



EAWAG

Eine Forschungsanstalt
des ETH-Bereichs



Der Rote Sumpfkrebs im Schübelweiher (Gemeinde Küsnacht ZH)

Auswertung der Massnahmen 1997

März 1998

**Sybille Borner, Theresa Büsser, Rik Eggen, Andreas Frutiger, Rudolf Müller,
Stephan Müller, Armin Peter, Hans R. Wasmer**

EAWAG, CH-8600 Dübendorf
Kontaktperson: Yvonne Uhlig, 01 823 53 92

Zusammenfassung

Um den *Roten Sumpfkrebs* im **Schübelweiher** (Kt. Zürich) zu bekämpfen, wurden durch die Fischerei- und Jagdverwaltung (Kt. ZH) zwischen Juni und November 1997 fünf intensive Fangkampagnen mit Krebsreusen durchgeführt, in deren Verlauf insgesamt 7176 *Rote Sumpfkrebse* und 9 *Signalkrebse* gefangen wurden. Im **Rumensee** konnten mit Reusenfängen total 177 *Signalkrebse* und 3 *Rote Sumpfkrebse* gefangen werden. Mit der gleichen Zielsetzung setzte die Fischerei- und Jagdverwaltung des Kantons Zürich im Rumensee im April 381 Aale und 13 Hechte ein. Wir waren bei den Fangkampagnen beteiligt und haben zusätzlich eigene Messungen zur Temperatur und Wasserqualität der beiden Weiher durchgeführt. Um mehr Information über die Populationsgrösse und den Entwicklungszyklus des *Roten Sumpfkrebses* im Schübelweiher zu gewinnen, wurden alle gefangenen Krebse gemessen und gewogen und ihr Geschlecht und ihr allgemeiner Zustand bestimmt. Unsere Zielsetzung war, die Wirkung der durchgeführten Bekämpfungsmassnahmen abzuschätzen und Empfehlungen für das weitere Vorgehen zu formulieren.

Die Messungen haben ergeben, dass beide Weiher in Bezug auf ihre Wasserqualität und Temperatur sehr ähnlich sind. Beide Weiher weisen ein relativ hohes Algenwachstum auf, was aber für Gewässer dieser Grössenordnung durchaus natürlich und normal ist. Insbesondere hat sich die Qualität des Schübelweihers in den letzten Jahren nicht messbar verändert, so dass unseres Erachtens eine Sanierung nicht nötig ist. Sowohl der tiefste gemessene Sauerstoffgehalt als auch die höchsten, im Sommer zu erwartenden Wassertemperaturen erlauben einen dauerhaften Raubfischbestand (Hechte, Barsche, Aale).

Die Population des *Roten Sumpfkrebses* im Schübelweiher weist verschiedene Merkmale auf, die darauf hindeuten, dass sie durch die knappen Ressourcen limitiert sind. Weil die Reusenfänge der Bekämpfung des Krebses und nicht der Erhebung möglichst guter wissenschaftlicher Daten diene, ist eine Auswertung bezüglich der Populationsdynamik des *Roten Sumpfkrebses* mit Unsicherheit behaftet. Die Resultate und eine Modellrechnung lassen vermuten, dass die gesamte Population im Jahresdurchschnitt aus etwa 65 000 Tieren besteht, wovon aber nur ca. 11 000 gross genug sind, um mit den Reusen gefangen werden können. Über 80% der Population besteht aus Jungtieren, die in der Lage sind, Verluste der Population (z.B. durch Reusenfänge) in kurzer Zeit zu kompensieren. Aus diesem Grund ist es mit den Fangaktionen 1997 nicht gelungen, die Population des

Roten Sumpfkrebses im Schübelweiher zu verringern. Eine Bekämpfung kann nur erfolgreich sein, wenn sie auch beim Nachwuchs ansetzt.

Da im Rumensee nur 3 *Rote Sumpfkrebse* gefangen wurden, erachten wir es als unwahrscheinlich, dass dort eine überlebensfähige Population besteht. Die wenigen gefangenen Tiere sind vermutlich erst vor kurzem aus dem Schübelweiher eingewandert.

Weil Raubfische v.a. junge Krebse fressen, und weil im Rumensee, in dem eine grosse Zahl Raubfische eingesetzt wurden, im Herbst fast keine *Signalkrebse* mehr gefunden werden konnten, vermuten wir, dass der Besatz mit Raubfischen dort bezüglich Krebsbekämpfung erfolgreich war. Daher empfehlen wir dasselbe Vorgehen für den Schübelweiher. Allfällige Auswirkungen eines Raubfischbesatzes auf die Amphibien können dabei nicht ausgeschlossen werden, erscheinen uns aber verantwortbar.

Inhalt

1	Einleitung	3
1.1	Fragestellungen	3
2	Methoden	4
2.1	Schübelweiher und Rumensee	4
2.2	Wassertemperatur	4
2.3	Wasserqualität	4
2.4	Krebsfänge	4
2.4.1	Räumliche Verteilung der Krebse im Schübelweiher	5
2.4.2	Methoden zum Fangen kleiner Krebse	5
2.4.3	Schätzung der Populationsgrösse	5
2.4.3.1	Verlauf der Fangaktionen	5
2.4.3.2	Fang-Wiederfang-Methode	6
2.4.3.3	Anzahl fehlender Scheren	6
2.5	Fischbesatz	6
2.6	Zusätzliche Feldbegehungen	6
2.7	Berechnungsmethoden	6
3	Resultate	7
3.1	Wassertemperatur	7
3.2	Wasserqualität	7
3.3	Krebsfänge	9
3.3.1	Schübelweiher	9
3.3.1.1	Ergebnisse der Fangaktionen insgesamt	9
3.3.1.2	Räumliche Verteilung der Krebse	10
3.3.1.3	Veränderung der Fänge im Verlaufe der Fangaktionen	10
3.3.1.4	Verhältnis der Männchen zu Weibchen	10
3.3.1.5	Krebse mit fehlenden Scheren	10
3.3.1.6	Entwicklungsbiologischer Zustand der gefangenen Tiere	12
3.3.1.7	Wiederfänge markierter Tiere	12
3.3.2	Rumensee	12
3.3.2.1	Ergebnisse der Fangaktionen insgesamt	12
3.3.2.2	Veränderungen im Verlaufe der Fangaktionen	12
3.3.2.3	Verhältnis Männchen zu Weibchen	12
3.3.3	Zusätzliche Feldbegehungen	12
4	Diskussion	13
4.1	Temperatur und Wasserqualität von Schübelweiher und Rumensee	13
4.1.1	Wassertemperatur	13
4.1.2	Chemismus und Nährstoffgehalt	13
4.2	Biologie und Populationsdynamik des <i>Roten Sumpfkrebse</i> im Schübelweiher	13
4.2.1	Entwicklungszyklus	13
4.3	Charakterisierung der <i>P. clarkii</i> -Population im Schübelweiher	14
4.3.1	Allgemeiner Zustand	14
4.3.2	Grösse der «fangbaren Population»	15
4.3.2.1	Interpretation der Fangergebnisse insgesamt	15
4.3.2.2	Interpretation der Fang-Wiederfang-Ergebnisse	15
4.3.3	Schätzung der gesamten Population mittels eines rechnerischen Modells	16
4.3.4	Auswirkungen der Fangkampagnen auf die <i>P. clarkii</i> -Population im Schübelweiher	17
4.3.5	Rechnerische Simulation des Effektes eines Raubfischbesatzes auf die Krebspopulation	17
4.4	Die <i>Signalkrebs</i> -Population im Rumensee	18
4.5	Die <i>Roten Sumpfkrebse</i> im Rumensee und in den umliegenden Gewässern und die <i>Signalkrebse</i> im Schübelweiher	18
5	Schlussfolgerungen	19
	Verdankungen	21
2	Literatur	21

1 Einleitung

Der *Rote Sumpfkrebs* (*Procambarus clarkii*) stammt aus Zentralamerika, dem nördlichen Mexiko und den Südstaaten der USA. Da er eine beliebte Delikatesse darstellt und zudem einfach und in grossen Mengen zu züchten ist, wurde er weltweit verbreitet (Huner & Lindqvist, 1995). 1995 konnte er im Schübelweiher (ZH) und im Rumensee (ZH), 1996 zudem im Katzenssee (ZH) und in einem Teich bei Mellingen (AG) nachgewiesen werden. Weitere Populationen in anderen schweizerischen Gewässern sind aufgrund der allgemein schlechten Kenntnisse über die Krebsbestände und der ausgeprägten Ausbreitungstendenz von *P. clarkii* nicht auszuschliessen. Im Kanton Zürich entbrannte 1996 eine heftige Diskussion darüber, ob der *Rote Sumpfkrebs* ausgerottet werden sollte, und wenn ja, mit welchen Massnahmen. In der Schweiz ist über *P. clarkii* sowie die Möglichkeiten zu seiner Bekämpfung bis anhin nur wenig bekannt. Da Fragen, welche die Ökologie von Gewässern und die Problematik eingeführter Arten (z.B. Regenbogenforelle) betreffen, für die EAWAG von grossem Interesse sind, hatten wir uns Ende 1996 entschlossen, das vorhandene Wissen über den *Roten Sumpfkrebs* unter Beizug eines amerikanischen Experten (Prof. J.V. Huner, USL, Louisiana, USA) in einem Bericht zusammenzufassen (Borner et al. 1997). Dieser Bericht wurde der kantonalen Fischerei- und Jagdverwaltung des Kantons Zürich sowie weiteren Interessierten im Frühling 1997 vorgestellt. Aufgrund der damals verfügbaren Informationen kamen wir zum Schluss, dass eine vollständige Ausrottung von *P. clarkii* als unrealistische Zielsetzung einzustufen sei. Im Bericht wird daher empfohlen, eine Reduktion und nachhaltige Stabilisierung des *P. clarkii*-Bestandes im Schübelweiher auf einem möglichst tiefen Niveau anzustreben. Als Massnahmen wurde eine intensive, speziell auf den *Roten Sumpfkrebs* ausgerichtete Befischung empfohlen, zusammen mit dem Einsatz und der gezielten Förderung natürlicher Feinde (Hechte, Barsche, Aale). Zudem regten wir an, den Verlauf der getroffenen Massnahmen wissenschaftlich zu begleiten, damit eine Erfolgskontrolle und eine Neubeurteilung der Sachlage zu einem späteren Zeitpunkt möglich ist.

Im Sinne einer Zwischenlösung wurde die *P. clarkii*-Population des Schübelweihers durch die verantwortliche Behörde im Verlaufe des Sommers 1997 in insgesamt 5 Kampagnen intensiv befischt. Da nicht kommerziell genutzte Krebspopulationen durch Kannibalismus der grössten Männchen kontrolliert werden, indem die grössten Männchen ihre kleineren Artgenossen töten (Abrahamsson, 1966), und damit eine gewisse Reduktion

des Bestandes bewirken, wurden als weitere Bekämpfungsmassnahme alle grossen gefangenen Männchen wieder in den Schübelweiher zurückversetzt. Hingegen verzichtete die kantonale Fischerei- und Jagdverwaltung aufgrund der befürchteten ungenügenden Wasserqualität und hohen Wassertemperaturen des Schübelweihers auf einen Besatz mit Raubfischen. Im Rumensee wurde eine Krebsfangaktion mit Reusen durchgeführt und zudem wurden Raubfische (Aale und Hechte) eingesetzt. Die EAWAG beteiligte sich an allen Fangaktionen mit Ausnahme derjenigen, die im Oktober im Rumensee durchgeführt wurde. Zudem haben wir im Verlaufe des Sommers und Herbstes 1997 im Schübelweiher und Rumensee die wichtigsten limnologischen Qualitätsparameter und die Temperatur gemessen.

Bei der Erarbeitung des erwähnten Berichts stellten wir fest, dass nur sehr wenig bekannt ist darüber, wie sich der *Rote Sumpfkrebs* unter mitteleuropäischen Klimaverhältnissen entwickelt.

Mit unserer Beteiligung an den Krebsfangaktionen wollten wir somit drei Zielsetzungen erfüllen:

1. Es sollte ein genaues Protokoll der getroffenen Massnahmen erstellt und deren Effekte auf die Krebspopulation abgeschätzt werden.
2. Die durch die Bekämpfungsmassnahmen erzielten Effekte sollten bewertet und daraus Empfehlungen für das weitere Vorgehen abgeleitet werden.
3. Die gewonnenen Daten sollten auf mögliche Erkenntnisse zur Biologie und Populationsdynamik von *P. clarkii* hin analysiert werden.

1.1 Fragestellungen

Der vorliegende Bericht basiert primär auf den Daten der Krebsfangaktionen und der limnologischen Untersuchungen, die im Schübelweiher und im Rumensee im Zeitraum von Juni bis November 1997 durchgeführt wurden. Da die Zielsetzung der Fangaktionen die Reduktion der Krebsbestände und **nicht** die Erhebung möglichst guter Grundlagen über *P. clarkii* war, weisen die damit gewonnenen Daten aus wissenschaftlicher Sicht teilweise gravierende Lücken auf. Trotzdem soll aber versucht werden, damit die folgenden Fragen zu beantworten:

- a) Wie gut ist die Wasserqualität des Schübelweihers und des Rumensees bezüglich Temperatur und Nährstoffen, verglichen mit anderen Kleingewässern?
- b) Würden Wasserqualität und Temperatur des Schübelweihers und des Rumensees einen Raubfischbesatz gestatten?
- c) Sind die *Roten Sumpfkrebse* gleichmässig im ganzen Gewässer verteilt oder werden gewisse Bereiche mit

- speziellen Strukturen, z.B. Wasserpflanzen oder Uferbereiche mit Baumwurzeln, als Habitate bevorzugt?
- d) Wie gross ist die Population des *Roten Sumpfkrebse* im Schübelweiher insgesamt, und welcher Anteil davon kann mit Reusen gefangen werden?
- e) Können kleine Krebse mit anderen Methoden als mit Reusen gefangen werden?
- f) Wie ist der allgemeine Zustand der Krebspopulation? Von besonderem Interesse sind die durchschnittliche und die maximale Grösse der einzelnen Tiere, ihr Zustand bezüglich Verletzungen, Krankheiten etc. sowie das Verhältnis Männchen zu Weibchen.
- g) Wie verläuft der Entwicklungszyklus des *Roten Sumpfkrebse* im Schübelweiher? Insbesondere interessieren die Dauer der Entwicklung vom Ei bis zum geschlechtsreifen Tier und die Saisonalität der Fortpflanzung.
- h) Lassen sich Aussagen machen über den Einfluss von Raubfischen auf den Krebsbestand?

Die Fragen werden in Kap. 5 Schlussfolgerungen summarisch beantwortet.

Mittels zusätzlich durchgeführten Feldbegehungen wurde zudem untersucht, ob der *Rote Sumpfkrebs* in der Umgebung des Schübelweihers und des Rumensees gefunden werden kann.

2 Methoden

2.1 Schübelweiher und Rumensee

Eine ausführliche Beschreibung der Lage und Beschaffenheit des Schübelweihers und des Rumensees findet sich in Borner et al., 1997. Im Zusammenhang mit dem Problem der Krebspopulationen in diesen zwei Weihern ist es möglicherweise von Bedeutung zu wissen, dass bereits früher pro Jahr jeweils 100–150 Junghechte im Rumensee ausgesetzt wurden, vermutlich um den Weissfischbestand zu kontrollieren (Keel, 1994).

2.2 Wassertemperatur

Die Wassertemperatur des Schübelweihers und des Rumensees wurde an der Oberfläche und am Grund alle 30 Minuten mit einem Logger (VEMCO, Canada) mit einer Genauigkeit und Auflösung von ± 0.1 °C aufgezeichnet. Die Logger wurden jeweils in der Mitte des Gewässers plaziert und mit Hilfe einer Boje in der gewünschten Tiefe stabilisiert. Die Messungen, welche bis zum 6. Oktober dauerten, wurden im Schübelweiher am 25. April, im Rumensee am 9. Juni begonnen.

2.3 Wasserqualität

Am 19. Juni, 7. August und 2. Oktober wurden von der Mitte des Schübelweihers und des Rumensees Wasserproben entnommen, am 19. August nur im Schübelweiher. Die Proben wurden jeweils am Vormittag (ca. 10 Uhr) mit Hilfe einer kleinen Pumpe aus 0.2, 0.8, 1.4 m Tiefe sowie über Grund (1.7 bzw. 1.8 m) gewonnen. Die Stickstoff-, Phosphor- und Kohlenstoffkomponenten sowie der Sauerstoffgehalt und die Leitfähigkeit wurden für jede Wassertiefe getrennt bestimmt. Die Werte für den pH, das Trockengewicht (TG) und den Glühverlust (GV) wurden aus einer Mischprobe aus den vier Tiefen bestimmt. In der Tabelle 1 findet sich eine Zusammenstellung der für die Analyse verwendeten Methoden.

2.4 Krebsfänge

Im Verlaufe des Sommers und Herbstes 1997 wurden im Schübelweiher fünf intensive Fangkampagnen durchgeführt. Diese dauerten im Juni drei Tage, im Juli, August, Oktober und November je vier Tage. Dabei wurden zwischen 86 und 112 Reusen eingesetzt, was einer Reusendichte von 55–72 pro Hektare entspricht; die anzustrebende Mindestdichte beträgt 50–60 Reu-

sen/ha (Agricultural Center, 1996). Im Rumensee wurde nur 1 intensive Fangaktion im Juni durchgeführt, bei der 59 Reusen verwendet wurden (47 Reusen/ha). Zudem wurde im Oktober mit 4 Reusen eine Beprobung vorgenommen (siehe Tab. 5).

Die verwendeten Reusen der kantonalen Fischerei- und Jagdverwaltung sind quaderförmig (50 x 40 x 20 cm) und bestehen aus Drahtgeflecht mit einer Maschenweite von 1–2 cm. Sie wurden dem Ufer entlang in einer Tiefe von ca. 1.5 m im Abstand von etwa 7 m ausgelegt. Am Nachmittag einer Fangperiode wurden die Reusen mit Fisch und Brot beködert und gesetzt. Während der Fangaktionen wurden die Reusen jeweils am Morgen (ab 7 bis 8 Uhr, im Herbst ab 8 bis 9 Uhr) gehoben und die darin gefangenen Krebse entnommen. Danach wurden die Reusen evtl. neu beködert und wieder gesetzt.

Die gefangenen Krebse wurden anschliessend an die EAWAG transportiert und dort vermessen. Von jedem Tier wurde die Länge (von der Rostrumspitze bis zum Schwanzende, ± 0.5 mm), das Gewicht (± 0.5 g) und das Geschlecht bestimmt. Zudem wurde festgehalten, ob es sich um ein frisch gehäutetes Tier handelt (sog. «Butterkrebse», erkennbar an der weichen Panzerung), und ob es Beschädigungen (v.a. fehlende Scheren) oder andere Besonderheiten (z.B. Weibchen mit Eiern, Pilzbefall) aufwies. Mit Ausnahme der grossen Männchen, die markiert und wieder im Schübelweiher ausgesetzt wurden, wurden danach alle Tiere für einige Stunden auf 4 °C abgekühlt, bevor sie schliesslich durch Einfrieren bei -20 °C getötet wurden.

Parameter	Methode/Messgerät
Sauerstoff	Winkler (1888), modifiziert von Carpenter (1965)
elektrische Leitfähigkeit	Konduktometer LF 320 (WTW)
Säuregehalt	Taschen-pH und mV-Messgerät (WTW)
Ammonium	nach EDI (1983)
Nitrit	nach EDI (1983)
Nitrit + Nitrat	Downes (1978), modifiziert von Stöckli (1985)
Phosphat	Arbeitsvorschrift EAWAG, Abt. Limnologie
dN ¹ , pN ² , dP ¹ , pP ²	Ebina et al. (1983)
TIC, DOC	Arbeitsvorschrift EAWAG, Abt. Limnologie

¹ Exkrete von Organismen, Abbauprodukte aus mikrobiellen Prozessen, gelöste anorganische Stoffe.

² totes organisches und nicht gelöstes, anorganisches Material

Tab. 1: Übersicht über die verwendeten Methoden zur Bestimmung der Wasserqualität.

dN = gelöster Stickstoff, pN = partikulärer Stickstoff, dP = gelöster Phosphor, pP = partikulärer Phosphor, TIC = totaler anorganischer Kohlenstoff, DOC = gelöster, organischer Kohlenstoff.

2.4.1 Räumliche Verteilung der Krebse im Schübelweiher

Um abzuklären, ob gewisse Bereiche des Schübelweiher von *P. clarkii* bevorzugt besiedelt werden, teilten wir den gesamten Weiher vom Ausfluss her im Uhrzeigersinn in 22 Sektoren ein. Die Sektoren 1–3 und 20–22 befinden sich somit in der Nähe des Ausflusses, die Sektoren 9–14 beim Zufluss und die übrigen Sektoren dazwischen. Damit konnte festgehalten werden, wie viele Krebse in jedem Sektor gefangen wurden. Eine feinere räumliche Auflösung der Fänge war aus technischen Gründen nicht möglich.

2.4.2 Methoden zum Fangen kleiner Krebse

Kleine Krebse ernähren sich zu einem wesentlichen Anteil durch Filtrieren und finden daher in ihrer nächsten Umgebung in der Regel genügend Nahrung. Deshalb lassen sie sich mit Köder kaum anlocken (mündliche Mitteilung von J.V. Huner). Dazu kommt, dass Krebse, deren Körperdurchmesser kleiner ist als die Maschenweite der verwendeten Reusen, damit kaum gefangen werden können. In Anwesenheit von grösseren Artgenossen werden sie zudem von diesen von den Reusen verschluckt (Huner & Lindqvist, 1988). Aus all diesen Gründen werden mit den Reusen nur die grösseren Krebse erfasst. Um die Grösse der **gesamten** Krebspopulation abschätzen zu können, sollte aber bekannt sein, welcher Anteil der Gesamtpopulation mit den Reusen gefangen werden kann, und wie gross der Anteil der damit nicht erfassten, kleinen Tiere ist. Daher haben wir versucht, die kleinen Krebse mit Fallen zu fangen, die ihnen **Schutz** anstelle von Nahrung bieten. Wir haben dazu leichte, grobmaschige Nylonnetze verwendet (Maschenweite 2.5 cm), welche zu einem Sack zusammengeschnürt, mit zerknitterter Plastikfolie ausgestopft und mit Steinen beschwert wurden. Die kleinen Krebse sollten in den Falten der Folie ihrer Körpergrösse entsprechende Verstecke finden. Diese Pakete wurden dem Ufer entlang wie auch in der Mitte der Weiher während 1 bis 8 Wochen exponiert.

2.4.3 Schätzung der Populationsgrösse

Da es nicht möglich ist, die *Roten Sumpfkrebse* im Schübelweiher direkt zu zählen, wurde mittels mehrerer indirekter Methoden versucht, ihren Bestand zu schätzen.

2.4.3.1 Verlauf der Fangaktionen

Der zeitliche Verlauf der Krebsfänge gibt gewisse Hinweise auf die Populationsgrösse. Wenn z.B. der Fangenertrag oder das durchschnittliche Gewicht der Tiere im Verlaufe der Fangaktionen stark abnimmt, ist dies ein Hinweis darauf, dass die Population bereits weitgehend abgefischt wurde (Momot, 1984). Mehr als eine grobe Schätzung ist damit aber nicht möglich. Zudem be-

schränken sich diese Schätzungen auf den fangbaren Anteil der Population (d.h. auf den Anteil der Krebse, welche gross genug sind, dass sie mit den Reusen gefangen werden können).

2.4.3.2 Fang-Wiederfang-Methode

Die Tatsache, dass die grössten gefangenen Männchen nicht getötet, sondern zur Bekämpfung jüngerer Krebse wieder im Schübelweiher ausgesetzt wurden, ermöglichte uns die Anwendung der Fang-Wiederfang-Methode. Diese Methode beruht auf dem Prinzip, dass die markierten und wieder eingesetzten Tiere sich gleichmässig in der Gesamtpopulation verteilen und dann bei der zweiten Fangaktion quasi in verdünnter Form wieder gefangen werden. Dabei ist das Verhältnis von markierten (eingesetzten) Tieren insgesamt zu wieder gefangenen markierten Tieren gleich wie das Verhältnis zwischen der Gesamtpopulation und den insgesamt gefangenen Tieren. Die Grösse der Gesamtpopulation berechnet sich somit nach folgender Formel:

$$N = MC/R$$

wobei:

N = geschätzte Populationsgrösse

M = Anzahl markierter und zurückversetzter Tiere (marked)

C = Total gefangene Tiere der zweiten Fangaktion (capture)

R = Anzahl wieder gefangener, markierter Tiere (recapture).

Es muss betont werden, dass auch diese Berechnung lediglich Aussagen über den fangbaren Anteil der Population liefert und es auch damit nicht möglich ist, Aussagen über die Anzahl der kleinen Krebse bzw. die Gesamtpopulation zu machen.

Die Männchen wurden markiert, indem ihnen mit einer Lederlochzange ein Loch in einen Uropoden gestanzt wurde (als Uropoden werden die fächerartigen Anhänge bezeichnet, welche sich am Ende des Hinterleibes des Krebses befinden). Mit Ausnahme vom 4. Juni, 7. Okt. und 8. Okt. wurden die markierten Tiere jeweils erst nach Abschluss der Fangkampagne wieder im Schübelweiher ausgesetzt.

2.4.3.3 Anzahl fehlender Scheren

Je grösser die Dichte der (grossen) Krebse ist, desto zahlreicher sind aggressive Begegnungen zwischen zwei Individuen, in deren Verlaufe das schwächere Tier häufig eine oder sogar beide Scheren verliert (Abrahamsson, 1966, Skurdal et al., 1988). Aus diesem Grund kann der Anteil der Tiere mit fehlenden Scheren einen Hinweis geben auf die Dichte der grossen Krebse und den Nutzungsdruck der Krebspopulation.

2.5 Fischbesatz

Zur Bekämpfung der Krebse im Rumensee setzte die Fischerei- und Jagdverwaltung des Kantons Zürich am 23. April 1997 381 Aale und 13 Hechte ein. Die Grössenverteilung der eingesetzten Tiere ist in der Tabelle 2 zusammengestellt.

Welche (möglicherweise negativen) Auswirkungen die eingesetzten Raubfische auf die Amphibienpopulationen des Rumensees haben, konnten wir im Rahmen der vorliegenden Arbeit **nicht** untersuchen.

Länge (cm)	Aal (n)	Hecht (n)
30–35	346	–
36–45	18	–
46–55	13	2
56–65	4	7
66–75	–	3
95	–	1
Total	381	13

Tab. 2: Art, Körperlänge und Anzahl der im Rumensee eingesetzten Fische

2.6 Zusätzliche Feldbegehungen

Der Künschter Tobelbach wurde dort, wo das Wasser aus dem Schübelweiher einmündet, und der Kusenbach unterhalb des Rumensees je zwei Mal nach Einbruch der Dunkelheit und je einmal an einem Nachmittag nach Krebsen abgesucht.

2.7 Berechnungsmethoden

Sämtliche Berechnungen und Grafiken wurden mit Hilfe des Microsoft® Programmes EXCEL 97 erstellt. Um die statistische Signifikanz einer Differenz zwischen zwei Datensätzen zu prüfen (z.B. ob das Gewichte der Männchen signifikant von demjenigen der Weibchen abweicht), wurde der t-Test für nicht gekoppelte Wertepaare durchgeführt. Als Nullhypothese wurde dabei vorgegeben, dass beide Stichproben dieselbe Varianz und denselben Median aufweisen.

3 Resultate

3.1 Wassertemperatur

Die im Verlaufe des Sommers am Grund und an der Oberfläche des Schübelweiher und des Rumensees gemessenen Wassertemperaturen sind in der Abb.1 dargestellt.

Weil für einen allfälligen Fischbesatz in erster Linie die höchsten vorkommenden Temperaturen von Bedeutung sind, sind in der Tabelle 3 für den Zeitraum, vom dem von beiden Weihern Messungen vorhanden sind (9. Juni bis 6. Oktober; total 2856 Stunden), die Stunden, während denen Werte über 23 °C vorkamen, detailliert aufgeführt (die Schwellentemperatur von 23 °C hat keine fischphysiologische Bedeutung, sondern wurde deshalb gewählt, weil an der kühlestn Messstelle, dem Grund des Rumensees, dieser Wert gerade noch überschritten wurde). Zudem enthält die Tabelle die errechneten Durchschnittswerte sowie die höchsten und tiefsten gemessenen Temperaturen.

Der Schübelweiher wird im Sommer ungefähr 1 °C wärmer als der Rumensee. Der höchste gemessene Wert im Schübelweiher beträgt 27.1 °C, im Rumensee 25.9 °C. Diese Werte liegen ca. 3 bzw. 4 °C unter der höchsten in diesem Zeitraum von der SMA gemessenen Lufttemperatur.

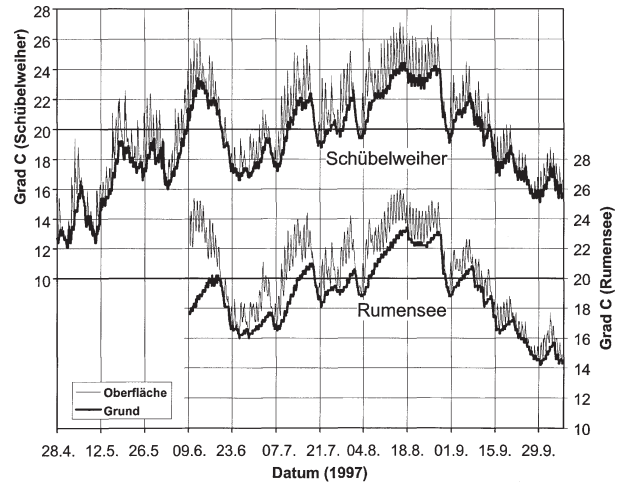


Abb. 1: Temperaturverlauf am Grund und an der Oberfläche des Schübelweiher (obere Kurve, linke Temperaturskala) und des Rumensees (untere Kurve, rechte Temperaturskala).

3.2 Wasserqualität

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen sind in der Tabelle 4 zusammengefasst (siehe nächste Seite). In beiden Gewässern konnte für den Zeitraum, über den sich die Messungen erstrecken, bei keinem Chemieparameter eine klare saisonale Entwicklung beobachtet werden. Aus diesem Grund werden für die nachfolgenden Beschreibungen und Abbildungen die Ergebnisse der 4 (3) Messungen zusammengefasst und die Gewässer anhand der Medianwerte limnologisch charakterisiert.

Im Rumensee sind die Konzentrationen der anorganischen, gelösten Stickstoffverbindungen, die als Nährstoffe für die Algen wirken (Ammonium, Nitrit und Nitrat) ca. 5mal höher als im Schübelweiher (Abb. 2). Dagegen

	Schübelweiher		Rumensee	
	Grund	Oberfläche	Grund	Oberfläche
9.6.–6.10.97				
Mittel	20.1 °C	20.9 °C	18.9 °C	20.3 °C
Minimum	15.1 °C	15.1 °C	14.2 °C	14.3 °C
Maximum	24.4 °C	27.1 °C	23.4 °C	25.9 °C
über 27.5 °C	–	–	–	–
über 27.0 °C	–	1.0 h	–	–
über 26.5 °C	–	12.5 h	–	–
über 26.0 °C	–	26.5 h	–	–
über 25.5 °C	–	82.5 h	–	24.0 h
über 25.0 °C	–	166.0 h	–	75.5 h
über 24.5 °C	–	226.0 h	–	124.5 h
über 24.0 °C	32.5 h	353.0 h	–	250.5 h
über 23.5 °C	228.5 h	596.5 h	–	443.0 h
über 23.0 °C	393.5 h	787.0 h	72.5 h	621.5 h

Tab. 3: Statistische Auswertung der Temperaturen im Schübelweiher und Rumensee sowie die Stunden, während denen Werte über 23 °C vorkamen (gesamte Messdauer = 2856 Stunden).

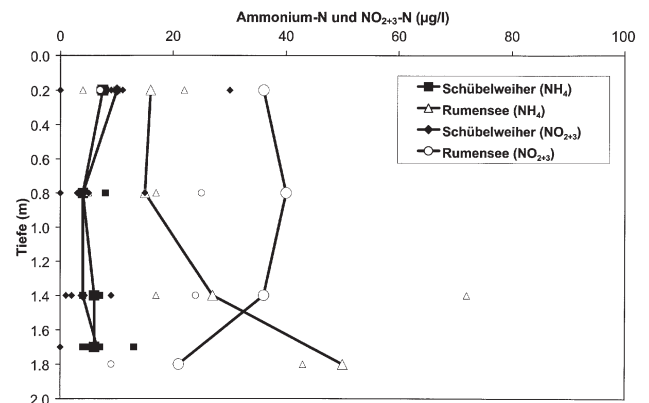


Abb. 2: Konzentrationen der als Nährstoffe für die Algen wirkenden, gelösten Stickstoffverbindungen Ammonium, Nitrit und Nitrat im Schübelweiher und Rumensee. Die Linien mit den grossen Symbolen zeigen den Median der 3 (Rumensee, offene Symbole) bzw. 4 Messungen (Schübelweiher, gefüllte Symbole) im Tiefenverlauf. Die Einzelmesswerte sind mit kleineren Symbolen ebenfalls dargestellt.

	Tiefe (m)	Datum	pH	Leitfähigkeit (µS/cm)	O ₂ (mg/l)			dN (µg/l)			pN (µg/l)			DOC (mg/l)	TIC (mg/l)	TG	GV	Chl a (µg/l)	Chl b (µg/l)
					NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₂₊₃ -N	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₂₊₃ -N	PO ₄ -P	dP	pP						
Schübelweiher	0.2			460	7.68	10	0	11	360	848	2	9	70	4.8	47.1				
	0.8			460	6.93	8	0	5	344	874	0	8	72	4.7	45.7				
	1.4	19.06.97		458	7.08	7	0	6	344	928	0	9	77	4.6	46.8				
	1.7			458	6.50	7	0	6	328	1063	0	7	90	4.5	49.1				
	Misch		7.87													31.2	21.6	36	6
	0.2			365	11.26	8	0	30	307	387	0	6	31	4.4	40.7				
	0.8			364	10.21	4	0	0	325	414	0	6	33	4.4	40.7				
	1.4	07.08.97		374	6.57	6	0	2	307	1116	1	8	84	4.5	42.7				
	1.7			380	2.62	5	0	7	299	1486	1	8	108	4.5	43.8				
	Misch		7.63													28.1	21.6	62	7
	0.2		7.85	387	5.88	7	0	0	384	524	1	12	46	5.2	42.9				
	0.8		7.93	383	5.82	4	0	3	366	554	1	11	47	5.2	42.9				
	1.4	19.08.97	7.95	382	6.05	4	0	1	392	545	0	9	48	5.2	42.9				
	1.7		7.95	382	5.80	4	0	0	364	542	0	11	48	5.3	43.2				
	Misch															18.7	10.1	29	4
	0.2		7.60	415	6.90	7	1	9	378	432	1	12	40	4.8	44.7				
0.8		7.75	391	7.20	4	0	15	412	369	0	9	40	5.0	45.2					
1.4	02.10.97	7.80	392	6.65	6	1	9	396	453	0	11	40	4.8	45.5					
1.7				4.99	13	1	13	384	526	1	9	49	4.6	44.2					
Misch															19.9	16.5	21	3	
0.2			401	7.29	8	0	10	369	478	1	11	43	4.8	43.8					
0.8			387	7.07	4	0	4	355	484	0	9	44	4.9	44.1					
1.4	Median		387	6.61	6	0	4	368	737	0	9	63	4.7	44.2					
1.7			382	5.40	6	0	7	346	803	1	9	70	4.6	44.0					
Misch		7.85													24.0	19.1	32	5	
Rumensee	0.2			501	7.54	16	1	36	368	663	0	8	61	4.3	58.7				
	0.8			496	7.24	17	1	40	346	605	0	8	57	4.4	58.7				
	1.4	19.06.97		496	6.42	27	1	24	378	614	0	7	93	4.5	56.9				
	1.8			494	5.82	50	1	9	380	698	0	7	76	4.5	54.6				
	Misch		7.94													60.6	14.9	27	4
	0.2			464	7.79	22	6	280	613	303	0	7	32	3.9	55.1				
	0.8			462	7.53	15	6	295	617	349	0	7	35	3.9	55.9				
	1.4	07.08.97		464	5.89	72	7	247	595	526	1	7	66	3.9	56.5				
	1.8			466	3.08	125	9	207	593	762	1	6	106	4.0	57.6				
	Misch		7.46													59.2	16.8	24	3
	0.2		8.20	453	11.21	4	1	7	290	603	1	7	40	4.3	58.8				
	0.8		8.20	458	10.76	5	2	25	312	473	1	9	43	4.3	58.5				
	1.4	02.10.97	8.02	461	9.07	17	3	36	338	552	0	10	50	3.9	59.0				
	1.8				8.33	43	3	21	334	479	0	7	55	3.9	58.5				
	Misch															32.1	17.5	46	6
	0.2			464	7.79	16	1	36	368	603	0	7	40	4.3	58.7				
0.8			462	7.53	15	2	40	346	473	0	8	43	4.3	58.5					
1.4	Median		464	6.42	27	3	36	378	552	0	7	66	3.9	56.9					
1.8			480	5.82	50	3	21	380	698	0	7	76	4.0	57.6					
Misch		8.02													59.18	16.8	27	4	

Tab. 4: Ergebnisse der chemischen Wasseruntersuchungen. TG = Trockengewicht, GV = Glühverlust, Chl a = Chlorophyll a, Chl b = Chlorophyll b (für die übrigen Abkürzungen siehe Tabelle 1).

unterscheiden sich die beiden Gewässer bei den partikulären und gelösten organischen Stickstoffkomponenten kaum.

Auch die Phosphorkomponenten liegen im Schübelweiher und im Rumensee in vergleichbaren Mengen vor. Die Konzentration des partikulären Phosphors beträgt bei beiden Gewässern ca. 50µg/l, diejenige des als Algendünger wirkenden Orthophosphats (PO₄) lag immer unter 2µg/l (Abb. 3).

Das Wasser des Rumensees ergab im Mittel einen etwa doppelt so hohen **Filterrückstand (TG)** wie dasjenige des Schübelweihers. Der Unterschied ist v.a. in einem höheren mineralischen Anteil begründet, da der **Glühverlust (GV = organischer Anteil des Filterrückstandes)** keinen Unterschied aufwies. Auch die Konzentration des **Chlorophylls a**, welche ein Mass für die Menge des vorhandenen Algenplanktons darstellt, war in beiden Gewässern ähnlich. Die Konzentration des **gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC)** schwankt im Schübel-

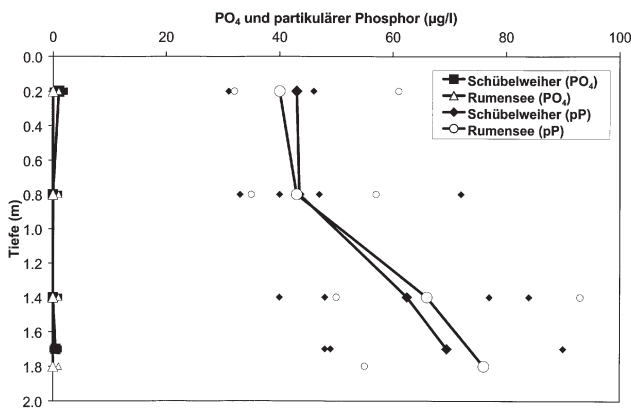


Abb. 3: Konzentration des Orthophosphats (PO₄) und des partikulären Phosphors (pP) im Schübelweiher und im Rumensee (Symbole wie in Abb. 2).

weiher zwischen 4.4 und 5.3 mg/l, im Rumensee betragen die entsprechenden Werte 3.9 und 4.5 mg/l. Der Gesamtgehalt an **anorganischem Kohlenstoff** (TIC) lag im Schübelweiher zwischen 40.7 und 49.1 mg/l, im Rumensee zwischen 54.6 und 59.0 mg/l. Der im Wasser vorhandene **Sauerstoff** wurde während der Beobachtungsperiode weder im Rumensee noch im Schübelweiher aufgezehrt (Abb. 4). Der niedrigste gemessene Wert betrug 2.62 mg/l, der höchste 11.26 mg/l. Es ist allerdings einzuräumen, dass unsere Messungen lediglich Momentanaufnahmen darstellen, und dass damit sicher nicht die tiefsten Sauerstoffkonzentrationen, die im Verlaufe eines Sommers auftreten können, erfasst wurden. Darauf deuten z.B. die relativ steilen O₂-Gradienten, welche in beiden Weihern am 7. August gemessen wurden (siehe Tab. 4). Aus den Temperaturkurven (Abb. 1) wird ersichtlich, dass gerade an diesem Datum eine kräftige Erwärmung der Weiheroberfläche stattfand, was zu einer stabilen Schichtung des Wasserkörpers führte. In derartigen Situationen können Abbauprozesse am Grund des Gewässers kurzfristig zu einer fast vollständigen Sauerstoffzehrung führen. Auch Keel (1994) mass am 14. Juli am Grund des Rumensees eine Sauerstoff-

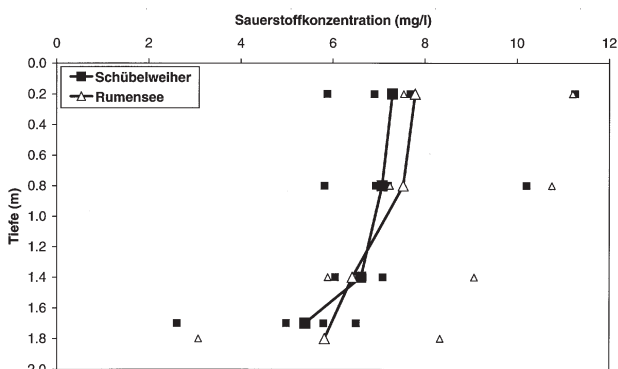


Abb. 4: Sauerstoffkonzentrationen im Schübelweiher und Rumensee.

konzentration von 0.9 mg/l. Der pH-Wert und die Leitfähigkeit schwankten im Schübelweiher von 7.6–8.0 bzw. 360–460 µS/cm, im Rumensee von 7.5–8.2 bzw. 460–500 µS/cm.

3.3 Krebsfänge

Die wichtigsten Ergebnisse der Krebsfangaktionen sind in der Tabelle 5 (siehe Seite 11) zusammengefasst.

3.3.1 Schübelweiher

3.3.1.1 Ergebnisse der Fangaktionen insgesamt

Im Schübelweiher wurden insgesamt 7176 *Rote Sumpfkrebse* (davon 49 mit den Fallen für kleine Krebse) und 9 *Signalkrebse* (*Pacifastacus leniusculus*) gefangen. Das Gesamtgewicht der *Roten Sumpfkrebse* betrug 225 kg, was einem Ertrag von 145 kg/ha entspricht. Die *Roten Sumpfkrebse*, welche mit den **Reusen** gefangen wurden,

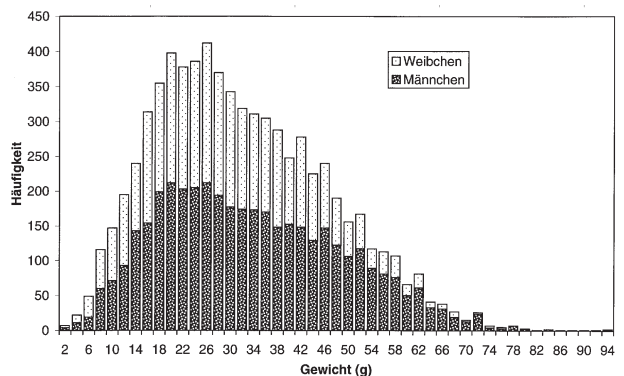


Abb. 5: Gewichtsverteilung der im Schübelweiher mit Reusen gefangenen *Roten Sumpfkrebse*. Männchen (dunkler Teil der Säulen) und Weibchen (heller Teil der Säulen). Die Grafik macht deutlich, dass Tiere mit weniger als ca. 18–20 g Körpergewicht (ca. 90 mm Körperlänge) mit den Reusen kaum erfasst werden.

waren im Durchschnitt (Median = 50%-Wert) 101 mm lang und 29.5 g schwer. Das kleinste Tier war 40 mm lang und 1.3 g schwer, das grösste mass 140 mm und wog 93 g. Die Männchen waren im Mittel etwas schwerer als die Weibchen, nämlich 31.0 g gegenüber 28.0 g ($p < 0.001$, t-Test), obwohl sich die beiden Geschlechter in ihrer Grösse statistisch nicht unterscheiden. Der mittlere Fangerfolg (CPUE = catch per unit effort, d.h. Anzahl Tiere/Reuse) betrug 4.07. In der Abb. 5 ist die Gewichtsverteilung der mit den Reusen gefangenen *Roten Sumpfkrebse* dargestellt. Die Abbildung verdeutlicht, dass mit den Reusen v.a. Tiere mit einem Körpergewicht >18–20 g erfasst werden, während kleinere Tiere wesentlich seltener gefangen werden.

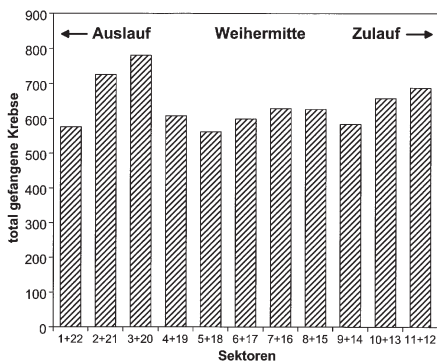


Abb. 6: Räumliche Verteilung der gefangenen *Roten Sumpfkrebse* im Schübelweiher. Man erkennt, dass die Krebse ziemlich homogen im ganzen Gewässer verteilt sind und höchstens die Nähe des Auslaufes geringfügig bevorzugt besiedelt wird.

Mit den Fallen für kleine Krebse wurden nur wenig und deutlich kleinere Tiere gefangen. Ihre Durchschnittsmasse betragen 70 mm bzw. 7.0 g, die Masse des kleinsten und grössten sind 26 mm und 0.4 g resp. 115 mm und 35 g. Die Körpermasse der Männchen unterscheiden sich statistisch nicht von denjenigen der Weibchen. Die Zahl der gefangenen *Signalkrebse* ist zu gering, um eine sinnvolle statistische Auswertung zu erlauben.

3.3.1.2 Räumliche Verteilung der Krebse

In der Abbildung 6 ist dargestellt, wie sich die gefangenen *Roten Sumpfkrebse* im Schübelweiher verteilen. Es wurden dabei jeweils die zwei sich gegenüberliegenden Sektoren zusammengefasst. Links in der Figur sind somit die Fänge dargestellt, welche aus der Nähe des Auslaufes stammen, rechts diejenigen aus der Nähe des Zulaufs. Es wird ersichtlich, dass die Krebse ziemlich homogen verteilt sind. Einzig die Bereiche in der Nähe des Ausflusses scheinen geringfügig bevorzugt zu werden. Die beschränkte räumliche Auflösung der Erhebungen lässt somit keine detailliertere Aussagen zu, ob einzelne Uferstrukturen (Bäume, Schilf, Gras, etc.) vom *Roten Sumpfkrebs* bevorzugt werden.

3.3.1.3 Veränderung der Fänge im Verlaufe der Fangaktionen

Aus der Abbildung wird der Verlauf der Krebsfänge im Verlaufe des Sommers und Herbstes 1997 ersichtlich. Man erkennt, dass immer am ersten Tag einer Fangkampagne am meisten Tiere gefangen wurden, und dass die Fangzahlen danach jeweils deutlich zurückgingen. Zudem waren die Krebse, die am Anfang der Kampagne in die Reusen gingen, im Durchschnitt schwerer als diejenigen der nachfolgenden Tage. Werden die Resultate der 3 bzw. 4 Tage der einzelnen Kampagnen gemittelt, ergibt sich folgender Verlauf: Die durchschnittliche Anzahl Tiere, die pro Tag gefangen wurde, stieg vom Juni

zum Juli deutlich an. Zudem waren die Tiere in den Juli fängen im Durchschnitt etwas schwerer als diejenigen im Juni ($p < 0.005$). Im August wurden pro Tag praktisch dieselbe Anzahl Krebse gefangen wie im Juli, aber das einzelne Tier war im Durchschnitt deutlich leichter ($p < 0.001$). Im Oktober wurden pro Tag etwas weniger Tiere gefangen als im Juli oder August, aber immer noch mehr als im Juni. Das Durchschnittsgewicht der Tiere dagegen nahm vom August zum Oktober wieder deutlich zu ($p < 0.001$). Im November schliesslich wurden pro Tag wesentlich weniger Tiere gefangen als im Oktober, die zwar möglicherweise durchschnittlich etwas schwerer waren als im Vormonat ($p = 0.08$), aber wieder dieselbe Gewichtsverteilung aufwiesen wie die im Juni gefangenen Tiere.

3.3.1.4 Verhältnis der Männchen zu Weibchen

Insgesamt waren 56.7% der gefangenen Tiere Männchen und 43.3% Weibchen ($M/W = 1.31$). Das Geschlechtsverhältnis war im Juni noch fast ausgeglichen ($M/W = 1.11$) und stieg gegen den Herbst hin zunehmend an. Im November betrug der Anteil der Weibchen nur noch 37.5% ($M/W = 1.67$). Von den Tieren, welche mit den Fallen für kleine Krebse gefangen wurden, waren 61.2% Weibchen ($M/W = 0.63$).

3.3.1.5 Krebse mit fehlenden Scheren

Im Gesamtdurchschnitt wies etwa jedes siebte Tier (14.9%) eine oder zwei fehlende Scheren auf. Der Wert variiert zwischen 11.1% und 18.8%. Er steigt zuerst an (Juni–Juli), fällt dann stark ab (August) und nimmt danach bis im November wieder zu. Der Anteil Tiere mit fehlenden Scheren weist damit einen ähnlichen Jahres-

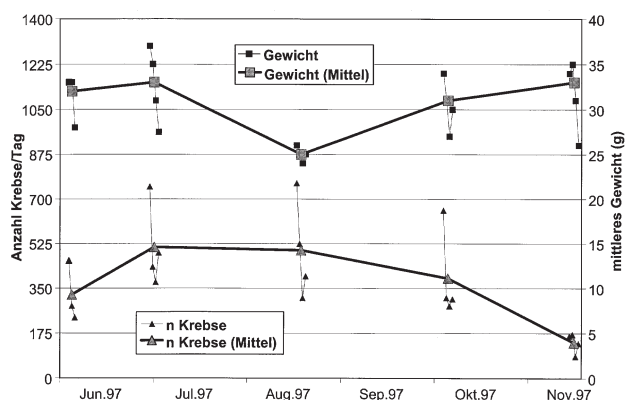


Abb. 7: Verlauf der Krebsfänge im Verlaufe des Sommers und Herbstes 1997. Die dunklen Symbole, welche mit dünnen Linien verbunden sind, zeigen die Ergebnisse der einzelnen Fangtage, während die grösseren, hellen Symbole, die mit einer dicken Linie verbunden sind, die Mittelwerte der drei bzw. vier Tage der jeweiligen Fangkampagne darstellen. Die unteren Kurven beziehen sich auf die Anzahl der gefangenen Krebse, die oberen auf das durchschnittliche Gewicht der gefangenen Tiere.

Datum	Methode	Roter Sumpfkrebs										Signalkrebs				
		gefangene Rote Sumfkrebse	Tiere /Reuse (CPUE)	Durchschnittsgewicht (g) (50%-Wert)	frisch gehäute Krebse	Krebse mit fehlenden Scheren	Anteil der Weibchen	Weibchen mit Eiern eingesetzt	Total fangbare markierte Krebse (Mort. = 1%/Tg.)	Total fangbare markierte Krebse (Mort. = 2%/Tg.)	wiedergefangene markierte Krebse	geschätzte Gesamtpopulation der fangbaren Krebse (Mort.=1%/Tg)	geschätzte Gesamtpopulation der fangbaren Krebse (Mort.=2%/Tg)	gefangene Signalkrebse	Tiere/Reuse (CPUE)	Durchschnittsgewicht (g) (50%-Wert)
04.06.97	114 Krebsreusen	458	4.02	33.0	5	46.7%	58	58	58	4	4075	4075	1	55.0		
05.06.97	106 Krebsreusen	281	2.65	33.0	3	48.0%	1	58	58	4	4075	4075	1	55.0		
06.06.97	86 Krebsreusen	236	2.74	28.0	1	48.3%	36	57	53	1	13551	12470				
11.06.97	Plastikfallen	6		17.5	1	33.3%										
Jun-97	Summe	981	3.21	32005	10	136	1	94	58	5	11310	11310	1	55.0		
	Durchschnitt	325	3.21	32.0	1.02%	13.9%	47.4%	0.10%						55.0		
01.07.97	Plastikfallen	8		13.5		75.0%										
01.07.97	112 Krebsreusen	749	6.69	37.0	3	44.2%		123	93	7	13186	10002				
02.07.97	112 Krebsreusen	434	3.88	35.0		43.5%		115	85	3	16636	12240				
03.07.97	112 Krebsreusen	374	3.34	31.0		40.4%		111	80	4	10358	7459				
04.07.97	112 Krebsreusen	489	4.37	27.5	1	47.4%	1	152	106	74	10325	7235				
Jul-97	Summe	2054	4.58	70762	4	386	1	246	123	93	13270	10066				
	Durchschnitt	512	4.58	33.0	0.19%	18.8%	44.3%	0.05%								
06.08.97	Plastikfallen	9		3.0		66.7%										
19.08.97	112 Krebsreusen	762	6.80	26.0		47.2%		169	94	0	51664	28246	1	17		
20.08.97	112 Krebsreusen	524	4.68	25.0		44.7%		167	92	0						
21.08.97	112 Krebsreusen	312	2.79	24.0	1	46.5%		166	91	1						
22.08.97	112 Krebsreusen	397	3.54	25.0		39.3%		37	163	88						
Aug-97	Summe	2004	4.47	54683	1	222	283	169	94	1	338676(?)	188376(?)	1	17		
	Durchschnitt	499	4.47	25.0	0.05%	11.1%	45.0%							17		
02.10.97	Plastikfallen	26		6.8		61.5%										
07.10.97	108 Krebsreusen	655	6.06	34.0	1	37.6%	1	40	128	3	27910	11059	2	20.5		
08.10.97	108 Krebsreusen	313	2.90	31.0	5	37.1%	1	11	158	9	5479	2804	1	17		
09.10.97	108 Krebsreusen	281	2.60	27.0	4	38.1%		157	80	10	4411	2249	1	23		
10.10.97	108 Krebsreusen	308	2.85	30.0	1	45.1%		145	68	10	4479	2107	1	24		
Oct-97	Summe	1583	4.9497	49497	11	220	2	334	32	32	3403	3403	5	105		
	Durchschnitt	389	3.66	31.0	0.69%	13.9%	39.4%	0.13%	147	70	8	7150	3403	21.0	60.0%	
18.11.97	109 Krebsreusen	164	1.50	34.0	3	34.8%	3	98	31	0			1	29		
19.11.97	109 Krebsreusen	170	1.56	35.0	6	35.9%	1	97	30	3	5512	1728	1	19		
20.11.97	109 Krebsreusen	85	0.78	31.0	2	47.1%		96	27	0						
21.11.97	109 Krebsreusen	135	1.24	26.0		37.0%		95	26	1	12871	3557				
Nov-97	Summe	554	5.2271	52271	11	104	4	98	31	4	13608	4310	2	48		
	Durchschnitt	139	1.27	33.0	1.99%	18.8%	37.5%	0.72%						24.0	50.0%	
1997	Summe	7176	4.07	225033	37	1068	8	334	61	61	225	225	9	225		
	Durchschnitt	3		39.0		43.3%	0.11%							25.0	66.7%	
10.06.97	59 Krebsreusen												108	1.83	33.0	44%
11.06.97	59 Krebsreusen												52	0.88	31.0	44%
07.10.97	4+13 Krebsreusen+Aalreusen												5	0.29		
08.10.97	4+13 Krebsreusen+Aalreusen												4	0.24		
10.10.97	4+13 Krebsreusen+Aalreusen												4	0.24		
16.10.97	4+13 Krebsreusen+Aalreusen												4	0.24		
1997	Summe	3		100.0									177	0.95	29.0	44.4%
	Durchschnitt			39.0												

Tab. 5: Zusammenfassung der wichtigsten Resultate der Krebsfangaktionen im Schübelweiher und Rumensee.

CPUE (catch per unit effort) = durchschnittliche Anzahl Krebse pro Reuse. Die Schätzungen der Populationsgrösse anhand der wiedergefangenen markierten Tiere wurden unter der Annahme einer Mortalitätsrate von 1 und 2% pro Tag gerechnet (Erklärungen dazu im Text).

verlauf auf wie das durchschnittliche Körpergewicht der gefangenen Tiere. Es scheint, dass der Anteil der Tiere mit fehlenden Scheren um so grösser ist, je schwerer die Tiere im Durchschnitt sind ($r^2 = 0.69$).

3.3.1.6 Entwicklungsbiologischer Zustand der gefangenen Tiere

Die 37 **frisch gehäuteten Krebse**, welche insgesamt gefangen wurden, machen etwa 0.5% aller gefangenen Tiere aus. Der Anteil nahm vom Juni zum August ab und stieg dann bis zum höchsten Wert im November wieder an.

Die insgesamt 8 gefangenen **Weibchen mit Eiern** machen 0.11% der gefangenen Tiere bzw. 0.25% der gefangenen Weibchen aus. Mit Ausnahme des August wurde in jedem Monat mindestens 1 Weibchen mit Eiern gefangen. Im Herbst wurden sowohl anteilmässig wie auch absolut deutlich mehr eiertragende Weibchen gefunden als im Sommer.

3.3.1.7 Wiederfänge markierter Tiere

Von den 334 Krebsen, die zwischen dem 4. Juni und dem 8. Oktober 1997 markiert und im Schübelweiher ausgesetzt worden waren, wurden insgesamt 61 wieder in den Reusen gefunden. Besondere Beachtung verdient die Tatsache, dass sich im August nur gerade 1 markiertes Tier wieder in den Reusen befand, obwohl bis dahin bereits 246 markierte Tieren ausgesetzt worden waren. (Die Ergebnisse der Fang-Wiederfang-Untersuchungen werden im Kapitel «Diskussion» ausführlich besprochen und interpretiert).

3.3.2 Rumensee

3.3.2.1 Ergebnisse der Fangaktionen insgesamt

Im Rumensee wurden total 117 *Signalkrebse* mit einem Gesamtgewicht von knapp 4.5 kg sowie 3 *Rote Sumpfkrebse* gefangen. Alle 3 *Roten Sumpfkrebse* waren relativ grosse Tiere, ihr Gewicht betrug 20, 39 und 40 g. Die Körpermasse der *Signalkrebse* sind sehr ähnlich denjenigen der *Roten Sumpfkrebse* aus dem Schübelweiher. Der kleinste *Signalkrebs* war 55 mm lang und 4.0 g schwer, der grösste mass 137 mm und wog 86 g. Wie beim *Roten Sumpfkrebs* sind auch beim *Signalkrebs* die Männchen im Mittel etwas grösser und schwerer als die Weibchen (Männchen: 104 mm, 35 g; Weibchen: 96 mm, 25 g; $p < 0.005$, t-Test).

3.3.2.2 Veränderungen im Verlaufe der Fangaktionen

Bereits bei der ersten Fangaktion im Juni wurden im Rumensee nur relativ wenig Krebse gefangen, und auch der Erfolg pro Reuse war deutlich geringer (CPUE = 1.36) als im Schübelweiher (CPUE = 3.21). Aus diesem Grund wurde von der kantonalen Fischerei- und Jagdverwaltung während des Sommers auf weitere Fangkampagnen

verzichtet, und erst im Oktober wurde wieder eine beschränkte Anzahl Reusen eingesetzt. Zusammen mit den Aalreusen wurden aber nur noch 17 *Signalkrebse* gefangen (CPUE = 0.25).

3.3.2.3 Verhältnis Männchen zu Weibchen

Wie im Schübelweiher wurden auch im Rumensee mehr Männchen als Weibchen gefangen. Ihr Anteil am Gesamtfang machte 55.6% aus (M/W = 1.25).

3.3.3 Zusätzliche Feldbegehungen

Anlässlich der Bachbegehungen wurden im **Kusenbach** 2 *Signalkrebse* und 1 *Edelkrebse* (*Astacus astacus*) gefunden. Im **Küsnachter Tobelbach** fanden sich 4 *Rote Sumpfkrebse*. Ein fünfter *Roter Sumpfkrebs* wurde im Auslauf des Schübelweiherwassers etwa 8 m oberhalb der Einmündung in den Küsnachter Tobelbach gefunden. Die *Roten Sumpfkrebse* im Küsnachter Tobelbach waren teilweise stark mit Kalk verkrustet, was darauf hindeutet, dass sie sich schon längere Zeit in diesem Bach aufgehalten hatten und dort offensichtlich auch längere Zeit überleben können.

4 Diskussion

4.1 Temperatur und Wasserqualität von Schübelweiher und Rumensee

4.1.1 Wassertemperatur

Im Zeitraum unserer Messungen war der Verlauf der Wassertemperatur in beiden Kleingewässern ähnlich. Der Rumensee war sowohl an der Oberfläche wie am Grund im Durchschnitt um etwa 1 °C kühler als der Schübelweiher. Zudem kann sich im Rumensee gelegentlich (vermutlich während windarmer Perioden) eine stabile Schichtung aufbauen, was dazu führt, dass das Wasser am Grund während längerer Zeit messbar kühler bleibt als dasjenige an der Oberfläche. Im Schübelweiher dagegen findet praktisch täglich (bzw. nächtlich) eine Zirkulation statt. Dieser Unterschied ist möglicherweise damit zu erklären, dass der Rumensee durch die umliegenden Bäume besser gegen Wind geschützt ist als der Schübelweiher.

Obwohl während der Messperiode mehrmals schönes, sommerlich warmes Wetter herrschte, lagen die Wassertemperaturen in beiden Gewässern an der Oberfläche stets unter 28 °C und am Grund unter 25 °C. Die Letaltemperaturen (für 50% der Fische) betragen für den Aal 37 °C, für den Hecht 32 °C und für den Barsch 31.4 °C. Derartig hohe Werte dürften in beiden Gewässern höchstens in einem extrem heissen Sommer zu erwarten sein.

4.1.2 Chemismus und Nährstoffgehalt

Der im Verhältnis zur Oberfläche grosse Uferanteil der Kleingewässer hat zur Folge, dass diese natürlicherweise meist wesentlich nährstoffreicher sind als grosse Seen. Entsprechend weisen sie eine recht hohe Algenproduktion auf. Diese Feststellung trifft auch für den Schübelweiher und den Rumensee zu. Beide Gewässer sind anhand ihrer Phosphor- und Chlorophyllkonzentrationen als **eutroph** einzustufen (Vollenweider, 1968, Schwoerbel, 1974). Dies ist auch an den relativ hohen Konzentrationen des partikulären Stickstoffes (pN) und Phosphors (pP) zu erkennen. Die tiefen PO₄⁻, NO₃⁻ und NH₄⁻-Konzentrationen erklären sich mit dem Umstand, dass diese Nährstoffe durch das Algenwachstum weitgehend aufgezehrt werden. Zudem ist anzunehmen, dass am Seegrund Denitrifikationsprozesse ablaufen, durch welche die Konzentrationen der gelösten anorganischen Stickstoffkomponenten (NH₄ und NO₃) zusätzlich vermindert werden können. Das Verhältnis zwischen den partikulären Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorkomponenten deutet darauf hin, dass beide Weiher **phosphor- und stickstofflimitiert** sind (Sas, 1989).

Die von uns gemessenen Nährstoffkonzentrationen stimmen recht gut mit den Werten überein, welche bei früheren Untersuchungen im Rumensee (Hürlimann & Schanz, 1988, Keel, 1994) und im Schübelweiher (Schanz, 1988) gefunden wurden. Sie zeigen, dass **beide Weiher eine ähnliche Wasserqualität aufweisen**, und dass sich **der Zustand des Schübelweihers seit 1988 nicht erkennbar verändert hat**. Vergleicht man den Schübelweiher mit anderen, ähnlichen Kleingewässern im nördlichen Teil des Kantons Zürich (Akeret & Stössel, 1995) ergibt sich, dass der Schübelweiher sogar vergleichsweise wenig Nährstoffe enthält. Auch die DOC-Konzentrationen der beiden Weiher liegen im für Gewässer dieser Grösse üblichen Bereich.

Da der Schübelweiher beinahe täglich zirkuliert und auch der Rumensee selten während mehr als 1–2 Wochen geschichtet ist, befindet sich stets genügend Sauerstoff auch über dem Grund, um die Anreicherung von reduzierten Verbindungen (z.B. NH₄ oder H₂S) zu verhindern.

Es ist somit zusammenfassend festzuhalten, dass weder die Wasserqualität noch die maximalen Temperaturen gegen einen Besatz des Schübelweihers oder des Rumensees mit Raubfischen spricht.

4.2 Biologie und Populationsdynamik des Roten Sumpfkrebse im Schübelweiher

4.2.1 Entwicklungszyklus

Unsere einheimischen Krebse weisen einen streng mit den Jahreszeiten synchronisierten Entwicklungszyklus auf. Je nach Temperaturverhältnissen benötigen sie mehrere (≥3–4) Jahre für die Entwicklung vom Ei bis zur Geschlechtsreife (Abrahamsson, 1971). Die Paarung findet im Herbst statt, und Weibchen mit Eiern (bis max. 150) werden nur vom späten Herbst bis zum frühen Frühling gefunden. Die jungen Krebse schlüpfen im Frühling aus den Eiern. Die geschlechtsreifen Tiere häuten sich im Frühling und eventuell noch einmal im Herbst (Büttiker, 1980). Die Frühlingshäutung der Weibchen ist oft etwas verzögert, da sie erst erfolgen kann, nachdem sie ihre Brutpflege beendet haben (Huner & Lindqvist, 1988). Im Unterschied dazu verläuft die Entwicklung von *P. clarkii* wesentlich schneller und weniger synchronisiert. In warmen Gegenden (z.B. Louisiana) erreichen die meisten Tiere innerhalb von etwa einem Jahr die Geschlechtsreife, und die durchschnittliche Lebenserwartung übersteigt 2–3 Jahre selten. Die Fortpflanzung findet hauptsächlich von Juli bis Oktober statt, und junge Krebse (8–12 mm Körperlänge) treten zwischen August und November in grosser Anzahl auf. Trotzdem können Weibchen mit Eiern (im Durchschnitt etwa 300, max. 900) sowie Jungtiere zu jeder Jahreszeit

gefunden werden (Penn, 1943, Huner & Barr, 1991, Huner & Lindqvist, 1995, Jarboe & Romaine, 1995, Agricultural Center 1996). Die kurze Generationsfolge, die grosse Anzahl Eier pro Tier und die geringe Synchronisation der Fortpflanzung zeichnen *P. clarkii* als typischen **r-Strategen** aus und ermöglichen ihm die Besiedlung riskanter Lebensräume (z.B. zeitweise trockenfallende Gewässer; Lindqvist & Huner, 1998).

Es ist zu vermuten, dass sich der Entwicklungszyklus des *Roten Sumpfkrebse* bei uns demjenigen unserer einheimischen Arten zwar angleicht, aber **weniger lang dauert** und **weniger synchronisiert** verläuft (Suko, 1956, Momot, 1991). Auf eine relativ gute Synchronisierung der Entwicklung deuten z.B. unsere Befunde, dass der Anteil der **frisch gehäuteten Krebse** im Hochsommer deutlich tiefer war als im Frühsommer und im Herbst, und dass die Weibchen gegen den Herbst hin einen zunehmend geringeren Anteil des Gesamtanges am Fang ausmachen. Weibchen des *Roten Sumpfkrebse*, die Eier tragen, vergraben sich in Wohnröhren (Huner & Lindqvist, 1995) und werden daher mit Fallen nur noch selten gefangen. Als Folge davon steigt das Geschlechtsverhältnis (M/W) in den Fängen von 1.11 im Juni auf 1.66 im November. Die wenigen eiertragenden Weibchen, die trotzdem in die Reusen gingen, nahmen gegen den Herbst hin zahlenmässig eindeutig zu, was ebenfalls dafür spricht, dass die Hauptfortpflanzungszeit von *P. clarkii* im Herbst und Winter liegt. Andererseits haben unsere Funde aber auch bestätigt, dass im Schübelweiher zu jeder Jahreszeit ein gewisser Teil der Weibchen Eier trägt und sich in Wohnröhren aufhält.

Der Befund, dass das **durchschnittliche Körpergewicht** der Krebse und der **Anteil der Tiere mit fehlenden Scheren** in der Mitte des Sommers stark abnimmt, könnte damit zu erklären sein, dass dann in kurzer Zeit die meisten Tiere des ältesten Jahrganges sterben und durch den nächsten Jahrgang ersetzt werden. Dafür spricht auch die Tatsache, dass im August fast keine der im Juni und Juli markierten Krebse wiedergefunden wurden. Dies wäre somit ebenfalls ein Hinweis auf eine recht gute Synchronisation der Entwicklung.

Die grösste Unsicherheit besteht bei der Dauer, welche *P. clarkii* vom Ei bis zur Geschlechtsreife benötigt, und bei der durchschnittlichen Lebenserwartung der Krebse. Es ist wahrscheinlich, dass die **Grösse**, bei der z.B. die Geschlechtsreife erreicht wird, in erster Linie von der verfügbaren Nahrung und der Besiedlungsdichte (Konkurrenz) abhängt (Jarboe & Romaine, 1995), während die Temperatur den grössten Einfluss auf die **Geschwindigkeit** der Entwicklung hat (Suko, 1956, Richards et al., 1996). Um ein bestimmtes Entwicklungsstadium (z.B. Geschlechtsreife) zu erreichen, wird jeweils eine gewisse,

± konstante Temperatursumme (in TG = Tagesgrade) benötigt. Daher ist über die Temperatursumme eines Gewässers eine grobe Abschätzung der Entwicklungszeit möglich. Unter der Temperatursumme wird die Anzahl Tage x Grad C über der physiologisch bedingten Schwellentemperatur verstanden, oberhalb der ein Wachstum stattfindet. Diese Schwellentemperatur dürfte bei *P. clarkii* mit der unteren Aktivitätsgrenze zusammenfallen. Sie beträgt 10 °C (Holdich, 1988; Huner & Barr, 1991). In Louisiana (USA) erreichen die *Roten Sumpfkrebse* nach ca. 2500–3500 TG die Geschlechtsreife (Penn, 1943, Jarboe & Romaine, 1995). Dieser Wert stimmt recht gut mit eigenen Laborbeobachtungen an kleinen Krebsen (unveröffentlichte Daten) überein, die einen extrapolierten Temperaturbedarf von ca. 2500–3000 TG bis zum Erreichen von ca. 18–20 g Körpergewicht ergaben, bei dem wir annehmen, dass die Krebse die Geschlechtsreife erreicht haben. Um das «Endgewicht» von 60–80 g zu erreichen, wird eine extrapolierte Temperatursumme von ca. 7500 TG benötigt. Der Schübelweiher weist pro Jahr eine (von den Krebsen physiologisch nutzbare) Temperatursumme von etwa 1600 TG auf. Am wahrscheinlichsten scheint daher, dass die Mehrzahl der Tiere gegen Ende ihres 2. Sommers, also mit gut 1½ Jahren, geschlechtsreif werden und danach noch 2–3 Jahre leben und sich in dieser Zeit noch 1–2 mal fortpflanzen (Richards et al., 1996). Es ist allerdings damit zu rechnen, dass sich nicht alle Tiere gleich schnell entwickeln und auch Unterschiede von Jahr zu Jahr bestehen.

4.3 Charakterisierung der *P. clarkii*-Population im Schübelweiher

4.3.1 Allgemeiner Zustand

Die gefangenen *Roten Sumpfkrebse* weisen verschiedene Merkmale auf, welche typisch sind für eine Krebspopulation, die nicht kommerziell ausgebeutet wird und die Wachstumsgrenze (*carrying capacity*) ihres Lebensraumes erreicht hat (Abrahamsson, 1966, Huner & Lindqvist, 1988; Skurdal et al., 1988). Derartige Populationen befinden sich in einem Gleichgewicht (*steady state*) mit den im Lebensraum verfügbaren Ressourcen (v.a. Nahrung) und werden von den grössten Männchen kontrolliert.

- Die Dominanz der Männchen äussert sich im Geschlechtsverhältnis der gefangenen Tiere (Abrahamsson, 1966). Im Schübelweiher war das Verhältnis Männchen/Weibchen immer >1.0.
- Die Dominanz der grossen Männchen wird auch daran sichtbar, dass das Verhältnis M/W im allgemeinen am Anfang einer Fangkampagne am höchsten ist und an den darauffolgenden Tagen abnimmt. Am Anfang verdrängen die aggressiveren Männchen die Weibchen

von den Reusen. Der Anteil der Weibchen am Fang nimmt erst zu, nachdem die aggressivsten Männchen weggefangen sind (Huner & Lindqvist, 1988).

- Das Durchschnittsgewicht der gefangenen Tiere ist relativ hoch (Huner & Lindqvist, 1995). Im Schübelweiher betrug es 29 g, während es bei einer intensiv genutzten Population bei 20 g oder weniger liegt (Jarboe & Romaire, 1995, Agricultural Center, 1996).
- Bei 15% der Krebse aus dem Schübelweiher fehlte mindestens eine Schere. Dieser Wert deckt sich mit Zahlen, die an anderen ungenutzten Populationen gefunden wurden (Abrahamsson, 1966, Huner & Lindqvist, 1988), während bei intensiv genutzten Populationen nur wenige Tiere (1–4%) derartige Beschädigungen aufweisen (Skurdal et al., 1988).

4.3.2 Grösse der «fangbaren Population»

4.3.2.1 Interpretation der Fangergebnisse insgesamt

Zwischen dem 4. Juni und dem 21. November wurden im Schübelweiher insgesamt 7176 *Rote Sumpfkrebse* gefangen. Berücksichtigt man die vermutete, relativ langsame Entwicklung der Krebse, ist davon auszugehen, dass die gesamte «fangbare» Population deutlich grösser ist als die Gesamtzahl der gefangenen Tiere.

4.3.2.2 Interpretation der Fang-Wiederfang-Ergebnisse

In der Tabelle 5 sind die Resultate unserer Berechnungen, die anhand der markierten und wiedergefangenen Krebse durchgeführt wurden, zusammengestellt. Damit derartige Berechnungen hinreichend zuverlässig sind, müssen v.a. die folgenden Rahmenbedingungen erfüllt sein:

- a) Es muss ein genügend grosser Anteil der Gesamtpopulation markiert werden, damit die Berechnung der Grösse der gesamten Population mit der gewünschten Sicherheit möglich ist. Je geringer der Anteil der markierten Tiere an der Gesamtpopulation ist, desto zufälliger werden die Ergebnisse.

Im vorliegenden Fall wären etwa 1300 markierte Krebse nötig gewesen, um die Populationsgrösse auf $\pm 10\%$ schätzen zu können (unter sonst erfüllten Rahmenbedingungen und bei einer Wiederfangquote von 50% und einer vermuteten Populationsgrösse von 10 000 Tieren). Da aber nur 334 Krebse markiert werden konnten, beträgt der **95%-Vertrauensbereich der Berechnungen mindestens das 1.5fache der geschätzten Populationsgrösse** (Krebs, 1989).

- b) Die Tiere, welche markiert werden, müssen einen repräsentativen Ausschnitt aus der Gesamtmenge der fangbaren Tiere darstellen und mit derselben Wahrscheinlichkeit gefangen werden wie alle anderen Tiere der Population.

Auch diese Rahmenbedingung wurde bei uns nicht eingehalten, da nur ein enges Segment der Population (die grössten Männchen) markiert wurde, welche aufgrund ihres aggressiven Verhaltens zudem in den Reusen deutlich übervertreten sind (Brown & Brewis, 1978, Huner & Lindqvist, 1988, Stuecheli, 1991, Richards et al. 1996). Dies hat zur Folge, dass mit den Berechnungen die Gesamtgrösse der Population eher **unterschätzt** wird.

- c) Es muss sichergestellt sein, dass möglichst alle markierten Krebse wieder gefangen werden können. Es sollten also möglichst keine Krebse im Zeitraum zwischen dem Wiedereinsatz und dem Wiederfang durch Abwanderung oder Tod verloren gehen. Daher werden Fang-Wiederfang-Experimente idealerweise im Zeitraum von wenigen Tagen durchgeführt. Abgesehen von der Fangkampagne im Juni befanden sich stets Krebse im Schübelweiher, die mindestens schon einen Monat lang markiert waren. Da bei derart langen Zeiträumen die Mortalität der markierten Krebse erheblich sein kann, v.a. wenn es sich dabei, wie bei unseren Untersuchungen, um sehr alte Tiere handelt, darf sie bei den Berechnungen nicht vernachlässigt werden. Andernfalls wird die Population überschätzt. In unserem Fall ergab sich allerdings die Schwierigkeit, dass die Mortalität der von uns markierten Krebse nicht bekannt ist. Um die Gesamtpopulation trotzdem schätzen zu können, haben wir die Berechnungen unter der Annahme von zwei verschiedenen konstanten Mortalitätsraten (1% und 2% pro Tag) durchgeführt (siehe Tab. 5). Damit wird gleichzeitig ersichtlich, in welchem Ausmass die Bestandesschätzung durch die Mortalität beeinflusst wird.
- d) Markierungen dürfen nicht verloren gehen oder übersehen werden. Diese Bedingung wurde bei unseren Untersuchungen in hohem Masse erfüllt.

Gesamthaft ergibt sich, dass unsere Bestandesschätzungen anhand der Wiederfänge mit einer grossen Unsicherheit behaftet sind. Den grössten Einfluss auf das Resultat dürfte die (unbekannte) Mortalität der markierten Krebse haben. Am zuverlässigsten scheinen daher die Berechnungen für den Juni zu sein, weil dort die markierten Tiere erst 1–2 Tage vorher ausgesetzt worden waren. Vermutlich befanden sich zu diesem Zeitpunkt somit etwa 11 000–12 000 fangbare Krebse im Schübelweiher. Die Berechnungen für den Juli scheinen diese Zahl zu bestätigen. Im August wurde nur ein markiertes Tier gefangen, obwohl bereits 246 ausgesetzt worden waren. Vermutlich waren die meisten dieser alten Krebse inzwischen gestorben. Für die nachfolgenden Monate (Oktober und November) hängt die Zuverlässigkeit der Berechnungen stark von der Richtigkeit der

angenommenen Mortalität ab. Bei einer Mortalität von 1% pro Tag ergibt sich ein Gesamtbestand zwischen 7000 und 14 000 Tieren, bei 2% ein solcher von 3400 bis 4300 Tieren. Wir vermuten, dass die effektive Bestandsdichte irgendwo zwischen diesen beiden Berechnungen liegt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich im Durchschnitt vermutlich etwa 10 000–13 000 fangbare Krebse im Schübelweiher befinden, wobei der Unsicherheitsbereich für diese Schätzung von etwa 5000 bis 15 000 Tieren reicht. Eine derartige Besiedlungsdichte (unter 1 Tier pro m²) wie auch ihre Biomasse (etwa 200–250 kg/ha) stellt einen geringen Wert dar, wenn man ihn mit anderen von *P. clarkii* besiedelten Gewässern vergleicht (Holdich, 1988, Huner & Lindqvist, 1995). Dies deutet zusammen mit der «Überalterung» der Population und der Dominanz der Männchen darauf hin, dass der Schübelweiher für den *Roten Sumpfkrebs* kein sehr günstiges Gewässer darstellt (Lindqvist & Huner, 1998). Berücksichtigt man das hohe Reproduktionspotential von *P. clarkii*, so kann davon ausgegangen werden, dass die Population in den ca. 8 Jahren, seit die ersten Tiere im Schübelweiher eingesetzt wurden, die Tragfähigkeit (carrying capacity) des Gewässers erreicht hat und nicht mehr grösser werden kann.

4.3.3 Schätzung der gesamten Population mittels eines rechnerischen Modells

Sämtliche bisherigen Bestandesschätzungen haben sich nur auf denjenigen Teil der Krebspopulation bezogen, der mit den Reusen gefangen werden kann. Die jungen Tiere (unter ca. 16 g Körpergewicht) werden damit aber nur unvollständig, diejenigen unter 2 g überhaupt nicht erfasst (Abrahamsson, 1966; vgl. Abb.), obwohl sie häufiger sein müssen als die grösseren Tiere. Um eine Aussage über ihren zahlenmässigen Anteil an der Gesamtpopulation zu machen, wurde daher ein einfaches numerisches Modell über die zahlenmässige Entwicklung der Gesamtpopulation gerechnet. Dazu wurden die folgenden, eher konservativen Annahmen getroffen, welche auf den in den vorangegangenen Kapiteln erläuterten Resultaten und Schlussfolgerungen basieren:

- Die *P. clarkii*-Population befindet sich in einem Gleichgewicht mit den im Schübelweiher verfügbaren Ressourcen. Ihre mittlere Grösse verändert sich nicht mehr;
- Die Population wird alle drei Jahre «erneuert», d.h. es kommen stets 3 Jahrgänge bzw. Altersklassen (0+, 1+ und 2+) gleichzeitig nebeneinander vor;
- Jedes Weibchen produziert insgesamt 400 Jungtiere, welche im März in die Population eintreten;
- Das Sterberisiko eines Krebses ist während seines gesamten Lebens konstant;

- Mit den Reusen werden nur die Mitglieder der zwei grösseren Altersklassen (d.h. 1+- und 2+-Tiere) erfasst. Diese machen zusammen im Mittel etwa 11 000 Tiere aus (= Schätzung anhand der Fang-Wiederfang-Methode). Die Tiere, welche weniger als ein Jahr alt sind (0+-Tiere), werden mit den Reusen nicht erfasst.

Die Ergebnisse der Modellrechnung sind in der Tabelle 6 zusammengestellt (siehe auch Abb. 8). Die Bedingung a) wird bei einer Mortalität von 0.5% pro Tag eingehalten. Diese führt dazu, dass von den anfangs vorhandenen Tieren (400) nach 3 Jahren (1095 Tagen) noch genau deren 2 (ein Männchen und ein Weibchen) übrigbleiben, d.h. dass die Population weder wächst noch kleiner wird. Damit die Modellrechnung eine durchschnittliche Anzahl fangbarer Tiere (Summe der älteren zwei Jahrgänge) von etwa 11 000 ergibt, wie sie mit der Fang-Wiederfang-Methode bestimmt wurde, sind 320 Weibchen nötig. Mit diesen Zahlenvorgaben ergibt das Modell, dass im Jahresdurchschnitt etwa 53 059 Tiere vorhanden sind, die jünger sind als 1 Jahr, mit einem Maximum im Frühling, gerade nachdem die Jungtiere geschlüpft sind (119 039) und einem Minimum am Ende des Winters (23 479). Die Grösse der Gesamtpopulation wird stark von den Jungtieren beeinflusst und beträgt im Mittel 63 654 Tiere mit einem Maximum von 142 760 und einem Minimum von 28 178 Individuen. Das errechnete Verhältnis zwischen dem durchschnittlichen Anteil der fangbaren Tiere und demjenigen der Jungtiere, die zu klein sind, um mit den Reusen gefangen zu werden, stimmt recht gut mit den Befunden von Abrahamsson (1966) überein. Es passt auch dazu, dass normalerweise nur etwa 10% einer Krebspopulation gefangen werden kön-

Median für	0+	1+	2+	fangbare	alle
März	119 039	20 257	3 464	23 721	142 760
April	102 706	17 478	2 989	20 466	123 173
Mai	88 614	15 080	2 579	17 658	106 272
Juni	76 456	13 011	2 225	15 236	91 692
Juli	65 966	11 226	1 920	13 145	79 111
August	56 777	9 662	1 652	11 314	68 091
September	48 987	8 336	1 425	9 762	58 749
Oktober	42 266	7 192	1 230	8 422	50 688
November	36 467	6 206	1 061	7 267	43 734
Dezember	31 463	5 354	916	6 270	37 733
Januar	27 081	4 631	792	5 423	32 503
Februar	23 479	4 015	685	4 700	28 178
Jahr	53 053	9 051	1 544	10 595	63 656

Tab. 6: Ergebnisse eines gerechneten Modells zur Populationsentwicklung von *P. clarkii* im Schübelweiher (Erklärungen im Text).

nen (mündl. Mitteilung von Hans Ackefors, Stockholm University). Im vorliegenden Fall ist somit davon auszugehen, dass die 7176 Krebse, die insgesamt in die Reusen gingen, aus einer Population stammten, die etwa 64 000 Individuen umfasst.

4.3.4 Auswirkungen der Fangkampagnen auf die *P. clarkii*-Population im Schübelweiher

Sowohl der Ertrag der Fangaktionen (Anzahl gefangener Krebse pro Fangkampagne) wie auch der durchschnittliche Fangerfolg (CPUE) nahmen gegen den Herbst hin ab und erreichten im November die geringsten Werte. Es ist kaum anzunehmen, dass dieser Rückgang auf eine Erschöpfung der Krebspopulation als Folge der Fangaktionen zurückzuführen ist. Viel wahrscheinlicher ist, dass der Verlauf der Krebserträge in erster Linie den Temperaturgang im Schübelweiher bzw. die Aktivität der Krebse reflektiert, wie es auch bei anderen Untersuchungen beobachtet wurde (Richards et al. 1996).

Eine Kenngrösse, um den Effekt der Fangaktionen abzuschätzen, ist das mittlere Gewicht der gefangenen Tiere. Dieses war immer am Anfang einer Fangkampagne am höchsten und nahm an den darauffolgenden Tagen ab. Dies ist damit zu erklären, dass die dominanten, grösseren Tiere die kleineren von den Reusen verschrecken (Brown & Brewis, 1978, Huner & Lindqvist, 1988, Stuecheli, 1991, Richards et al., 1996). Entsprechend nahm der Anteil der kleineren Tiere in den Fängen im Verlaufe einer Fangaktion in dem Masse zu, als die grösseren Tiere durch die vorangegangenen Fänge bereits aus der Population entfernt worden waren (Huner & Lindqvist, 1988). Offensichtlich vermochten die Fangaktionen die Grössenstruktur der Krebspopulation jeweils kurzfristig zu beeinflussen. Dagegen ergibt ein Vergleich der durchschnittlichen Gewichte der gefangenen Tiere

der ersten Fangkampagne (Juni) mit denjenigen der letzten (November) **keinen** statistisch signifikanten Unterschied ($p = 0.92$). Die im November gefangenen Tiere waren mit 92% Wahrscheinlichkeit nicht kleiner als diejenigen vom Juni. Dies muss dahingehend interpretiert werden, dass die Populationsstruktur durch die Fangaktion zwischen Juni und November nicht verändert wurde (Skurdal & Qvenild, 1986), und dass die Verluste einer Fangkampagne jeweils bis zur nächsten Kampagne durch den Nachwuchs wieder wettgemacht wurden. Es ergibt sich somit die Schlussfolgerung, dass die Fangaktionen des Sommers 1997 insgesamt **keinen** längerfristig nachweisbaren Effekt auf die Population des *Roten Sumpfkrebse* im Schübelweiher hatten. Dies ist kaum erstaunlich, wenn man bedenkt, dass eine Population des *Roten Sumpfkrebse* selbst unter einem vielfach intensiveren Befischungsdruk, wie er bei kommerzieller Nutzung vorliegt, nicht zusammenbricht (Jarboe & Romaire, 1995). Die einzige Möglichkeit einer Bestandesreduktion scheint somit zu sein, den Nachwuchs der Population zu reduzieren.

4.3.5 Rechnerische Simulation des Effektes eines Raubfischbesatzes auf die Krebspopulation

Um zu prüfen, welchen Effekt eine Dezimierung des Nachwuchses, wie sie z.B. mit einem Raubfischbesatz erreicht werden kann (Huner & Lindqvist, 1988), auf das Wachstum der Population haben könnte, wurde im Wachstumsmodell ab dem 1. März 1999 die Mortalität der Krebse in ihrem ersten Lebensjahr von 0.5 auf 1.0% erhöht (es wurde also die eher konservative Annahme getroffen, dass die Raubfische nur den 0+-Jahrgang schädigen und den grösseren Tieren nichts mehr anhaben können). Das Ergebnis ist in der Abbildung 8 dargestellt. Es wird ersichtlich, dass schon ein Jahr nach dem Raubfischbesatz die Anzahl der fangbaren Tiere

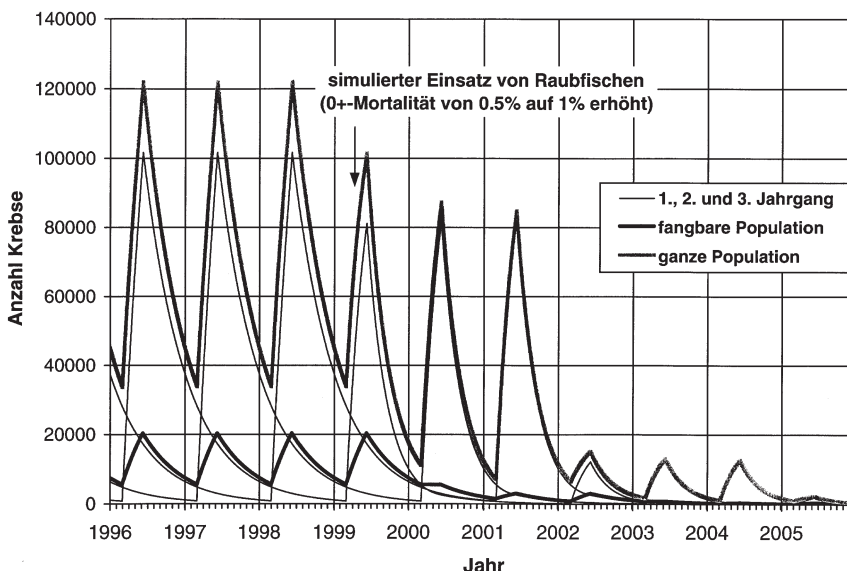


Abb. 8: Grafische Darstellung des gerechneten Populationsmodells von *P. clarkii* im Schübelweiher (Erklärungen im Text). Es wird daraus ersichtlich, dass die grossen (d.h. fangbaren) Krebse zahlenmässig nur einen kleinen Teil der Gesamtpopulation ausmachten, und dass jederzeit ein grosses «Reservoir» an Jungtieren zur Verfügung steht, um Verluste älterer Tiere (z.B. durch Reusenfänge) zu kompensieren. Eine Bekämpfung kann daher nur erfolgreich sein, wenn sie beim Nachwuchs ansetzt, wie dies z.B. mit einem Besatz mit Raubfischen möglich ist. Dies wurde rechnerisch getan, indem ab dem 1. März 1999 die Mortalität der Krebse in ihrem ersten Lebensjahr verdoppelt wurde.

markant zurückgeht, und dass die Population drei Jahre später auf einen Bruchteil der ursprünglichen Grösse verringert ist.

Es ist zu betonen, dass das Modell insgesamt eine stark vereinfachte Darstellung der komplexen, populationsdynamischen Vorgänge beim *Roten Sumpfkrebs* darstellt. Damit sollte wenigstens ein Eindruck von den Grössenordnungen vermittelt werden, um die es bei der *P. clarkii*-Population im Schübelweiher geht. Eine genaue Wiedergabe der Altersstruktur und Entwicklungsdynamik der Krebspopulation wäre schon alleine wegen der vielen Unsicherheiten bei den Ausgangsdaten nicht möglich gewesen. Insbesondere ist darauf hinzuweisen, dass die Mortalität der Krebse in der Natur dichteabhängig ist und nur dann einigermaßen konstant bleibt, wenn sich eine Population im Gleichgewichtszustand mit seiner Umgebung befindet und sich die Umgebungsbedingungen nicht wesentlich ändern. Da im Modell die Dichteabhängigkeit der Mortalität nicht berücksichtigt ist, lassen sich damit Entwicklungen unter stark veränderten Verhältnissen, z.B. mehrere Jahre nach dem Raubfischbesatz, wenn der Krebsbestand drastisch reduziert ist, nur noch bedingt prognostizieren. Es kann also nicht unbedingt damit gerechnet werden, dass der Krebsbestand im Schübelweiher durch die Raubfische praktisch auf Null reduziert wird, wie dies im Modell geschieht. Vielmehr wird sich längerfristig ein neues Gleichgewicht einstellen, dessen Niveau durch eine gezielte Förderung der Raubfische sowie ergänzende Fangaktionen zusätzlich gesenkt werden kann.

4.4 Die Signalkrebs-Population im Rumensee

Die *Signalkrebse*, die im Juni im Rumensee gefangen wurden, deuten darauf hin, dass sich diese Population in einem ähnlichen Zustand befand wie diejenige des *Roten Sumpfkrebse*s im Schübelweiher. Wegen des hohen Durchschnittsgewichtes der gefangenen Tiere und der Dominanz der Männchen in den Fängen ist davon auszugehen, dass auch diese Population die vom Lebensraum gegebene Wachstumsgrenze erreicht hatte und durch die grössten Männchen dominiert wurde. Über ihre Grösse kann leider nur spekuliert werden, da bereits 6 Wochen vor der Fangkampagne eine grosse Anzahl Raubfische, v.a. Aale, im Rumensee ausgesetzt wurde. Ebenfalls nicht bekannt ist, welchen Effekt die bereits in früheren Jahren ausgesetzten Hechte auf die *Signalkrebs*-Population hatten. Im Experiment fanden Appelberg & Odelström (1988), dass die Mortalität junger (0+) *Signalkrebse* durch die Anwesenheit von Barschen (*Perca fluviatilis*) zwar nicht erhöht wurde, dass die Jungkrebse aber in Anwesenheit der Barsche ein signifikant anderes Verhalten zeigten und wesentlich lang-

samer wuchsen als diejenigen der Kontrolle. Es ist aber davon auszugehen, dass im April (vor dem Besatz mit Aalen) der Bestand der *Signalkrebse* etwas grösser war als anhand der Fänge im Juni zu vermuten ist, und dass er durch den massiven Aalbesatz in der Zwischenzeit bereits deutlich reduziert worden war. Die Tatsache, dass im November fast keine *Signalkrebse* mehr gefangen werden konnten, könnte ebenfalls ein Hinweis darauf sein, dass Aale eine sehr grosse Wirkung auf Krebspopulationen haben können. Dies würde die Aussage von Büttiker (1980) bestätigen, wonach der Aal der gefährlichste Feind der Krebse ist. Andererseits scheint die Gefährdung der *Signalkrebse* durch Barsche und Hechte weniger hoch zu sein (Appelberg & Odelström, 1988).

4.5 Die Roten Sumpfkrebse im Rumensee und in den umliegenden Gewässern und die Signalkrebse im Schübelweiher

Bereits 1995 wurden in der Umgebung des Rumensees einige *Rote Sumpfkrebse* beobachtet, und 1996 wurden deren 7 im Rumensee gefangen (im Schübelweiher gleichzeitig 1347; Fischerei- und Jagdverwaltung des Kt. Zürich, pers. Mitteilung). Es wurde daher bisher davon ausgegangen, dass sich auch im Rumensee eine kleine Population von *P. clarkii* befindet. Im Juni 1997 konnten aber trotz eines wesentlich intensiveren Fangprogrammes als 1996 nur 3 *Rote Sumpfkrebse* gefangen werden. Nach Huner (pers. Mitteilung) ist es ziemlich unwahrscheinlich, dass sich eine derart kleine Population in einem Gewässer in Anwesenheit einer anderen, konkurrenzierenden Art (hier *Signalkrebs*s) längerfristig halten kann. Viel wahrscheinlicher ist es, dass es sich bei den im Rumensee gefundenen *Roten Sumpfkrebse*n um jeweils neu eingewanderte Tiere handelt, die aber nicht in der Lage sind, gegen die Dominanz der bereits anwesenden *Signalkrebse* eine tragfähige eigene Population aufzubauen. Auch die früher im Rumensee eingesetzten Hechte dürften dazu beigetragen haben, dass sich der *Rote Sumpfkrebs* dort nicht etablieren konnte. Zudem bietet die Beschaffenheit des Ufers dem *Roten Sumpfkrebs* viel weniger Möglichkeiten sich einzugraben, als dies beim Schübelweiher der Fall ist.

Nicht ausgeschlossen werden kann allerdings, dass der *P. clarkii*-Bestand im Rumensee bis im Frühling 1997 wesentlich höher war, und dass er durch die eingesetzten Raubfische (v.a. Aale) noch wesentlich dramatischer dezimiert wurde als derjenige des *Signalkrebse*s. Da der *Rote Sumpfkrebs* natürlicherweise Standorte besiedelt, die regelmässig trockenfallen und damit frei von Fischen sind, hat er kein Abwehrverhalten gegen Fische entwickelt. Es ist daher durchaus denkbar, dass der *Rote*

Sumpfkrebs mit Raubfischen wesentlich effizienter bekämpft werden kann als der *Signalkrebs*.

Auch bei den *Signalkrebsen* im Schübelweiher handelt es sich wahrscheinlich jeweils um neu eingewanderte Tiere, die aber wegen der bereits anwesenden *Roten Sumpfkrebse* keine eigene Population etablieren können.

Es liegt hier somit die interessante Situation vor, dass zwei auf den ersten Blick sehr ähnliche, miteinander kommunizierende Kleingewässer von zwei verschiedenen Krebsarten besiedelt sind.

Die Funde von *P. clarkii* im Küssnachter Tobelbach bestätigen das Ausbreitungspotential und die hohe Überlebensfähigkeit dieser Art. Ob der *Rote Sumpfkrebs* in Fließgewässern dominant und damit zu einem Problem werden kann, lässt sich zur Zeit allerdings nicht sagen. Um eine weitere Verbreitung möglichst zu verhindern, scheint es uns aber dringend empfehlenswert, dass betroffene Fließgewässer wie auch untenliegende Stillgewässer in Zukunft diesbezüglich intensiv überwacht werden.

5 Schlussfolgerungen

Bezüglich der Situation des Schübelweihers und des Rumensees sowie der Bekämpfung des *Roten Sumpfkrebse*s und anderer, fremder Krebsarten ergeben sich zusammenfassend die folgenden Schlussfolgerungen, welche auch die in Kapitel 1.1 gestellten Fragen beantworten.

a) Wasserqualität und Temperatur (Fragen a und b)

Der Schübelweiher und der Rumensee sind in Bezug auf ihre Wasserqualität und Temperatur ähnlich. Beide Weiher weisen ein relativ hohes Algenwachstum auf (eutroph), die aber für Gewässer dieser Grössenordnung durchaus natürlich und normal ist. Da sich die Qualität des Schübelweihers in den letzten Jahren nicht messbar verändert hat, besteht keine Notwendigkeit, ihn zu sanieren.

Sowohl der tiefste über dem Grund des Schübelweihers gemessene Sauerstoffgehalt, als auch die Nährstoffkonzentrationen und die höchsten, im Sommer zu erwartenden Wassertemperaturen erlauben einen dauerhaften Bestand an Raubfischen (Hechte, Barsche, Aale).

b) Zustand der Population des *Roten Sumpfkrebse*s im Schübelweiher und Rumensee (Fragen c, d, f und g)

Gemäss unseren Schätzungen und Modellrechnungen umfasst die Population des *Roten Sumpfkrebse*s im Schübelweiher im Jahresdurchschnitt etwa 64 000 Tiere. Davon machen die jungen Krebse, die weniger als ein Jahr alt sind, etwa 80–85% aus, und nur etwa 11 000 Tiere sind gross genug, dass sie mit den Reusen gefangen werden können. Um die bestehende Populationsgrösse aufrechtzuerhalten, reichen etwa 320 Weibchen. Betr. Grösse und Zustand der gefangenen Krebse siehe Kapitel 3.3.

Die Population hat wahrscheinlich eine Grösse erreicht, bei der sie wegen der knappen, im Schübelweiher verfügbaren Nahrung nicht mehr wesentlich wachsen kann. Ihre Zahl wird durch die grössten Männchen der Population kontrolliert. Die Krebse sind ziemlich gleichmässig über die Uferzone des Gewässers verteilt.

Die vielen Jungkrebse stellen ein grosses «Reservoir» an Nachwuchs dar, aus dem Verluste, z.B. durch Reusenfänge, in kurzer Zeit kompensiert werden können. Daher ist das Wachstum und die Produktion der Population mit Sicherheit nicht durch den verfügbaren Nachwuchs limitiert.

Zu jeder Jahreszeit befinden sich einige eiertragende Weibchen in ihren Wohnröhren. Sie stellen eine «Reserve» dar, durch welche sichergestellt ist, dass die Population auch sehr ungünstige Perioden (z.B. wenn das Gewässer austrocknet) überdauern kann. Die Entwicklungszeit vom Ei bis zum geschlechtsreifen Tier dauert wahrscheinlich ca. 1½ Jahre, während die mittlere Lebenserwartung ca. 3–4 Jahre betragen dürfte.

Die geringe Anzahl gefangener *Roter Sumpfkrebse* im Rumensee lässt vermuten, dass sich dort keine überlebendige Population dieser Krebsart befindet.

c) Bekämpfung des *Roten Sumpfkrebse* und anderer fremder Krebsarten (Frage e und h)

Die einzelnen Fangkampagnen im Sommer 1997 vermochten den Bestand an fangbaren, d.h. über 1jährigen *Roten Sumpfkrebse* im Schübelweiher jeweils für kurze Zeit zu reduzieren. Trotzdem ist es nicht gelungen, die Population insgesamt nachhaltig zu verringern, weil die Verluste (durch die Fangaktionen) jeweils in kurzer Zeit durch nachrückende Jungtiere ausgeglichen wurden. Dies ist daran erkennbar, dass das mittlere Gewicht der fangbaren Tiere am Ende der Kampagne (November) sich nicht von demjenigen am Anfang (Juni) unterschied.

Da im Schübelweiher ein sehr grosses «Reservoir» an jungen *Roten Sumpfkrebse* vorhanden ist, scheint eine Dezimierung der Population nur möglich, wenn die Bekämpfung beim Nachwuchs ansetzt. Andernfalls ist die Population in der Lage, sich jeweils in kurzer Zeit wieder von den Bekämpfungsmassnahmen zu erholen. Leider können kleine Krebse mit keiner bisher bekannten Methode in grösserer Anzahl gefangen werden.

Raubfische fressen v.a. die jungen Krebse. Daher scheint uns ein Raubfischbesatz im Schübelweiher eine geeignete Massnahme, um den Nachwuchs des *Roten Sumpfkrebse* zu bekämpfen. Die Befunde vom Rumensee sowie die Modellrechnungen sprechen ebenfalls dafür, dass sich mit einem Raubfischbesatz die Krebspopulation im Schübelweiher höchstwahrscheinlich effizient reduzieren liesse. Fangaktionen mittels Reusen, wie sie im Sommer 1997 durchgeführt wurden, können den Erfolg der Bekämpfung zusätzlich beschleunigen.

Durch eine starke Dezimierung der *P. clarkii*-Population kann deren Ausbreitungstendenz wesentlich reduziert werden. Eine vollständige Elimination des *Roten Sumpfkrebse* aus dem Schübelweiher ist aber mit diesen «sanften» Massnahmen nicht möglich.

Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass ein Raubfischbesatz Auswirkungen auf die im Gewässer vor-

handenen Amphibienbestände hat. Die EAWAG ist aber der Meinung, dass diese unter Berücksichtigung des gesamten Problemkomplexes verantwortbar sind.

Weil sich zu jeder Zeit einige Weibchen mit Eiern in Wohnröhren befindet, ist es mit einem einmaligen Gifteinsatz (z.B. Fenthion) allein kaum möglich, den *Roten Sumpfkrebs* im Schübelweiher vollständig auszurotten. Für eine vollständige Eliminierung müssten entweder wiederholte Gifteinsätze durchgeführt werden oder der Weiher müsste anschliessend trockengelegt und gekalkt oder ausgebagert werden.

Mit einem allfälligen Gifteinsatz könnte im späten Frühling die grösste Wirkung erzielt werden, weil sich dann die meisten Jungtiere im Wasser befinden. Es muss aber damit gerechnet werden, dass sich die Population ohne zusätzliche Massnahmen nach wenigen Jahren wieder erholte. Ein Gifteinsatz im Herbst dürfte dagegen weniger wirksam sein, weil sich dann viele eiertragende Weibchen im Untergrund aufhalten.

Die Umweltgefährdung durch den *Roten Sumpfkrebs* ist schwierig abzuschätzen. Obwohl sein Ausbreitungspotential offensichtlich hoch ist und er möglicherweise schon an recht vielen Orten der Schweiz und des benachbarten Auslandes mit wenigen Exemplaren vorkommt, kann er doch nur dann grosse Populationen aufbauen, wenn ihn die Umgebungsbedingungen begünstigen und wenn keine natürlichen Feinde (v.a. Raubfische) vorhanden sind. Andererseits stellt er als Träger der für die einheimischen Krebse tödlichen Krebspest eine akute und ernstzunehmende Bedrohung der einheimischen Arten dar.

d) Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Nicht nur der *Rote Sumpfkrebs*, sondern auch die anderen amerikanischen Krebsarten (*Signalkrebs* und *Kamberkrebse*) gefährden unsere einheimischen Krebse. Aus diesem Grund sollten geeignete Massnahmen zu deren Bekämpfung ergriffen werden. Die Variante «nichts unternehmen» erachten wir als verantwortungslos. Sie sollte nicht in Betracht gezogen werden.

Allfällig zu treffende Massnahmen sollten dem zur Diskussion stehenden Problem angepasst und in einem angemessenen Verhältnis zur ökologischen «Bedrohungslage» durch die fremde Art stehen.

Die EAWAG erachtet die Massnahmen, die nötig wären, um eine vollständige Entfernung des *Roten Sumpfkrebse* aus dem Schübelweiher sicherzustellen (mehrfacher Gifteinsatz oder einmaliger Gifteinsatz mit anschliessendem Trockenlegen des Weihers und Kalken oder Ausbagern), als unverhältnismässig. Dies insbesondere

auch deshalb, weil dasselbe Vorgehen konsequenterweise auch auf jedes andere Gewässer anzuwenden wäre, das von einer fremden Krebsart besiedelt ist.

Der unsichere Erfolg eines einmaligen Gifteinsatzes zur Bekämpfung des *Roten Sumpfkrebse*s im Schübelweiher lässt auch diese Massnahme als kaum empfehlenswert erscheinen.

Aufgrund des vorliegenden Wissens erachten wir eine Bekämpfung des *Roten Sumpfkrebse*s im Schübelweiher durch Raubfischbesatz und gezielte, das heisst noch intensivere Fangaktionen mit Reusen als das dem Problem angemessene Vorgehen.

Die EAWAG ist bereit, zukünftige Massnahmen zur Bekämpfung des *Roten Sumpfkrebse*s im Schübelweiher wie auch der anderen fremden Krebsarten (*Signalkrebs*, *Kamberkreb*s, *Galizierkreb*s) in weiteren Gewässern zu begleiten. Damit könnte sichergestellt werden, dass aus dem Verlauf der Massnahmen ein Maximum an Erkenntnissen über deren Wirkung und Eignung zur Bekämpfung fremder Krebsarten gewonnen würde. Derartige Erkenntnisse sind von gesamtschweizerischem Interesse. Sie werden mit Sicherheit in Zukunft an Bedeutung zunehmen, denn es ist mit hoher Wahrscheinlichkeit damit zu rechnen, dass sich die fremden Krebse weiter ausbreiten werden, wenn keine Gegenmassnahmen getroffen werden, und zudem weitere, exotische Arten ausgesetzt und verbreitet werden (Lindqvist & Huner, 1998).

Verdankungen

Wir möchten allen Personen danken, die in irgendeiner Form zum Entstehen dieses Berichtes beigetragen haben. Unser besonderer Dank gilt der Fischerei- und Jagdverwaltung des Kantons Zürich sowie den verantwortlichen Fischereiaufsehern, die uns die Beteiligung an den Fangaktionen ermöglicht haben. Dr. Silke Meyns, Bruno Ribl und Richard Illi danken wir für die Unterstützung bei den chemischen Analysen und Christine Boesch, Christa Jolidon und Nicole Frutiger für die Hilfe beim Vermessen der vielen Krebse.

Literatur

- Abrahamsson, S.A.A. 1966, Dynamics of an isolated population of the crayfish *Astacus astacus* Linné. *Oikos* 17: 96–107.
- Abrahamsson, S.A.A. 1971, Density, growth and reproduction in populations of *Astacus astacus* and *Pacifastacus leniusculus* in an isolated pond. *Oikos* 22: 273–380.
- Agricultural Center (LSU) 1996, Crawfish Production Manual, 36 pp.
- Akeret, B., Stössel, F., 1995, Vergleichende ökologische Untersuchungen an neun Weihern im Norden des Kantons Zürich. *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, 140(1): 3–17.
- Appelberg, M., Odelström, T., 1988, Interaction between European Perch (*Perca fluviatilis*) and juvenile *Pacifastacus leniusculus* (Dana) in a pond experiment. S. 37–45 in: Goeldlin de Tiefenau, P. (Ed.): *Freshwater crayfish VII*, Lausanne, Musée Zoologique Cantonal, 408 pp.
- Borner, S., Büsser, T., Eggen, R., Frutiger, A., Müller, R., Müller, S., Peter, A., Wasmer, H.R. 1997, *Procambarus clarkii* (Roter Sympfkrab) im Schübelweiher bei Küsnacht. Ökologische Situationsanalyse und Vorschläge zur Bekämpfung. EAWAG, 27 pp.
- Brown, D.J., Brewis, J.M. 1978, A critical look at trapping as a method of sampling a population of *Austropotamobius pallipes* in a mark and recapture study. *Freshwater Crayfish* 4, 159–164.
- Büttiker, B. 1980, Biologie und Verbreitung der Krebse in der Schweiz. S. 93–113 in: BUS, Schriftenreihe Fischerei 39, Fischereiliche Bewirtschaftung von Gewässern im Gebirge.
- Carpenter, J.H. 1965, The accuracy of the Winkler method for dissolved oxygen analysis. *Limnol. Oceanogr.* 10: 135–140.
- Downes, M.T. 1978, An improved hydrazine reduction method for the automated determination of low nitrate levels in freshwater. *Water Res.* 12: 673–675
- Ebina, L., Tsutsui, T., Shirai, T. 1983, Simultaneous determination of total nitrogen and total phosphorus in water using peroxodisulfate oxidation. *Water Res.* 17: 1721–1726.
- EDI, 1983, Richtlinien für die Untersuchung von Abwasser und Oberflächenwasser. 2. Teil: Oberflächenwasser.
- Holdich, D.M. 1988, The dangers of introducing alien animals with particular reference to crayfish. S. XV–XXX in: Goeldlin de Tiefenau, P. (Ed.): *Freshwater crayfish VII*, Lausanne, Musée Zoologique Cantonal, 408 pp.
- Holdich, D.M., Lavery, R.S., 1988, *Freshwater crayfish: biology, management and exploitation*. Croom Helm Ltd., London, 498 pp.
- Huner, J.V., Lindqvist, O.V. 1988, Response of a slow growing Noble Crayfish, *Astacus astacus* L., population from a pond in central Finland to several years of exploitation. S. 81–89 in: Goeldlin de Tiefenau, P. (Ed.): *Freshwater crayfish VII*, Lausanne, Musée Zoologique Cantonal, 408 pp.
- Huner, J.V., Barr, J.E. 1991, *Red Swamp Crayfish. Biology and exploitation* (3rd edition). Louisiana Sea Grant College Program, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana, USA.

- Huner, J.V., Lindqvist, O.V. 1995, Physiological Adaptations of Freshwater Crayfishes that Permit Successful Aquaculture Enterprises. *American Zoologist*, 35: 12–19.
- Hürlimann, J., Schanz, F. 1988, Charakterisierung zweier verbundener Weiher mit kleinem Einzugsgebiet aufgrund der Planktonbiozönosen und Nährstoffbelastung. *Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich* 133/4, 205–224.
- Jarboe, H.H., Romaire, R.P. 1995, Effects of Density Reduction and Supplemental Feeding on Stunted Crayfish *Procambarus clarkii* Populations in Earthen Ponds. *Journal of the World Aquaculture Society* 26(1): 29–37.
- Keel, H.P. 1994, Der Rumensee – Charakterisierung eines urbanen Kleingewässers unter dem Einfluss anthropogener Belastung. Diplomarbeit ETH/IGW, 47 pp.
- Krebs, C.J. 1989, *Ecological Methodology*. Harper & Row, Publishers, New York, 654 pp.
- Lindqvist, O.V., Huner, J.V. 1998, Life History Characteristics of Crayfishes – What Makes Some of Them Good Colonizers? Proc. of the international Workshop on «The introduction of alien species of crayfish in Europe. How to make the best of a bad situation?» Florence, Italy, September 24–27, 1997 (submitted).
- Momot, W.T. 1984, Crayfish production: a reflection of community energetics. *J. Crust. Biol.* 4: 35–54.
- Momot, W.T. 1991, Potential and exploitation of freshwater crayfishes in coolwater systems: management guidelines and issues. *Fisheries* 16(5): 14–21.
- Penn, G.H. Jr. 1943, A study of the life history of the Louisiana red crawfish, *Cambarus clarkii* Girard. *Ecology* 24: 1–18.
- Richards, C., Kutka, F.J., McDonald, M.E., Merrick, G.W., Devore, P.W. 1996, Life history and temperature effects on catch of northern orconectid crayfish. *Hydrobiologia* 319: 111–118.
- Sas, H. 1989, Lake restoration by reduction of nutrient loading. *Academia Verlag Richarz*, St. Augustin.
- Schwoerbel, J. 1974, *Einführung in die Limnologie*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 2. Auflage, 177 pp.
- Skurdal, J., Qvenild, T. 1986, Growth, maturity, and fecundity of *Astacus astacus* in Lake Steinsfjorden, S.E. Norway. S. 182–186 in: Brink, P. (Ed.): *Freshwater Crayfish*, VI, Lund, Sweden, 281 pp.
- Skurdal, J., Taugbøl, T., Fjeld, E., Qvenild, T. 1988, Chiliped loss in *Astacus astacus*. S. 165–170 in: Goeldlin de Tiefenau, P. (Ed.): *Freshwater crayfish VII*, Musée Zoologique Cantonal, Lausanne, Switzerland.
- Stöckli, A. 1985, Die Rolle der Bakterien bei der Regeneration von Nährstoffen aus Algenexkrementen und Autolyseprodukten. Diss. ETH 7850, 183 pp.
- Stuecheli, K. 1991, Trapping bias in sampling crayfish with baited funnel traps. *N. Am. J. Fish. Mgmt.* 11: 236–239.
- Suko, T. 1956, Studies of the development of the crayfish. IV The development of winter eggs. *Sci. Rept. Saitama Univ. (Japan) Ser. B.* 2: 213–219.
- Taylor, C.A., Warren, M.L. Jr., Fitzpatrick, J.F. Jr., Hobbs, H.H. III, Jezerinac, R.F., Pflieger, W.L., Robinson, H.W. 1996, Conservation status of crayfishes in the United States and Canada. *Fisheries* 21(4): 25–38.
- Vollenweider, R.A. 1968, Die wissenschaftlichen Grundlagen der Seen- und Fließgewässereutrophierung, unter besonderer Berücksichtigung des Phosphors und des Stickstoffs als Eutrophierungsfaktoren. OECD-Bericht DAS/CSI/68.27.
- Winkler, L.W. 1888 Die Bestimmung des im Wasser gelösten Sauerstoffes. *Ber.D. Chem. Ges.* 21: 2843–2854.

