefen oder in der im Kanton Zürich gelegenen Stauwurzel sind möglich. Die genetischen Unterschiede zwischen den Rotaugen beim Kraftwerk Letten und dem Stau Wettingen liefern den Hinweis, dass die im Stau Wettingen lebenden Rotaugen mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht aus dem Zürichsee einwandern, sondern aus natürlicher Fortpflanzung innerhalb des Staus Wettingen stammen. Einen gewichtigen Hinweis für eine erfolgreiche Fortpflanzung innerhalb des Staus liefern die Hybriden, welche beweisen, dass sich wenige der aus der Fischzucht in Deutschland stammenden und in den Stau Wettingen eingesetzten Rotaugen mit den Wildfischen erfolgreich gepaart haben.

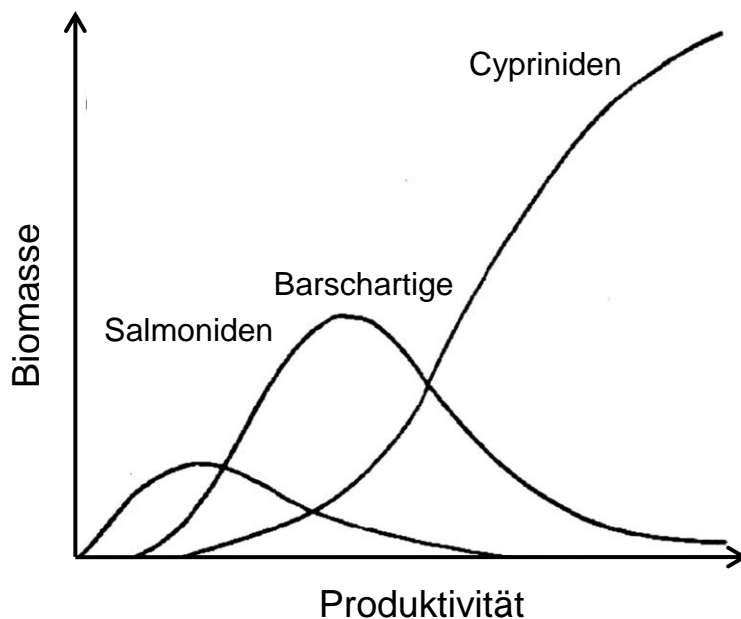
Die Uferkartierungen, die Laichplatzkartierungen und die Aufnahmen im Rahmen der Stichprobenahmen an Larven und juvenilen Tieren lieferten keinen Hinweis, dass ein Mangel an geeigneten Laichhabitaten, Larvenhabitaten oder Juvenilhabitaten für Rotaugen herrschen könnte. Den Winterhabitaten im ersten Lebensjahr könnte hingegen eine limitierende Funktion zukommen, da die jungen Rotaugen die Schutz bietenden Wasserpflanzenbestände verlassen müssen und diversen Prädatoren ausgesetzt sind. Eine grobe Analyse der Kohortenstärken lieferte zudem Hinweise, dass starke Hochwasser im Mai einen negativen Einfluss auf das Aufkommen junger Rotaugen haben könnten. Das Vorhandensein mehrerer Kohorten zeigt aber, dass die Jahrgänge die frühe Entwicklungsphase überstehen. Der Anteil des Rotauges an den Netzfängen und an den Anglerfängen schliesslich belegt, dass das Rotauge im Stau Wettingen nach wie vor eine bedeutende Fischart ist.

Hinweise auf einen Nahrungsengpass konnten keine gefunden werden. Im Gegenteil, im Stau Wettingen kommen zahlreiche Arten von Wasserwirbellosen in hohen Dichten vor, welche von den Rotaugen als Nährtiere genutzt werden.

Dennoch zeigen die Analysen der Fangstatistik, dass die Rotaugenfänge im Stau Wettingen massiv abgenommen haben. Dies ist nicht stauspezifisch, sondern ein Abbild einer Entwicklung in den meisten Schweizer Gewässern. Die Reoligotrophierung erweist sich als der wahrscheinlichste Faktor, welcher für die Veränderungen verantwortlich ist. Dies ergibt sich sowohl aus der Analyse der Fangdaten im Vergleich mit den Phosphorkonzentrationen als auch aus einem Literaturstudium zum Thema.

Die Produktivität eines Gewässers bestimmt nicht nur den Umfang des Fischbestandes und damit den Fangertrag, der abgeschöpft werden kann, sondern auch die Zusammensetzung der Fischartengemeinschaft (Abb. 45). Während in oligotrophen Gewässern mit geringer Produktivität Salmoniden dominieren, kommen in mesotrophen bis leicht eutrophen Gewässern mit mittlerer Produktivität die Barschartigen am häufigsten vor. In sehr produktiven Gewässern hingegen dominieren die Cypriniden. In den meisten produktiven Gewässern

sind Barsch und Rotauge die mit Abstand häufigsten Arten. Lediglich in hoch eutrophen Gewässern wird das Rotauge durch den Brachsmen verdrängt (PERSSON 1991). Der Zürichsee und damit auch die Limmat befanden sich in den frühen 1970er-Jahren am rechten Rand der Grafik in Abb. 45. Die Fänge waren massiv höher als heute. Cypriniden, dominiert von Rotaugen, bildeten den grössten Anteil. Durch die Abnahme der Produktivität als Folge des Ausbaus der ARA und des Phosphatverbots in Waschmitteln verschob sich die Situation in Richtung der Mitte der Grafik, mit einer markanten Abnahme des Gesamtfangs und des Anteils der Cyprinidenfänge sowie einer prozentualen Zunahme der Barschfänge. Letzteres ist deutlich an den hohen Barsch-Anteilen der Netzfänge erkennbar.



**Abb. 45 Schematische Darstellung der Veränderung der Fischartengemeinschaft in Abhängigkeit von der Produktivität eines Gewässers (PERSSON 1991).**

Die Besiedlung des Staus Wettingen durch Wirbellose zeigt eindrücklich die positiven Folgen der Reoligotrophierung. Während früher der Flussgrund praktisch ausschliesslich von Vertretern weniger Arten besiedelt war, welche organische Belastungen und Sauerstoffmangel tolerieren, kommen heute wieder zahlreiche Arten vor, welche zum Teil relativ hohe Ansprüche an den Sauerstoffgehalt stellen. Noch höher ist die Artenvielfalt im Uferbereich. Die Veränderung des Fischbestandes ist daher nicht als dramatisch zu beurteilen. Massnahmen zur Erhöhung des fischereilichen Ertrags wie z. B. Rotaugenbesatz drängen sich nicht auf, zumal der Erfolg der Massnahmen äusserst gering war (8% stammten aus Besatz). 92% der gefangenen Rotaugen stammten aus natürlicher Fortpflanzung (KLÄFIGER et al. 2014). Da die populationsgenetischen Untersuchungen zudem zeigten, dass der Besatz mit den genetisch signifikant verschiedenen Rotaugen aus Deutschland zu einer starken Veränderung des Erbguts der Population beitragen kann, ist dringend von weiterem Rotaugenbesatz abzusehen (KLÄFIGER et al. 2014).

Erfreulich war der grosse Beitrag des Barsches am Gesamtfang. Der hohe Anteil an Tieren zwischen 30 und 40 cm Länge liefert zudem einen Hinweis auf eine wenig intensive Befischung dieser Art. Eine stärkere Nutzung des Barsches wäre nicht nur fischereilich interessant. Es besteht auch die Möglichkeit, dass durch eine intensivere Befischung der Prädationsdruck auf das Rotauge sinkt und dadurch seine Überlebenschancen im Verlauf des ersten Winters erhöht werden.



## 8. Dank

Die Leitung der Arbeit durch Thomas Stucki und David Bittner von der Sektion Jagd und Fischerei des Kantons Aargau empfanden wir als sehr konstruktiv. Wegen der Grösse und Tiefe des Staus musste die Methodik wiederholt den Verhältnissen angepasst werden. Wir konnten dabei immer auf die Unterstützung der beiden Kantonsvertreter zählen. Das Elektrofängergerät des Kantons Aargau sowie einen Satz Minnow-Traps zum Fang von Jungfischen wurde uns kostenlos zur Verfügung gestellt. Herzlichen Dank auch für die Bereitstellung umfassender Daten zum Fang, Besatz und weiteren wertvollen Informationen zum Stau Wettingen.

Adolf Bolliger Kurt und Braun danken wir für die Organisation der Sonderfänge durch die Angelfischer. Diese Fänge bildeten eine wichtige Grundlage der Studie. Die Pachtvereinigung Stausee Wettingen beschaffte die Fangstatistik-Daten der Jahre 1969 bis 1995.

Für die weiteren Untersuchungen auf dem Wasser (Netzfischerei, Makrozoobenthos etc.) stellte uns das Kraftwerk Wettingen ein Boot inkl. Führer zur Verfügung. Die Schiffsführer Hansjörg Friedrich und Werner Meier erleichterten uns mit ihrer Ortskenntnis unsere Untersuchungen ebenso wie die freiwilligen Helfer der Pachtvereinigung Stausee Wettingen.

Ganz besonders danken wir Adolf Bolliger, der uns ausnahmslos bei allen Feldarbeiten tatkräftig unterstützte und uns an seinem umfassenden Wissen zur Fischerei im Stau Wettingen teilhaben liess.

Ganz besonders wertvoll war die Mitarbeit von Heinz Weber, Berufsfischer vom Hallwilersee. Ohne seine Fachkenntnisse wäre der Netzfang nicht möglich gewesen. An insgesamt 10 Fangtagen konnten wir auf seine Unterstützung zählen. Bereits am Abend setzte er zusammen mit A. Bolliger die Netze und hatte nach dem Heben oft noch Stunden mit dem Reinigen der Netze zu tun.

Fischökologische Studien und andere relevante Unterlagen über den Stau Wettingen sowie Rotaugen, die im Rahmen der Fischaufstiegskontrollen beim Wehr Wettingen gefangen wurden, stellten uns die EWZ zur Verfügung.

Der Kanton St. Gallen stellte uns freundlicherweise sein Fangboot inkl. Besatzung zur Verfügung. Für die Kosten kam der Kanton Aargau auf.

Dem Fischzüchter Karl Mehler von der Fischzucht Tirschenreuth, Bayern danken wir herzlich für die Bereitstellung von 30 Gewebeproben von Rotaugen, welche wir für die Untersuchungen zum Verbleib der Besatzfische benötigten.

Herr Romano Perotto sammelte im Rahmen der Fischaufstiegskontrollen beim Kraftwerk Letten (EWZ) 30 Gewebeproben von Rotaugen, welche wir ebenfalls für die Besatzstudie benötigten.

Ohne die finanzielle Unterstützung durch die Sektion Jagd und Fischerei des Kantons Aargau, des Ökofonds der EWZ und der Pachtvereinigung Stausee Wettingen wäre die Studie nicht möglich gewesen, vielen Dank.

Die Tauchprobenahme vom 20. November 2012 erfolgte in Zusammenarbeit mit John Hesseschwerdt (Rheos) und seinem Taucherteam. Die Zusammenarbeit war trotz der kalten Witterung sehr angenehm.

Bei den unzähligen Feldtagen waren wir immer wieder auf die Hilfe von Dritten angewiesen. Jakob Schmidt und Katrin, Susanne, Thomas und Daniel Guthruf danken wir vielmals.

## 9. Literaturverzeichnis

- ANGÉLIBERT, S., BROUSSE, S., DAUBA, F., LEK, S. (1999): Changes in roach (*Rutilus rutilus* L.) population structure induced on draining a large reservoir. - Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie 322: 331-338.
- BAGENAL, T. (1978): Methods for assessment of fish production in fresh waters.
- BEARDSLEY, H. (2012): Factors affecting the growth and recruitment of cyprinid populations of the River Wensum, Eastern England, with special reference to roach *Rutilus rutilus* (L.). - Master of Philosophy Bournemouth University 172 S.
- BONFIGLIOLI, R. A. (1997): Populationsdynamik des Rotauges (*Rutilus rutilus* (L.)) im Zugersee. - Diplomarbeit Forschungszentrum für Limnologie der EAWAG / ETH: 66 S.
- BRENNER, T. (1973): Die Auswirkung der Eutrophierung des Bodensees auf Nahrung und Wachstum der Plötze (*Rutilus rutilus*). - Der Fischwirt 23: 98-99.
- BRITTON, J. R., COWX, I. G., AXFORD, S. N., FREAR, P. A. (2004): An overview of recruitment patterns of roach *Rutilus rutilus* (L.) between 1969 and 2001 in the rivers of England and their influence on population abundance. - Ecohydrol. Hydrobiol. 4: 91-102.
- BROSSE, S., GROSSMAN, G. D., LEK, S. (2000): Fish assemblage patterns in the littoral zone of a European reservoir. - Freshwater Biology 52: 448-458.
- BROSSE, S., LEK, S. (2000): Modeling Roach (*Rutilus rutilus*) microhabitat using linear and nonlinear techniques. - Freshwater Biology 44: 441-452.
- BROUGHTON, N. M., JONES, N. V. (1978): An investigation into the growth of 0-group roach, (*Rutilus rutilus* L.) with special reference to temperature. - J. Fish Biol. 12: 345-357.
- BÜSSER, P. (1998): Erneuerung Limmatwerk Wettingen, Umweltverträglichkeitsbericht 1. Stufe, Fachbericht nr. 4, Gewässerökologie und Fischerei. - UV-Bericht Peter Büsser, Fischereibiologische Untersuchungen, Auftrag: EWZ, Kraftwerk Wettingen: 14 S. + 15 S. Anhang.
- COWX, I. G., BROUGHTON, N. M. (1986): Changes in the species composition of anglers' catches in the River Trent (England) between 1969 and 1984. - J. Fish Biol. 28: 625-636.
- CRYER, M., PEIRSON, G., TOWNSEND, C. R. (1986): Reciprocal interactions between roach, *Rutilus rutilus*, and zooplankton in a small lake: prey dynamics and fish growth and recruitment. - Limnol. Oceanogr. 31: 1022-1038.
- DRAG-KOZAK, E., SZYMACHA, J., EPLER, P., SOCHA, M., LUSZCZEK-TROJNAR, E. (2005): Maturity stage of roach (*Rutilus rutilus* L.) and bream (*Abramis brama* L.) gonads from the Solina dam reservoir, and perch (*Perca fluviatilis* L.) gonads from the Roznow dam reservoir. - Acta Scientiarum Polonorum Piscaria 4: 51-58.
- ESCHER, M., BETTGE, K., LANY, C. (2012): Magenanalysen bei Gänsesäger und Graureiher. - Schlussbericht Projekt GZA, TP F2 Aqua-Sana, Auftrag: Fischereiinspektorat des Kantons Bern: 10 S.
- FERNANDO, C. H., HOLCIK, J. (1991): Fish in reservoirs. - Internat. Rev. Hydrobiol. 76: 149-167.
- GARNER, P. (1995): Suitability indices for juvenile 0+ roach [*rutilus rutilus* (L.)] using point abundance sampling data. - Regulated Rivers: Research & Management 10: 99-104.
- GARNER, P., BASS, J. A. B., COLLETT, G. D. (1996): The effects of weed cutting upon the biota of a large regulated river. - Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 6: 21-29.
- GERSTER, S. (1998a): Hochrhein, Aufstiegskontrollen 1995/96; Vergleich mit früheren Erhebungen. - BUWAL, Vollzug Umwelt Mitteilungen zur Fischerei 60: 1-137.
- GERSTER, S. (1998b): Hochrhein, Rückgang der Rotaugenbestände; mögliche Ursachen. - BUWAL, Vollzug Umwelt Mitteilungen zur Fischerei 60: 139-215.

- GILLET, C., DUBOIS, J. P. (1995): A survey of the spawning of perch (*Perca fluviatilis*), pike (*Esox lucius*), and roach (*Rutilus rutilus*), using artificial spawning substrates in lakes. - *Hydrobiologia* 300/301, 409-415.
- GOLDSPINK, C. R. (1979): The population density, growth rate and production of roach *Rutilus rutilus* (L.) in Tjeukemeer, The Netherlands. - *J. Fish Biol.* 15: 473-498.
- GRENOUILLET, G., HUGUENY, B., CARREL, G. A., OLIVIER, J. M., PONT, D. (2001): Large-scale synchrony and inter-annual variability in roach recruitment in the Rhône River: the relative role of climatic factors and density-dependent processes. - *Freshwater Biology* 46: 11-26.
- GRIMAS, U., NILSSON, N. A. (1965): On the food chain in some north Swedish river reservoirs. - *Inst. of Freshwater Res. Drottningholm* 46: 31-48.
- GUTHRUF, J. (2003): Die Biologie des Rotauges im Luganersee (TI). - BUWAL, Mitteilungen zur Fischerei 74: 89 S.
- GUTHRUF, J. (2006): Koordinierte Fischaufstiegskontrollen an den Aare-Kraftwerken zwischen Solothurn und der Mündung in den Rhein. - Schlussbericht Aquatica, Auftrag: Amt für Umwelt Kanton Solothurn, Amt für Wald, Jagd und Fischerei Kanton Solothurn, BVU Kanton Aargau, Abt. Jagd und Fischerei und Abt. Landschaft und Gewässer 99 S. + 44 S. Anhang.
- GUTHRUF, J. (2008): Fischaufstieg am Hochrhein. Koordinierte Zählung 2005/06. - *Umwelt-Wissen* 8010: 161 S.
- HERZIG, A., WINKLER, H. (1985): Der Einfluss der Temperatur auf die embryonale Entwicklung der Cypriniden. - *Österreichs Fischerei* 38, 182-196.
- HLADIK, M., KUBECKA, J. (2003): Fish migration between a temperate reservoir and its main tributary. - *Hydrobiologia* 504: 251-266.
- HÖLKER, F., BRECKLING, B. (2001): An individual-based approach to depict the influence of the feeding strategy on the population structure of roach (*Rutilus rutilus* L.). - *Limnologia - Ecology and Management of Inland Waters* 31: 69-78.
- HÖLKER, F., HAERTEL-BORER, S., STEINER, S., MEHNER, T. (2002): Effects of piscivore-mediated habitat use on growth, diet and zooplankton consumption of roach: an individual-based modelling approach. - *Freshwater Biology* 47: 2345-2358.
- HYSLOP, E. J. (1980): Stomach contents analysis - a review of methods and their application. - *J. Fish Biol.* 17: 411-429.
- JAMET, J.-L. (1994): Feeding activity of adult roach (*Rutilus rutilus* (L.)), perch (*Perca fluviatilis* L.) and ruffe (*Gymnocephalus cernua* (L.)) in eutrophic Lake Aydat (France). - *Aquatic Sciences* 56: 376-387.
- JAMET, J.-L., DESMOLLES, F. (1994): Growth, reproduction and condition of roach (*Rutilus rutilus* (L.)), perch (*Perca fluviatilis*, L.) and ruffe (*Gymnocephalus cernuus* (L.)) in eutrophic Lake Aydat (France). - *International Revue of Hydrobiology* 79: 305-322.
- JEPSEN, N., BERG, S. (2002): The use of winter refuges by roach tagged with miniature radio transmitters. - *Hydrobiologia* 165 167-173.
- KAHL, U., HÜLSMANN, S., RADKE, R. J., BENNDORF, J. (2008): The impact of water level fluctuations on the year class strength of roach: Implications for fish stock management. - *Limnologia* 38: 258-268.
- KENNEDY, C. R. (1996): The fish of Slapton Ley. - *Field Studies* 8: 685-697.
- KESTEMONT, P., RINCHARD, J., FEYS, V., FOSTIER, A. (1999): Spawning migrations, sexual maturity and sex steroid levels in female roach *Rutilus rutilus* from the River Meuse. - *Aquat. Sci.* 61: 111-121.
- KIRCHHOFER, A., BREITENSTEIN, M., ZAUGG, B. (2007): Rote Liste, Fische und Rundmäuler. - Bundesamt für Umwelt BAFU, Umwelt-Vollzug 34: 5-64.

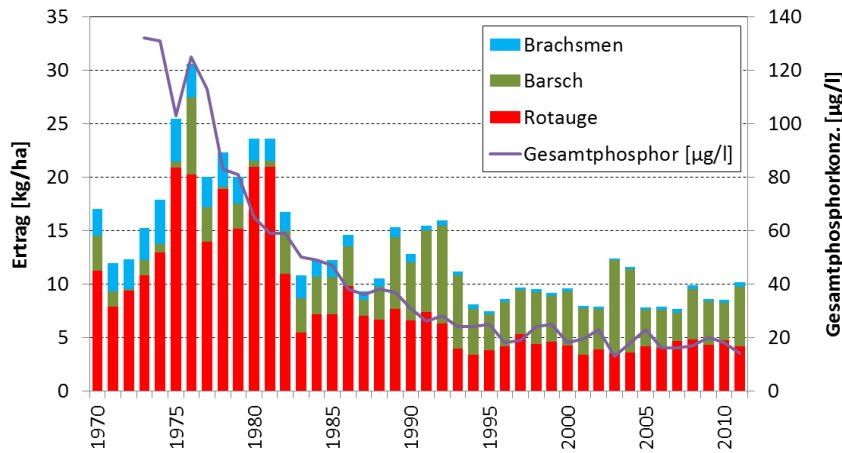
- KLÄFINGER, Y., SALZBURGER, W. (2012): Populationsgenetische Untersuchungen der Äschen in der Birs. - Bericht Universität Basel, Zoologisches Institut, Evolutionsbiologie, Auftrag: Kantonaler Fischereiverband Baselland (KFVBL): 9 S.
- KLÄFINGER, Y., SALZBURGER, W. (2013): Rotaugenstudie an der Limmat, Populationsgenetische Untersuchungen von Larven und Rotaugen in der Limmat. - Bericht Zoologisches Institut der Universität Basel, Auftrag: Departement Bau, Verkehr und Umwelt: Kanton Aargau: 13 S.
- KLÄFINGER, Y., VONLANTHEN, P., SALZBURGER, W. (2014): Populationsgenetische Untersuchungen von Rotaugen in der Limmat, Erfolgskontrolle der Besatzmassnahmen im Stau Wettingen. - Schlussbericht Universität Basel, Zoologisches Institut, Evolutionsbiologie, Aquabios GmbH, Auftrag: Kanton Aargau, Sektion Jagd und Fischerei:
- KÖHLER, C. (1992): Morphologische Untersuchungen zur intraspezifischen Variabilität des Rotauges *Rutilus rutilus* (L.), aus dem Rhein. - Fischökologie 6: 43-67.
- L'ABBÉE-LUND, J. H., VOLLESTAD, L. A. (1987): Feeding migration of roach, *Rutilus rutilus* (L.), in Lake Arungen, Norway. - J. Fish Biol. 30: 349-355.
- LAPPALAINEN, J., TARKAN, A., HARROD, C. (2008): A meta-analysis of latitudinal variations on life-history traits of roach, *Rutilus rutilus*, over its geographical range: Linear and non-linear relationships? - Freshwater Biology 53: 1491-1501.
- LIECHTI, P. (1994): Der Zustand der Seen in der Schweiz. - BUWAL, Schriftenreihe Umwelt 237: 159 S.
- LOVAS, R. (1988): Populationökologische Untersuchungen am Rotauge (*Rutilus rutilus* L.) im Alpnersee. - Diplomarbeit ETH: 46 S.
- MAITLAND, P. S., CAMPBELL, R. N. (1992): Freshwater Fishes of the British Isles. - Harper Collins Publishers, 368 S.
- MANN, R. H. K. (1973): Observations on the age, growth, reproduction and food of the roach *Rutilus rutilus* (L.) in two rivers in southern England. - J. Fish Biol. 5: 707-736.
- MATENA, J. (1995): The role of ecotones as feeding grounds for fish fry in a Bohemian water supply reservoir. - Developments in Hydrobiology 105: 31-38.
- MOLLS, F. (1999): New insights into the migration and habitat use by bream and white bream in the floodplain of the River Rhine. - J. Fish Biol. 55: 1187-1200.
- MÜLLER, B. (1969): Verwertungs- und Beseitigungsmöglichkeiten der Weissfische. - Veröffentlichungen des Eidgenössischen Amtes für Umweltschutz und der Eidgenössischen Fischereiinspektion 26: 17 S.
- MÜLLER, R. (1983): Das Weissfischproblem im Alpner See. - Der Fischwirt 5: 37-39.
- MÜLLER, R., MENG, H. J. (1986): Factors governing the growth rate of roach *Rutilus rutilus* (L.) in pre-alpine Lake Sarnen. - Schweiz. Z. Hydrol. 48: 135-144.
- NAGELKERKE, L. A. J., SIBBING, F. A. (1996): Efficiency of feeding on zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) by common bream (*Abramis brama*), white bream (*Blicca bjoerkna*), and roach (*Rutilus rutilus*): the effects of morphology and behavior. - Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53: 2847-2861.
- NAUWERCK, A. (1999): Fakultativ planktivore Fische im Mondsee und ihre Nahrung - II. Das Rotauge (*Rutilus rutilus* (L.)). - Österreichs Fischerei 52: 17-29.
- NUNN, A. D., COWX, I. G., FREAR, P. A., HARVEY, J. P. (2003): Is water temperature an adequate predictor of recruitment success in cyprinid fish populations in lowland rivers? - Freshwater Biology 48: 579-588.
- NUNN, A. D., HARVEY, J. P., BRITTON, J. R., FREAR, P. A., COWX, I. G. (2007): Fish, climate and the Gulf Stream: the influence of abiotic factors on the recruitment success of cyprinid fishes in lowland rivers. - Freshwater Biology 52: 1576-1586.

- PATZNER, R. A., RIEHL, R., GLECHNER, R. (1996): Die Eier heimischer Fische. 11. Plötze - *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758) und Perlfisch - *Rutilus frisii meidingeri* (Heckel, 1852) (Cyprinidae). - Fischökologie 9, 15-26.
- PEDROLI, J.-C., ZAUGG, C. (1995): Kormoran und Fische, Synthesebericht. - BUWAL, Schriftenreihe Umwelt 242: 94 S.
- PERSSON, L. (1987): Effects of habitat and season on competitive interactions between roach (*Rutilus rutilus*) and perch (*Perca fluviatilis*). - Oecologia 73: 170-177.
- PERSSON, L. (1991): Interspecific interactions. Cyprinid fishes - systematics, biology and exploitation. Winfield, I. J., Nelson, J. S. London, Chapman & Hall: 530-551.
- PERSSON, L., GREENBERG, L. A. (1990): Juvenile competitive bottlenecks: the perch (*Perca fluviatilis*) - roach (*Rutilus rutilus*) interaction. - Ecology 71: 44-56.
- POIZAT, G., PONT, D. (1996): Multi-scale approach to species-habitat relationships: juvenile fish in a large river section. - Freshwater Biology 36: 611-622.
- PONTON, D., GERDEAUX, D. (1987): La population de gardon (*Rutilus rutilus* (L.)) du Lac Léman en 1983-85. Structure en âge, déterminisme du recrutement, analyse de la croissance. - Bull. Fr. Pêche Piscic. 305: 43-53.
- PRCHALOVA, M., KUBECKA, J., CECH, M., FROUZOVA, J., DRASTIK, V., HOHAUSOVA, E., JUZA, T., KRATOCHVIL, M., MATENA, J., PETERKA, J., RIHA, M., TUSER, M., VASEK, M. (2009): The effect of depth, distance from dam and habitat on spatial distribution of fish in an artificial reservoir. - Ecology of freshwater fish 18: 247-260.
- ROSSIER, O., CASTELLA, E., LACHAVANNE, J.-B. (1996): Influence of submerged aquatic vegetation on size class distribution of perch (*Perca fluviatilis*) and roach (*Rutilus rutilus*) in the littoral zone of Lake Geneva (Switzerland). - Aquat. Sci. 58: 1-14.
- ROTH, H. (1969): Das Weissfischproblem in der Schweiz. - Veröffentlichungen des Eidgenössischen Amtes für Umweltschutz und der Eidgenössischen Fischereiinspektion 26: 9 S.
- SCHÄR, O. (1978): Neue Wege bei der Verwertung von Weissfischen in der Schweiz. - Veröffentlichungen des Eidgenössischen Amtes für Umweltschutz und der Eidgenössischen Fischereiinspektion 37: 54-59.
- SEIFERT, K. (1984): Angel- und Fischereischule 3: Spezielle Fischkunde. München, BLV Verlagsgesellschaft.
- SHCHERBINA, G. K. (2008): The structure of *Dreissena polymorpha* (Pallas) biocenosis and the role of mollusk in roach *Rutilus rutilus* (Linnaeus) feeding in Pleshcheevo Lake. - Inland Water Biology 1: 380-387.
- STAUB, E., GERSTER, S. (1992): Fischpassanlagen der Hochrheinkraftwerke: Aufstiegskontrollen 1985 / 86 und Vergleich mit früheren Erhebungen. - BUWAL, Schriftenreihe Fischerei 48: 109 S.
- STAUB, E., KRÄMER, A., MÜLLER, R., RUHLÉ, C., WALTER, J. (1993): Grundlagenbericht zum Thema Kormoran und Fische. - BUWAL, Schriftenreihe Fischerei 50: 156 S.
- TOWNSEND, C. R., PERROW, M. R. (1989): Eutrophication may produce population cycles in roach, *Rutilus rutilus* (L.), by two contrasting mechanisms. - J. Fish Biol. 34: 161-164.
- VASEK, M., KUBECKA, J., CECH, M., DRASTIK, V., MATENA, J., MRKVICKA, T., PETERKA, M. (2009): Diel variation in gillnet catches and vertical distribution of pelagic fishes in a stratified European reservoir. - Fisheries Research 96: 64-69.
- VASEK, M., KUBECKA, J., MATENA, J., SED'A, J. (2006): Distribution and diet of 0<sup>+</sup> fish within a canyon-shaped European reservoir in late summer. - Internat. Rev. Hydrobiol. 91: 178-194.
- VOLTA, P., JEPSEN, N. (2008): The recent invasion of *Rutilus rutilus* (L.) (Pisces: Cyprinidae) in a large South-Alpine lake: Lago Maggiore. - Journal of Limnology 67: 163-170.

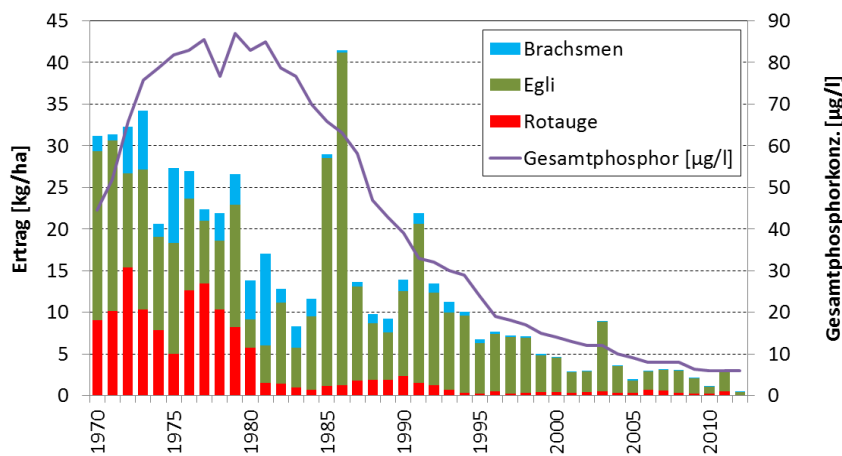
- WINFIELD, I. J. (1992): Threats to the lake fish communities of the UK arising from eutrophication and species introductions. - Neth. J. Zool. 42: 233-242.
- WYATT, R. G. (1988): The cause of extreme year class variation in a population of roach, *Rutilus rutilus* L., from a eutrophic lake in southern England. - J. Fish Biol. 32: 409-421.
- ZAUGG, B. (1987): Quelques aspects de dynamique des populations, de biologie générale et de biométrie du gardon (*Rutilus rutilus* L.) dans quatre lacs du Plateau suisse. - Dissertation Université de Neuchâtel: 119 S.
- ZAUGG, B., STUCKI, P., PEDROLI, J.-C., KIRCHHOFER, A. (2003): Pisces Atlas. - Fauna Helvetica 7: 231 S.
- ZAUNER, G., EBERSTALLER, J. (1999a): Klassifizierungsschema der österreichischen Flußfischfauna in bezug auf deren Lebensraumsprüche. - Österreichs Fischerei 52: 198-205.
- ZAUNER, G., EBERSTALLER, J. (1999b): Klassifizierungsschema der österreichischen Flussfischfauna in Bezug auf deren Lebensraumsprüche. - Österreichs Fischerei 52/1999: 198-205.

## 10. Anhang

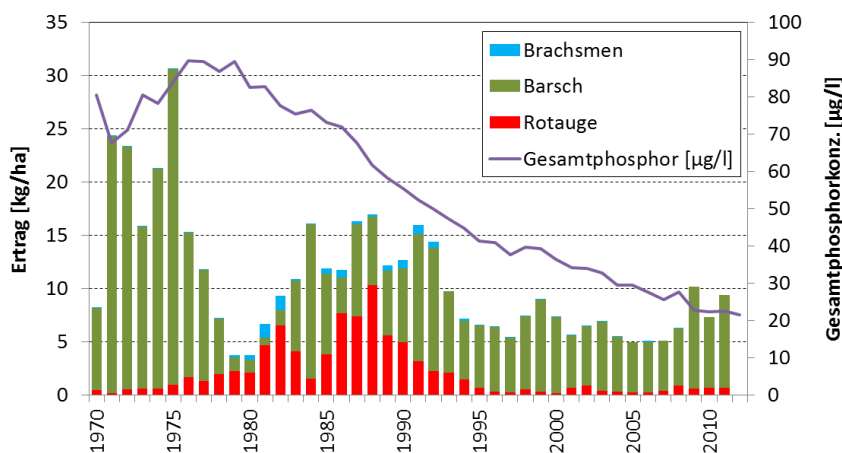
### 10.1.1. Fangentwicklung in verschiedenen Seen der Schweiz



**Abb. 46** Entwicklung des Brachsmen-, Egli- und Rotaugen-Ertrags der Berufs- und Angelfischer im Bielersee, im Vergleich mit der Gesamtposphorkonzentration (Zirkulationswert). Daten BAFU.



**Abb. 47** Entwicklung des Brachsmen-, Egli- und Rotaugen-Ertrags der Berufs- und Angelfischer im Bodensee, im Vergleich mit der Gesamtposphorkonzentration (Zirkulationswert). Daten BAFU.



**Abb. 48** Entwicklung des Brachsmen-, Egli- und Rotaugen-Ertrags der Berufs- und Angelfischer im Genfersee, im Vergleich mit der Gesamtposphorkonzentration (Zirkulationswert). Daten BAFU.

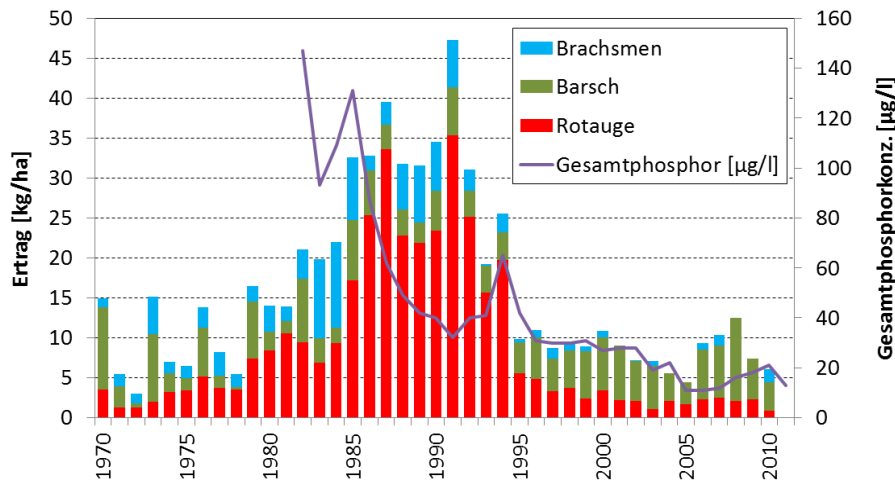


Abb. 49 Entwicklung des Brachsmen-, Egli- und Rotaugen-Ertrags der Berufs- und Angelfischer im Murtensee, im Vergleich mit der Gesamtphosphorkonzentration (Zirkulationswert). Daten BAFU.

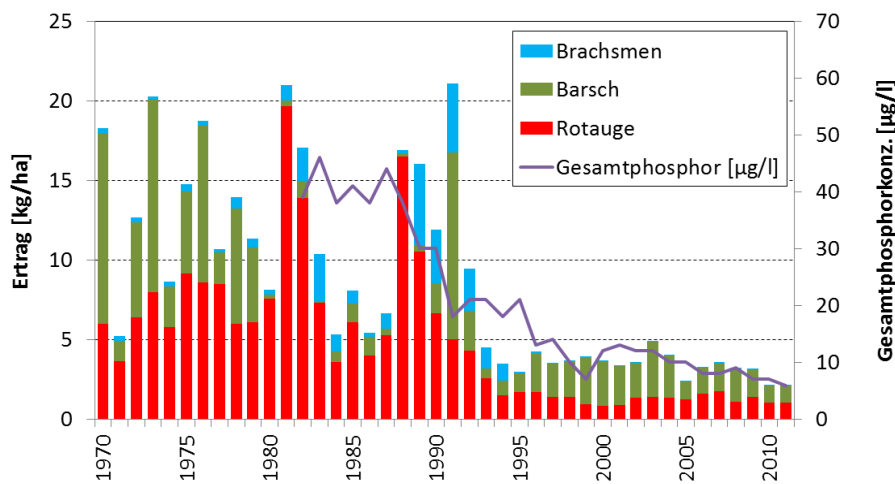


Abb. 50 Entwicklung des Brachsmen-, Egli- und Rotaugen-Ertrags der Berufs- und Angelfischer im Neuenburgersee, im Vergleich mit der Gesamtphosphorkonzentration (Zirkulationswert). Daten BAFU.

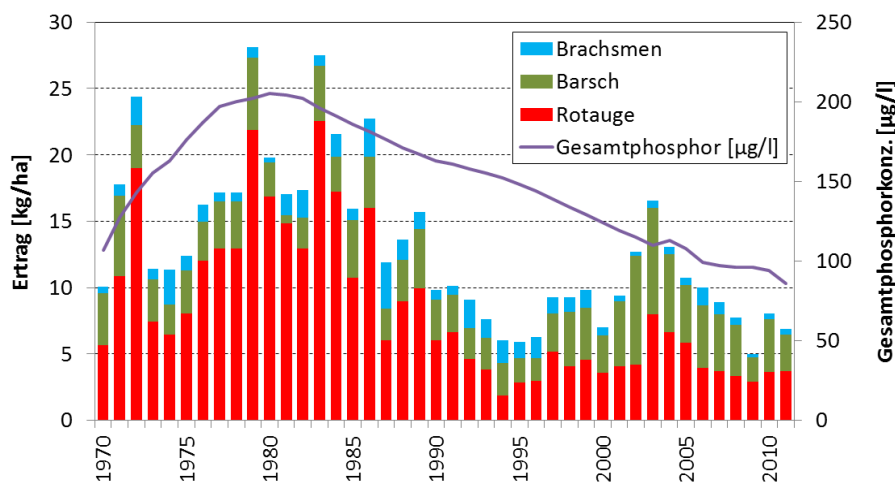


Abb. 51 Entwicklung des Brachsmen-, Egli- und Rotaugen-Ertrags der Berufs- und Angelfischer im Zugersee, im Vergleich mit der Gesamtphosphorkonzentration (Zirkulationswert). Daten BAFU.



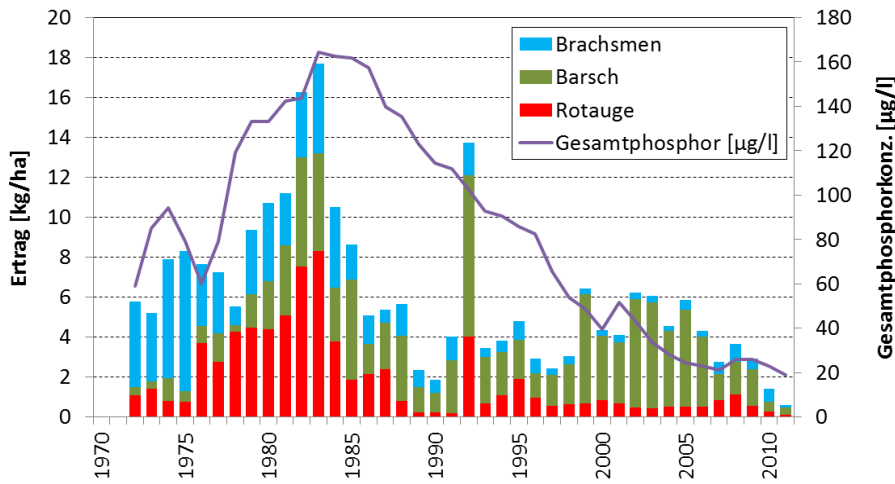


Abb. 52 Entwicklung des Brachsmen-, Egli- und Rotaugen-Ertrags der Berufs- und Angelfischer im Sempachersee, im Vergleich mit der Gesamtphosphorkonzentration (Zirkulationswert). Daten BAFU.

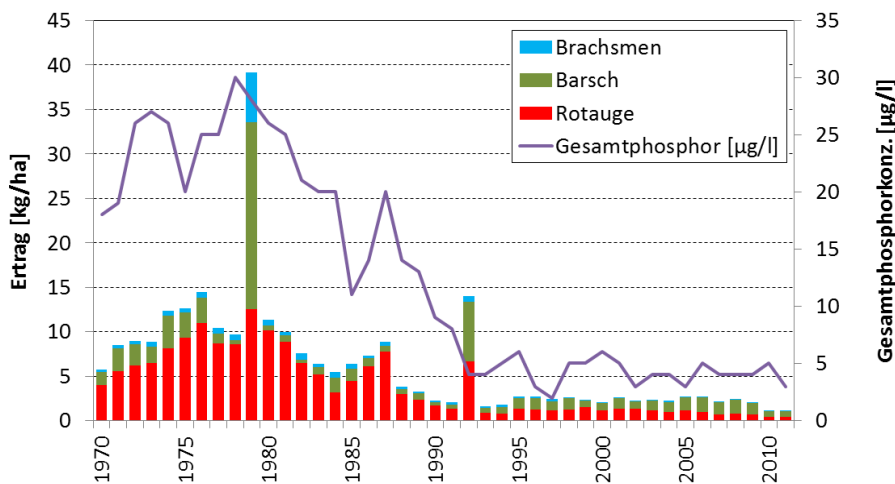


Abb. 53 Entwicklung des Brachsmen-, Egli- und Rotaugen-Ertrags der Berufs- und Angelfischer im Vierwaldstättersee, im Vergleich mit der Gesamtphosphorkonzentration (Zirkulationswert). Daten BAFU.

### 10.1.2. Uferbeschaffenheit

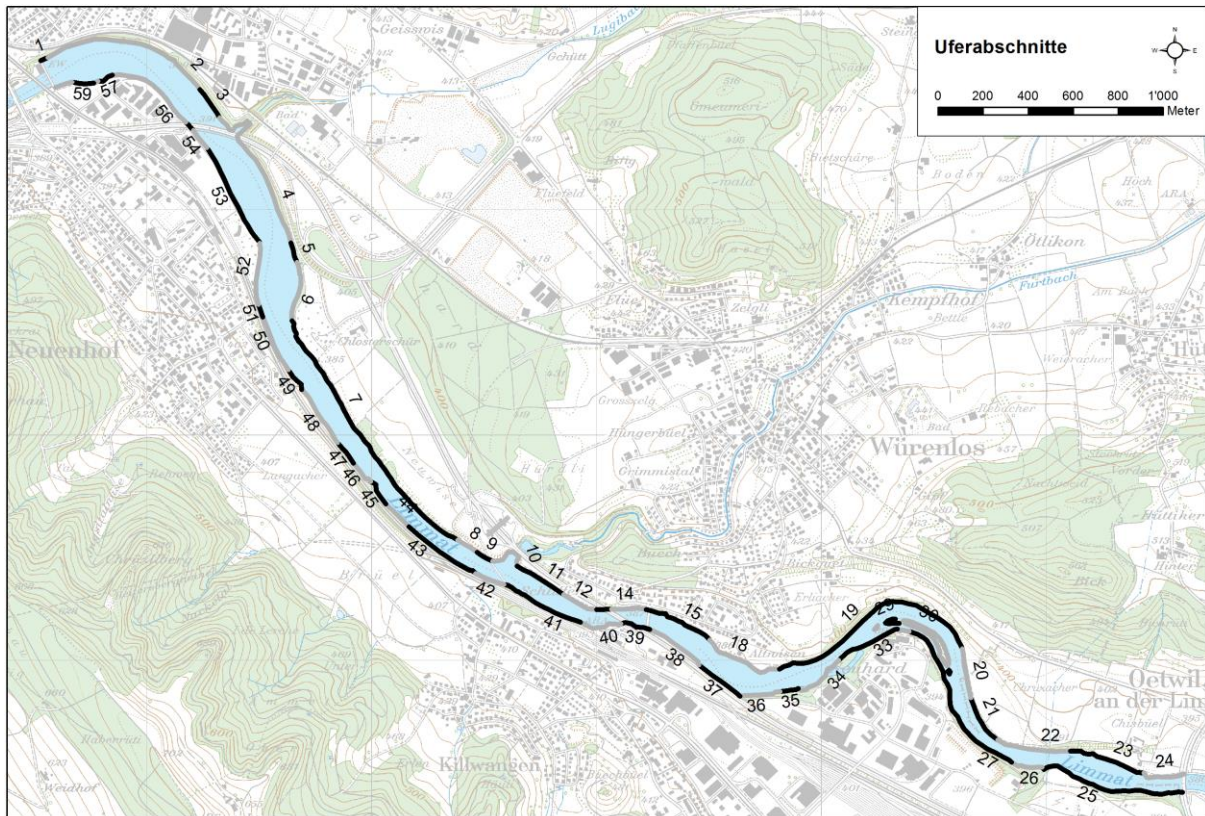


Abb. 54 Uferkartierung vom 19.5.2011. Nummerierung der unterschiedenen Abschnitte.

**Tab. 8 Charakterisierung der 15.3 km langen Uferlinie im Stau Wettingen. Die Nummern entsprechen den unterschiedenen Uferabschnitten gemäss Abbildung 54.**

Nr.	Uferlinie		Neigung	Vorgelag.		Beschattung [m]	Länge [m]
	Bewuchs	Beschaffenheit		Substrat	Neigung		
1	Bäume	Mauer	steil	Silt	Steilufer	2	34
2	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	Steilufer	15	773
3	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	mittel	2	155
4	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	mittel	10	799
5	vegetationslos	Mauer	steil	Silt	Flachufer	0	91
6	Röhricht	Bewuchs/Totholz	flach	Silt	Flachufer	0	269
7	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	Steilufer	8	1249
8	Röhricht	Bewuchs/Totholz	flach	Silt	Flachufer	0	102
9	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	mittel	3	81
10	Büsche/Sträucher	–	flach	Silt	Flachufer	95	187
11	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	Flachufer	7	242
12	Röhricht	Bewuchs/Totholz	flach	Silt	Flachufer	0	165
13	vegetationslos	Blocksatz	–	–	Steilufer	66	66
14	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	–	Steilufer	5	156
15	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	Flachufer	5	323
16	Röhricht	Bewuchs/Totholz	flach	Silt	Flachufer	0	50
17	Büsche/Sträucher	Bewuchs/Totholz	flach	Silt	Flachufer	5	111
18	Röhricht	Bewuchs/Totholz	flach	Silt	Flachufer	0	314
19	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	Steilufer	4	1001
20	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	Flachufer	4	221
21	Röhricht	Bewuchs/Totholz	flach	Silt	Flachufer	0	230
22	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	Steilufer	6	330
23	Röhricht	Bewuchs/Totholz	flach	Silt	Flachufer	0	348
24	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Kies	Steilufer	2	192
25	Bäume	Bewuchs/Totholz	mittel	Silt	Steilufer	6	664
26	Röhricht	Bewuchs/Totholz	flach	Silt	Flachufer	0	157
27	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	Steilufer	8	784
28	Röhricht	–	steil	Silt	Steilufer	0	53
29	Röhricht	Bewuchs/Totholz	flach	Silt	Flachufer	0	110
30	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	mittel	8	602
31	Büsche/Sträucher	Bewuchs/Totholz	flach	Silt	Flachufer	1	36
32	Büsche/Sträucher	Kies	flach	Kies	Flachufer	1	37
33	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	Steilufer	6	299
34	Röhricht	Bewuchs/Totholz	flach	Silt	Flachufer	0	243
35	Büsche/Sträucher	Bewuchs/Totholz	flach	Silt	Flachufer	1	84
36	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	Steilufer	5	180
37	vegetationslos	Kies	steil	–	Steilufer	15	230
38	Büsche/Sträucher	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	mittel	1	275
39	vegetationslos	Mauer	steil	–	Steilufer	135	135
40	Röhricht	Bewuchs/Totholz	flach	Silt	Flachufer	0	195
41	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	Steilufer	9	382
42	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	Flachufer	9	133
43	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	Steilufer	9	367
44	Gräser/Stauden	Buhne	mittel	Kies	Steilufer	0	211
45	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	Steilufer	4	128
46	Röhricht	Bewuchs/Totholz	flach	Silt	Flachufer	0	116
47	Gräser/Stauden	Buhne	flach	Kies	mittel	0	116
48	Röhricht	Bewuchs/Totholz	flach	Silt	Flachufer	0	287
49	Röhricht	Bewuchs/Totholz	flach	Silt	Flachufer	1	110
50	Gräser/Stauden	Buhne	flach	Silt	mittel	0	260
51	Gräser/Stauden	Mauer	mittel	Kies	Steilufer	0	60
52	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	Steilufer	8	274
53	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	Flachufer	8	488
54	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	Steilufer	8	96
55	vegetationslos	Mauer	steil	–	Steilufer	52	52
56	Bäume	Bewuchs/Totholz	steil	Silt	Steilufer	8	411
57	Röhricht	Bewuchs/Totholz	flach	Silt	mittel	0	72
58	vegetationslos	Mauer	steil	–	Steilufer	0	21
59	Gräser/Stauden	Bewuchs/Totholz	mittel	–	Steilufer	0	98
60	Gräser/Stauden	Mauer	mittel	Silt	Steilufer	2	77

Bäume 10.37 km	Kies 0.27 km	steil 10.56 km	Kies 0.62 km	Steilufer 8.32 km
Büsche/Sträucher 0.73 km	Buhne 0.59 km	flach 3.60 km	Silt 13.96 km	Flachufer 4.65 km
Gräser/Stauden 0.82 km	Blocksatz 0.07 km	Mittel 1.11 km		mittel 2.36 km
vegetationslos 0.55 km	Mauer 0.47 km			
Röhricht 2.82 km	Bewuchs/Toth. 13.70 km			