

Wofür ziehe ich Zooplankton aus einem See?

Albert Keim

Vorspann

Wasserflöhe der Gattung *Daphnia* haben in stehenden Gewässern große Bedeutung für den ökologischen Zustand. Sie sind in der Lage, ein großes Aufkommen von einzelligen Grünalgen mitsamt den Bakterien im Freiwasser binnen kurzer Zeit klar zu filtrieren. Dabei sind sie wie die Algen vom Phosphor als Minimumfaktor für das Wachstum abhängig. Der Phosphor als begrenzender Wachstumsfaktor ist bei einem Tier ungewöhnlich, aber hier verständlich, weil die Frühjahrsblüte der einzelligen schwebenden Algen ein zeitlich begrenztes Substrat bietet. Es ist möglich, bei schneller Vermehrung kurzfristig davon zu leben. Das schnelle Wachstum bedingt aber einen hohen Stoffumsatz und entsprechende Enzymaktivitäten; für letztere ist Phosphor als Grundstoff nötig. Auf der anderen Seite stellen Wasserflöhe eine bevorzugte Beute für Fische dar, die ihre Beute im freien Wasser mit dem Auge suchen. Der große Wasserfloh wird vor dem kleinen Wasserfloh gesehen und zuerst gefressen. Bei Anwesenheit von planktonfressenden Fischen im Gewässer gibt es folglich einen Selektionsdruck hin zu kleinen Wasserflöhen. Unser Problem ist hierbei die Erfassung des Wasserflohbestandes bei der Beprobung des Gewässers zwecks Bewertung des Gütezustandes. Die fachliche Bewertung eines Wasserflohbestandes muss Bezug nehmen auf Nährstoffkonzentrationen einerseits und andererseits auf den Fischbestand einschließlich Fischbesatz, weil von beiden Seiten Kausalwirkungen auf die Wasserflöhe vorhanden sind.

Die Bewertung eines Wasserflohbestandes setzt voraus, dass eine Planktonprobe zur Bearbeitung zur Verfügung steht. Die Arbeitsmethodik zur Planktonbeprobung ist bis heute Gegenstand heftiger Kontroversen. Ein Ziel muss es sein, dem Auftraggeber verlässliche Unterlagen zu liefern, mit denen Handlungsempfehlungen erarbeitet werden können. Die zu erhebenden Daten müssen hinreichend genau sein, dass sich damit Regressionen, signifikant mindestens auf dem 1 %-Niveau, berechnen lassen. Das bedeutet, dass auf beiden Seiten, sowohl von der Nährstoffversorgung wie vom Fischbestand weiter die Methoden zur Beprobung und Probenbearbeitung verbessert werden müssen. Lehr- und Handbücher helfen nicht weiter.

In Lehrbüchern wird die Eutrophierung durch Zuflüsse und interne Düngung aus anaeroben Sedimenten abgehandelt. Inzwischen sind längst weitere Quellen für Nährstoffmobilisierungen in stehenden Gewässern bekannt, z. B. aus dem Uferbereich während der Sommermonate. Und der Einfluss des Fischbestandes auf Nährstoffkonzentrationen ist weithin ein großer weißer Fleck.

Wofür ziehe ich Zooplankton aus einem See?

Albert Keim

Inhalt

Vorspann	1
Inhaltsverzeichnis	2
Was ist das Plankton?	3
Der Wasserfloh und seine Stellung im See	3
Ketten von Ursachen und Wirkungen	4
Planktonfang und –bearbeitung wozu?	5
Netzfänge und ihre Bewertung	5
Planktonfang mit Schöpfern	11
Pumpfänge und ihre Bewertung	11
Weitere Probleme als Aufgabe	14
Was ist Genauigkeit und Wiederholbarkeit?	16
Warum Systemanalyse?	18
Literaturverzeichnis	19

Was ist das Plankton?

Das Wort $\pi\lambda\alpha\gamma\kappa\acute{\omicron}\varsigma$ ist ein Wort im Altgriechischen und bedeutet Herumwandern oder Schlendern, gebraucht für ein Schiff in der Dichtung und hat den Status eines Eigenschaftswortes (Hutchinson 1974). Plankton ist als Hauptwort davon abgeleitet und wird heutzutage von aquatischen Ökologen benutzt in der Bedeutung von schwebend oder treibend und umfasst die Gesamtheit der frei im Wasser schwebenden Lebewesen. Ihre Eigenbewegungen beschränken sich im Wesentlichen auf das senkrechte Auf- und Absteigen im Wasser (Hentschel & Wagner 1990). Damit werden Lebewesen im freien Wasser bezeichnet, die nicht gegen Strömungen schwimmen können. Es gibt tierisches Plankton (Zooplankton), pflanzliches Plankton (Phytoplankton), bakterielles Plankton (Bakterioplankton) und planktische Pilze (Mykoplankton). Das Ichthyoplankton umfasst pelagische Fischeier und Fischlarven. Das Freiwasser wird als Pelagial oder pelagischer Lebensraum bezeichnet. Im Gegensatz dazu lebt das Benthos am Rand und am Boden des Gewässers. Lebewesen, deren Eigenbewegung ausreicht, um gegen Strömungen zu schwimmen, werden als Nekton bezeichnet, z. B. Fische (Sommer 1994).

Der Wasserfloh und seine Stellung im See

In stehenden Binnengewässern sind Wasserflöhe aus der Gattung *Daphnia* ein wichtiger Bestandteil des Zooplanktons. Sie gehören zu den Krebstieren und filtrieren mit umgewandelten Beinen kleine einzellige Algen und Bakterien aus dem Wasser (Sommer et al. 2003). Dabei bevorzugen sie Partikel zwischen 1-30 μ Durchmesser und selektieren so auf Algen mit mehr als 30 μ Durchmesser (Hulot et al. 2000). Das μ ist der Buchstabe mü im griechischen Alphabet, bezeichnet einen tausendstel Millimeter und wird als Mikron gesprochen. Die Filtrationsleistung von Wasserflöhen ist je nach ihrer Körpergröße verschieden (Jarvis et al. 1988, Knoechel and Holtby 1986, Peters and Downing 1984). Bestände der großen Arten wie *Daphnia magna*, *Daphnia pulex* und *Daphnia galeata* können durch ihre Filterleistung das Wasser in einem eutrophen See von der Frühjahrsblüte der einzelligen Grünalgen klären, bis im See eine Sichttiefe von 8 m erreicht ist. Der erreichte Zustand wird als Klarwasserstadium bezeichnet. Das setzt voraus, dass im Gewässer Raubfische in ausreichender Zahl vorhanden sind. Die Wasserflöhe erfahren die Möglichkeit eines natürlichen Endes und die Sterblichkeit durch Gefressenwerden ist gering.

Fehlen Raubfische in ausreichender Zahl und es besteht ein Szenarium mit planktonfressenden Fische, sind die Wasserflöhe deren bevorzugte Beute. Die Fische wählen ihre Beute im Freiwasser mit den Augen nach der Größe aus. Größere Wasserflöhe werden vor den kleinen gesehen, daher zuerst gefressen und so gibt es einen Selektionsdruck hin zu kleinen Wasserflöhen (Brooks und Dodson 1965). Die Filterleistung kleiner Wasserflöhe ist geringer, das Klarwasserstadium bleibt aus und es gibt einen Wechsel der Wasserfloharten von *Daphnia galeata* zu *Daphnia cucullata*.

Ketten von Ursachen und Wirkungen

Die Wechselwirkungen zwischen Raubfischen, planktonfressenden Fischen und den Wasserflöhen sind nicht beschränkt auf die Biologie, sondern haben weiterreichende Wirkungen.

Bei einer Dominanz von Raubfischen im See nimmt während der sommerlichen Stagnationsperiode der Phosphorgehalt im Oberflächenwasser soweit ab (Wright & Shapiro 1984, Mazumder et al. 1989, Guy et al. 1994, Larocque et al. 1996, Hudson et al. 2001), dass er unter die Nachweisgrenze von $5 \mu\text{g l}^{-1}$ sinkt, während bei einer Dominanz von planktonfressenden Fischen der Phosphorgehalt im Oberflächenwasser gleich bleibt oder sogar zunimmt (Wright & Shapiro 1984, Lazzaro et al. 1992 und Mazumder & Lean 1994). Carpenter et al. (1992) schrieben, dass die trophische Kaskade von Raubfischen über kleine Fische hin zu den Wasserflöhen im Zusammenhang mit dem Nährstoffumsatz im Gewässer steht. Das ist nicht von der Hand zu weisen, denn sie fanden, dass im Szenarium mit planktonfressenden Fischen der Phosphor sich im Seston, also in der partikulären Fraktion anreichert, während im Szenarium mit Raubfischen die partikuläre Fraktion kleiner bleibt.

Mazumder und Lean (1994) fanden eine unterschiedliche Verteilung von gelösten und partikulären Fraktionen in Abhängigkeit vom Fischbesatz. Vanni et al. (1997) stützen mit ihren Ergebnissen die Hypothese, dass Fische einen großen Einfluss auf Umsatz, Verteilung und Verhältniszahlen von wachstumsbegrenzenden Nährstoffen ausüben können.

Diese Befunde werden verständlich angesichts der Aufnahmefähigkeit von gelösten Nährstoffen durch Bakterien mittels der großen Oberfläche verglichen mit ihrem Zellvolumen. Im Szenarium mit planktonfressenden Fischen besteht eine mikrobielle Schleife aus vielen Bakterien, wogegen im Szenarium mit Raubfischen die Wasserflöhe Bakterien mit filtern und

damit die mikrobielle Schleife verkleinert ist. Somit bleiben im letzteren die gelösten Nährstoffe länger im Wasser bevor sie von Lebewesen wieder aufgenommen werden. Es liegt nahe, solche Befunde auch bei der Erfassung des Istzustandes von Seen zu nutzen.

Planktonfang und Planktonbearbeitung wozu?

Seit Beginn der wissenschaftlichen Planktonbearbeitung werden unterschiedliche technische Möglichkeiten genutzt, um Plankton zu fangen und immer wieder geändert auf den jeweilig neuesten Stand der Technik. Auf der einen Seite steht die Freude an der Vielfalt und Schönheit der lebendigen Natur. Diese findet ihren Ausdruck in Bestandsaufnahmen als Inventarisierung von Lebensräumen und der Untersuchung von Lebenszyklen einzelner Organismen. Auf der anderen Seite steht die Bearbeitung unter angewandten Gesichtspunkten. Hier sind zuerst die Bearbeiter des Ichthyoplanktons zu nennen. Wenn die Dichte pelagischer Fischeier als Zahl der Eier pro Flächeneinheit bekannt ist, kann das genutzt werden, um daraus den Bestand der Elterntiere zu schätzen. Das Interesse von Seiten der nationalen Fischereiverwaltungen, das Plankton der Meere zu untersuchen, gab starke Anregungen zu technischen Anwendungen, um Fischeier im freien Wasser quantitativ zu erfassen. Ein weiterer angewandter Bereich ist die Systemanalyse als Bearbeitung von Ökosystemen hinsichtlich der Kausalbeziehungen und hier besonders die Eingriffsmöglichkeiten durch Menschen. Eine Systemanalyse kann aus der reinen beschreibenden Bearbeitung oder aus der angewandten Fragestellung entstehen und bedingt eine fächerübergreifende Sichtweise sowie entsprechende Bearbeitung.

Netzfänge und ihre Bewertung

Die Bewertung einer Fangmethode bzw. eines Fanggerätes muss sich zuerst auf die technischen Voraussetzungen richten.

McGowan & Fraundorf (1966) verglichen Netze mit gleicher Maschenweite aber verschieden großer Netzöffnung und fanden, dass in den kleineren Netzen sowohl die Artenzahl wie die Dichte der bestimmten Arten und die Diversität geringer war. Diese Ergebnisse können als Netzmeidung interpretiert werden.

Netze mit unterschiedlichen Maschenweiten wurden von Tseng et al. (2011) für den Fang von Ruderfußkrebsen geprüft. Sie fanden eine hohe Selektion durch die Maschengrößen,

welche die qualitative und quantitative Zusammensetzung der Proben beeinflussten. Die Autoren sehen das Problem, dass wegen der unterschiedlichen Maschenweiten Untersuchungsergebnisse schwierig zu vergleichen sind. Wohl kann der Anteil von nicht gefangenen kleinen Zooplanktern, die durch die Netzmaschen gepresst werden, geschätzt werden, aber die Genauigkeit solcher Rechnungen ist in Frage gestellt.

Tranter (1967) teilte eine Formel mit zur Berechnung der Filterwirksamkeit von Planktonnetzen unter Berücksichtigung der Durchflussgeschwindigkeit des Wassers, der freien Fläche im Netzgewebe ausgedrückt als Porosität und der Zähflüssigkeit des durchfließenden Wassers. Zusätzlich muss ein Netzfaktor bestimmt werden wegen der Gestaltung der Netzöffnung und dem Winkel, den das Netzgewebe im konischen Teil dem durchströmenden Wasser bietet. Leider sind in dieser Publikation nur theoretische Überlegungen enthalten. Für die Probenahme ist die Praxis entscheidend.

Tranter & Heron (1967) unternahmen ausführliche Versuche mit Netzkonstruktionen:

Beim herkömmlichen Netz sind die drei Halteleinen schräg über die Netzöffnung gespannt und verbinden über einen Ring die Zugleine mit dem Netz. Der Ring, welcher die drei Halteleinen mit der Zugleine verbindet, bewirkt Turbulenzen und erzeugt einen eng umgrenzten Bereich mit vermindertem Durchfluss in der Netzöffnung. Wird ein Durchflussmesser in die Mitte der Netzöffnung eingehängt, erfasst er deshalb nur einen Teil des Wasservolumens, der vom Netz filtriert wird. Außerdem prüften Tranter & Heron (1967) verschiedene Netzlängen und Netzformen im Labor und im offenen Meer mit einer Zwillingskonstruktion, dem Bongo. Die Konstruktion des Bongo besteht aus einem Rahmen für zwei Netze. Die Zugleine wird in der Mitte zwischen beiden Netzöffnungen befestigt. Die Netzöffnungen bleiben frei von den störenden Halteleinen. Ergebnis dieser Versuche war, dass die Filterwirksamkeit schnell abnimmt, wenn die Netzlänge weniger als das Doppelte des Öffnungsdurchmessers beträgt. Das Verstopfen der Netzmaschen kann vermindert werden durch das Anbringen eines zylindrischen Netzteils im vorderen Teil. Dieser reinigt sich durch ständige Schwingungen von verstopfenden Teilen. Außerdem stellten Tranter & Heron (1967) fest, dass im Laborversuch die gewünschte Filterwirksamkeit erreicht wird, aber beim Netzzug im Meer die Filterwirksamkeit durch das Verstopfen der Netzmaschen vermindert wird.

Evans and Sell (1985) verglichen Netze mit unterschiedlichen Maschenweiten. Sie erwähnen ausdrücklich die Schwierigkeit, den Durchflussmesser an der „richtigen“ Stelle in der Netzöffnung aufzuhängen und berechnen für das Netz mit 156 μ Maschenweite bei einem Filtrationsflächenverhältnis von 3,06 eine Filterwirksamkeit von 98 %, während das Netz mit 76 μ Maschenweite ein Filtrationsflächenverhältnis von 1,86 aufwies und die Filterwirksamkeit zwischen 64,7 % bis 79,6 % schwankte.

Smith et al. (1968) stellten weitere Versuche an zum Verstopfen der Netzmaschen, der Netzform und der Netzlänge. Ihre Ergebnisse zeigten, dass die wichtigsten Konstruktionsmerkmale bezüglich der Filterwirksamkeit die Maschenweite und die Filterfläche betreffen.

Tabelle 1 als Auszug aus Smith et al. (1968):

Beschreibung der Netze, die wegen der Verstopfung der Netzmaschen geprüft wurden.

Nr	Netz-material	Netz-form	MW	Porosity	Filter-fläche	R = ratio	Gesamt-länge
			(μ)		(m^2)		(m)
1	Nylon	kon	333	0,46	2,50	3,2	3,1
2	Nylon	kon	333	0,46	3,75	4,8	4,7
3	Nylon	zyl-kon	333	0,46	2,50	3,2	2,5
4	Nylon	zyl-kon	333	0,46	3,75	4,8	3,8
5	Nylon	zyl-kon	333	0,46	5,00	6,4	5,1
6	Nylon	zyl-kon	571	0,49	3,75	4,8	3,6
7	Seide	zyl-kon	550	0,36	2,50	3,2	3,3
8	Seide	zyl-kon	550	0,36	3,75	4,8	4,9
9	Seide	zyl-kon	450	0,34	3,75	4,8	5,2
10	Nylon	zyl	333	0,46	1,25	1,6	1,4
11	Nylon	zyl	333	0,46	2,50	3,2	2,2
12	Nylon	zyl	333	0,46	3,75	4,8	3,1
13	Nylon	zyl	333	0,46	5,00	6,4	4,0
14	Nylon	zyl	201	0,43	5,00	6,4	4,2
15	Nylon	zyl	101	0,36	5,00	6,4	4,9
16	Seide	zyl	550	0,36	5,00	6,4	4,9

Tabelle 2: Erklärungen zur Tabelle 1 und 3

R = ratio	das Verhältnis von Filterfläche zur Fläche der Netzöffnung
kon	konische Netzform
zyl	zylindrische Netzform
zyl-kon oder z-k	zylindrisch-konische Netzform
MW	Maschenweite

Tabelle 3 als Auszug aus Smith et al. (1968): Vergleich dreier Beprobungstellen mit unterschiedlichem trophischem Zustand. Volumen und Zeit wurden gemessen bis die Wirksamkeit unter 85 % fiel. Die Secchitiefe als Maß für die Planktondichte berechnet als Median betrug an San Pedro I 4,5 m, an San Pedro II 6,25 und an Catalina 24 m.

Nr	R	MW	Netzform	Anfangswirksamkeit	Catalina Volumen	Catalina Zeit	San Pedro II Volumen	San Pedro II Zeit	San Pedro I Volumen	San Pedro I Zeit
		(μ)		(%)	(m ³)	(min)	(m ³)	(min)	(m ³)	(min)
1	3,2	333	kon	92	112	2	-	-	47	2
2	4,8	333	kon	91	542	10	-	-	88	2
3	3,2	333	z-k	91	390	7	-	-	49	2
4	4,8	333	z-k	89	1172	25	557	10	123	3
5	6,4	333	z-k	92	2564	50	-	-	300	6
6	4,8	571	z-k	94	3270	60	1137	20	71	2
7	3,2	550	z-k	87	3210	60	786	16	194	4
8	4,8	550	z-k	93	3316	60	1461	30	320	7
9	4,8	450	z-k	94	3069	60	961	18	328	5
10	1,6	333	zyl	71	61	2	-	-	-	-
11	3,2	333	zyl	85	-	-	-	-	51	2
12	4,8	333	zyl	92	2048	45	-	-	103	3
13	6,4	333	zyl	93	30330	60	1194	20	383	9
14	6,4	201	zyl	92	1554	28	654	12	-	-
15	6,4	101	zyl	92	1073	19	95	2	-	-
16	6,4	550	zyl	94	-	-	3294	60	-	-

Durchflussmesser, die jeweils in die Netzöffnung und außerhalb davon angebracht werden, erlauben die Prüfung, ob ein Verstopfen der Netzmaschen während des Netzzuges erfolgt. Das Verhältnis der Umdrehungen von internem zu externem Durchflussmesser ist eine Maßzahl für die Verminderung der Fließgeschwindigkeit durch die Netzöffnung. Das Verhältnis der beiden Fließgeschwindigkeiten wird Filterwirksamkeit genannt. Die anfängliche Filterwirksamkeit soll 85 % betragen, kann unter günstigen Bedingungen 94 % erreichen. Die Filterwirksamkeit ist natürlich abhängig von der Planktondichte im untersuchten Gewässer (Smith et al. 1968).

Volumen und Zeit sind aufgelistet bevor die Wirksamkeit unter 85 % fiel. Die Unterschiede zwischen den Beprobungsstellen Catalina und San Pedro I und II ist deutlich, ebenso der Einfluss von Maschenweite und vom Verhältnis der Filterfläche zur Fläche der Netzöffnung.

Für den erfolgreichen Netzzug geben Smith et al. (1968) ein Beispiel anhand des Sammeln von Eiern der nördlichen Sardelle (*Engraulis mordax*). Bei einer durchschnittlichen Breite der runden Eier von 0,65 mm muss die Maschenweite wesentlich geringer sein, damit die Eier nicht durch die Maschen gedrückt werden. Deshalb wurde eine Maschenweite von 0,333 mm gewählt; deren Diagonale von 0,47 mm hält die Sardelleneier zurück. Bei einem Durchmesser der Netzöffnung von 0,5 m (0,2 m² Fläche Netzöffnung) ist es möglich, eine Probe mit ausreichender Zahl von Eiern aus 125 m³ Wasser zu filtern. Das gebaute Netz hatte 7,8 mal mehr filternde Netzfläche als Netzöffnungsfläche.

Brander et al. (1993) stellten an Versuchskanälen Untersuchungen an zur Ermittlung des filtrierte Wasservolumens und der Wirkung der Maschenverstopfung. Sie benutzten elektronische Durchflussmesser und montierten einen Durchflussmesser in die Netzöffnung sowie einen weiteren in eine Röhre mit gleichem Durchmesser aber ohne Netz. Ein dritter Durchflussmesser wurde im Testkanal an einer Stange befestigt, um die Strömungsgeschwindigkeit im Testkanal zu messen. Sie fanden, dass in der Netzöffnung je nach Entfernung von der Mitte unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten vorhanden sind, auch bei freier Netzöffnung.

Heute wird der Bongo standardmäßig zum Fang von Fischeiern und Fischlarven aus dem Meer benutzt (Smith und Richardson 1977).

Das Doppelnetz, welches Bürgi (1983) in der Schweiz für die Beprobungen auf Seen konstruierte, besteht ebenfalls aus einem Rahmen mit zwei Netzen, die seitlich von der Haltevorrichtung für die Zugleine angeordnet sind. Die Zugleine ist in der Mitte des Rahmens und außerhalb der Netzöffnungen, die damit frei von störenden Geräuschen durch Halteleinen bleibt. Die beiden Netze haben einen kurzen zylindrischen Teil hinter der Netzöffnung und einen langen konischen Teil im hinteren Netzbereich. Auf dem Rahmen ist eine Kippvorrichtung angebracht; durch eine Rüttelbewegung der Zugleine wird der Rahmen unter Wasser gekippt und die beiden Netze geschlossen. Auf diese Weise können Stufenfänge aus definierten Tiefen erfolgen. Die Netzkonstruktion Bürgi's ist also eine veränderte Form des Bongos für die Anwendung als Schließnetz an tiefen Binnengewässern. Nachteilig in flachen Seen ist die Länge dieses Fanggerätes, weshalb seine Verwendung auf tiefe Seen beschränkt ist.

Für tiefe Seen ist es bisher die beste Netzkonstruktion. Denn der lange Netzbeutel bedingt ein hohes Verhältnis von filtrierender Netzfläche zur Netzöffnung. Damit wird das Verstopfen der Netzmaschen vermindert und die Wirksamkeit des Filtrationsvorganges erhöht.

Stehle et al. (2007) verglichen den Longhurst-Hardy Plankton Recorder (LHPR) und ein Bongonetz und fanden große Unterschiede in der Zahl einiger Zooplanktonarten. Beide Netze unterschieden sich in der Form des Anfangsteils, in der Zuggeschwindigkeit, in der Maschenweite und im Durchmesser der Netzöffnung. Die Ergebnisse zeigen an, dass das Netzvermeidungsverhalten artspezifisch ist, weshalb bei solchen Untersuchungen jeweils nur ein Konstruktionsmerkmal verschieden sein darf, um Vergleiche hinsichtlich der Fängigkeit anzustellen.

Planktonfang mit Schöpfern

Die Arbeit mit Schöpfgeräten erlaubt die Berechnung der Fänge von einem definierten Wasservolumen, hat aber den Nachteil, dass bei einem Volumen von zehn Litern und mehr die Geräte unhandlich werden, und es wird schwierig, sie auf einem kleinen Boot zu benutzen.

Ich habe selbst in den frühen neunziger Jahren einen Schöpfer mit Ventilkappen aus Eigenbau benutzt, der ein Fassungsvermögen von 20 l hatte. Der Vergleich mit Planktonproben aus Pumpfängen am Buchtzigsee ergab eindeutige Unterschiede. Die Bewegungen der Ventile verursachen Turbulenzen. Seuront et al. (2004) zeigten, dass einige Zooplankter auf Turbulenzen mit Flucht reagieren.

De Bernardi (1984) bespricht in seinem Beitrag einige dieser Schöpfgeräte vergleichend. Für flache Seen ist die Planktonfalle die beste Lösung von den durch die LUBW geprüften Geräten (Stich et al. 2010), allerdings mit dem Nachteil, dass sie etwas unhandlich ist durch ihre Größe und im gefüllten Zustand durch ihr Gewicht. Zudem halten sich in flachen Seen die Wasserflöhe tagsüber zwischen den Wasserpflanzen als Zufluchtsort vor den Fischen auf. Ein Ausweg wäre die Probenahme während der frühen Nachtstunden, wenn die Zooplankter sich in den oberen freien Wasserschichten aufhalten. Nachteilig ist weiterhin das geringe Volumen geschöpften Wassers, das filtriert werden kann.

Pumpfänge und ihre Bewertung

Lese ich die Literatur zum Planktonfang mit Pumpen, wird öfter auf Hensen (1895) verwiesen, der Ende des 19. Jahrhundert bereits Versuche mit einer Pumpe getätigt hat. Seitdem sind immer wieder von verschiedenen Autoren solche Versuche erfolgt.

Tabelle 4 gibt einen kurzen unvollständigen Überblick über die dabei angewandten Geräte.

*Erstautor	Jahr	Pumpentyp	Antrieb	Pumpenleistung	Gewicht	Rohr- oder Schlauchöffnung Innen Ø
				(l s ⁻¹)	(kg)	(cm)
Chick	2010	Membran-	?	?	?	?
Riccardi	2010	?	Benzin	?	?	?
Nayar	2002	Membran-	Batterie	0,24	2,5	?
Keim	1997	Kreisel-	Benzin	1,5	6	4,5
Møhlenberg	1987	Kreisel-	elektrisch	7	20-60 ?	?
Solemdal	1984 (1977)	Kreisel-	hydraulisch	167	50	20
Solemdal	1984 (1980)	Kreisel-	elektrisch	50	90	15
Solemdal	1984 (1983)	Propeller-	elektrisch	1000 ?	460	100 ?
Taggart	1984	Kreisel-	Benzin	13,3	300	7,62
Elster	1958	Flügel-	Hand	?	?	2,5-4

Ich erinnere nur an die Veröffentlichungen von Elster in den fünfziger Jahren (Elster 1952 und Elster 1958) in denen Fragen nach dem Vergleich der Methodik besprochen und die weitere Bearbeitung gewünscht wurde. In den fünfziger Jahren standen für Elster`s Pumpversuche handbetriebene Flügelpumpen auf dem Boot zur Verfügung mit dem Nachteil, dass beim Pumpen Druckunterschiede auftraten, welche zu einem Vermeidungsverhalten der Zooplankter führen. Durch das Vorschalten eines Trichters vor die Einsaugöffnung konnte dem teilweise begegnet werden (Elster 1952). Bei weiteren Versuchen konnte

Elster (1958) zeigen, dass mit einem Schlauchdurchmesser zwischen 2,5 – 4 cm Weite der Prozentsatz der entkommenden Ruderfußkrebse praktisch bedeutungslos wird und das Vorschalten eines Trichters am Schlauchende sich erübrigt. Leider folgten auf diese Vorarbeiten Elster`s für lange Zeit keine weitere Bearbeitung der Pumpmethode in Deutschland. Außerhalb von Deutschland wurden weiter Pumpen zum Zooplanktonfang vergleichend bearbeitet.

Taggart & Leggett (1984) zählen die Nachteile von Pumpensystemen bei der Beprobung von Ichthyoplankton auf:

- 1) Die Organismen, welche gesammelt werden, können beschädigt oder zerstört werden,
- 2) Die beprobten Volumina pro Zeiteinheit sind zu klein,
- 3) Pumpensysteme, die für ein ausreichendes Filtervolumen ausgelegt sind, sind umständlich zu handhaben, besonders auf kleinen Booten.

Ähnliche Bedenken äußert Møhlenberg (1987) und stellt dagegen die zuverlässige Messung des gefilterten Wasservolumens ungeachtet des Verstopfens der Netzmaschen, der Strömungsgeschwindigkeit, der Schiffsgeschwindigkeit, der Beprobungstiefe oder der Zuggeschwindigkeit.

Die Versuche von Solemdal & Ellertsen (1984) sowie Taggart & Leggett (1984) zeigten, dass für Zwecke der Ichthyoplanktonbearbeitung die vorhandenen Pumpensysteme nicht ausreichen, um die erforderlichen Wassermengen von mehr als hundert Kubikmetern für eine Probe zu filtrieren. Meeresbiologen blieben daher beim Bongorahmen und den Zwillingsnetzen als Fanggerät für Ichthyoplankton.

Im Binnenland und Küstenbereich stellt sich die Situation anders dar, besonders wenn kleine Planktonorganismen wie Ruderfußkrebse oder Rädertiere erfasst werden sollen. Netze mit der Maschenweite von 60 μ , welche solche Tiere filtern, haben einen hohen Widerstand gegen durchfließendes Wasser und vermindern die Filterwirksamkeit eines Netzes wesentlich. Einige Autoren verglichen die Ergebnisse von Netzfängen mit denen von Pumpfängen, z. B. Møhlenberg (1987) und Nayar et al. (2002). Während Nayar et al. (2002) beide Methoden als vergleichbar ansehen, fand Møhlenberg (1987) große Unterschiede zwischen Netzfängen mit 100 μ Maschenweiten und Pumpfängen. Beschädigungen der

gefangenen Organismen waren auf die Appendicularia beschränkt. Letztere sind Organismen aus der Gruppe der Chordatiere, die ausschließlich im Meer vorkommen.

Riccardi (2010) benutzte in der flachen Lagune von Venedig eine Pumpe, um das kleine Krebsplankton, besonders die Ruderfußkrebse, zu fangen und filterte 1200 Liter Wasser durch ein Netz mit 80 μ Maschenweite. Im Vergleich zu den Ergebnissen anderer Autoren in der Lagune von Venedig hatte sie mehr Arten und wesentlich mehr Biomasse in ihren Proben. Chick et al. (2010) verzichteten beim Fang von Rädertieren im Fluss ebenfalls auf den Netzzug und pumpten stattdessen Wasser durch ein Netz mit 20 μ Maschenweite.

Josef Hönig griff im Jahr 1993 den Pumpenfang auf Zooplankton auf und ließ ein Video darüber drehen. Er verwendete eine im Baufachhandel erhältliche Gartenpumpe mit Zweitaktmotor. Zunächst ging es nur darum, Zooplankton in großen Mengen zu fangen, um mit Hilfe einer Feinwaage das Nassgewicht (=Frischmasse) zu bestimmen und damit eine Vorstellung über das Nährtieraufkommen für die Fischbestände in Baggerseen zu gewinnen.

Bei diesen Feldversuchen zur Nährtierermittlung habe ich mitgearbeitet und lernte das System kennen. Die Ergebnisse wurden drei Jahre später in der Jubiläumsschrift der IG Bruhrain gedruckt, welche inzwischen vergriffen ist (Keim et al. 1997).

Unter dem Eindruck dieser Arbeitsweise habe ich mir im Jahre 1994 selbst ein solches Probenahmesystem nach Hönig'scher Konstruktion mit Pumpe zusammengestellt. Die wesentlichen Unterschiede zu früheren Pumpversuchen anderer Autoren sind die Verwendung der Motorpumpe auf dem Boot und von zusammensteckbaren Rohren anstelle eines Schlauches. Die Rohre sind zusammengesteckt genau 1 m lang. Das System ist also ideal für die Profilerstellung im Meterabstand bei der limnologischen Beprobung eines stehenden Gewässers. Während des Pumpvorganges wird das geförderte Wasser auf Temperatur, Sauerstoffgehalt, pH-Wert und Leitfähigkeit gemessen, die Wasserproben für Nährstoffmessungen im Labor abgefüllt und dann jeweils pro Tiefenmeter fünf Minuten lang das geförderte Wasser durch ein Planktonnetz filtriert. Dieses Verfahren vermeidet jede Besorgnis um störende Elemente an der Netzöffnung und mögliches Verstopfen der Netzmaschen. Dazu kann das filtrierte Wasservolumen genau gemessen werden und es hat seine Bewährungsprobe am Buchtzigsee (12 m tief), am Neureuthsee (40 m tief) und am flachen Wilhelmswörthweiher (3 m tief) bestanden. Angenommen, das Oberflächenwasser,

also das Freiwasser oberhalb der Sprungschicht befindet sich als Schicht zwischen 0-4 m Tiefe, so wird vier Mal fünf Minuten lang gepumpt und bei einer Pumpleistung von 1 l s^{-1} werden mehr als 1000 l Wasser filtriert. Auch bei nährstoffarmen Zuständen in Seen unserer Region im Landkreis Karlsruhe reicht ein solches Volumen aus, um aus der Probe mehr als hundert Wasserflöhe zu zählen und zu messen. Die Dimension des Arbeitsgerätes kann wesentlich kleiner gehalten werden als beim Fang von Ichthyoplankton auf dem Meer.

Während dieser Erprobungszeit konnte ich weitere Verbesserungen verwirklichen. Die Pumpe mit Zweitaktermotor wurde durch eine Pumpe mit Viertaktermotor ersetzt. Von 1996 an wurde die Pumpenleistung genau protokolliert. Zu diesem Zweck wurde in regelmäßigen Abständen, also bei jedem neuen Tiefenmeter, mit der Stoppuhr die Zeit gemessen, welche zum Füllen eines Eimers mit 10 bzw. 20 l Inhalt benötigt wurde. Diese Messungen wurden in Sekundenliter umgerechnet. Damit ist die genaue Berechnung des gefilterten Wasservolumens möglich.

Es zeigte sich, dass nach mehr als einer Stunde Betriebszeit die Pumpenleistung sich leicht veränderte. Deshalb ist für jeden Tiefenmeter die Pumpenleistung mit Eimer und Stoppuhr neu zu messen. Aus diesen Messungen und dem Zeitaufwand von 5 min pro Tiefenmeter wurde das Volumen des geförderten und filtrierten Wassers berechnet. Dieses Pumpen-Rohrsystem hat sich auf einigen Fischerbooten im Landkreis Karlsruhe bewährt.

Weitere Probleme als Aufgabe

Einen methodisch verbesserten Vergleich von erzielten Ergebnissen wollen wir alle. Ich stimme gerne zu, dass die resultierende Methode keine „Universal-methode Zooplankton“ sein kann (Stich et al. 2010), sondern weiterhin entsprechend modifizierte und angepasste Methoden notwendig sind.

Die Ergebnisse vom Wilhelmswörthweiher zeigen, dass die Karpfen teilweise zusammen mit den Zooplanktern Sandkörner mit aufgenommen hatten. Es kann vermutet werden, dass die Zooplankter hier dicht über dem Gewässerboden sich befanden, als sie durch den Fisch aufgenommen worden waren. Außerdem sind für flache Gewässer tagesperiodische Wanderungen des Zooplanktons in horizontaler Richtung bekannt; Wasserflöhe finden vor den planktonfressenden Fischen so tagsüber Zuflucht zwischen Pflanzen (Burks et al. 2001). Unter solchen Umständen mit Wasserflöhen dicht über Grund oder zwischen dichtstehen-

den Unterwasserpflanzen bereitet es große arbeitstechnische Schwierigkeiten, solche Bestände in der erforderlichen Weise erfassen zu wollen.

Deshalb sind für flache Seen vergleichende Untersuchungen zur Tag- und Nachtzeit angebracht. In der Nachtzeit deshalb, weil im flachen Gewässer die Wasserflöhe tageszeitlich bedingt Horizontalwanderungen durchführen, um tagsüber vor dem Fraßdruck durch die Fische sich in einem Fluchtraum aufzuhalten und nachts im freien Wasser Phyto- und Bakterioplankton zu filtrieren zwecks Nahrungsaufnahme. Eine Beprobung während des Tageslichtes mit dem Ziel einer fast hundertprozentigen Erfassung des Zooplanktonbestandes würde erhöhte Anforderungen an die technische Ausrüstung stellen. Es wäre einfacher, in den frühen Nachtstunden im Freiwasser zu beproben, wenn die Wasserflöhe sich dort aufhalten.

Es wäre auch gut bei vergleichenden Untersuchungen besonders an flachen Seen, ein Pumpensystem zu erproben, um das Problem der wolkenartigen Verteilung des Zooplanktons zu kompensieren. Beim Pumpen mit 1 l s^{-1} wird nach mehr als drei Minuten die Schichtung des Wassers durchbrochen, weshalb das Boot während des Pumpvorganges bewegt werden muss. Diese Bewegung kann eine mögliche wolkenartige Verteilung des Zooplanktons kompensieren. Ist ein See in mehrere Becken gegliedert, muss jedes dieser Seebecken getrennt für sich beprobt werden. In jedem Seebecken kann sich das Plankton verschieden entwickeln.

Gerade für die Probenahme auf dem flachen See gibt es weiterhin einen erheblichen Untersuchungsbedarf, der eine weitere Abklärung benötigt.

Für eine Bewertung des Gewässerzustandes mit Hilfe des Zooplanktons müssen quantitative Unterlagen vorliegen. Hier ist noch ein großes Feld offen zur Bearbeitung, damit „Bottom-up“ und „Top-down“ Wirkungen erfasst werden können. Die „Bottom-up“-Wirkung betrifft die Begrenzung des Wachstums durch die Nährstoffkonzentrationen, während die „Top-down“-Wirkung den Einfluss durch Beutefänger und Weidegänger beinhaltet.

Freilich bedingt dies, dass der Hauptfehler beim Netzzug, das Verstopfen der Netzmaschen und die damit verbundene schwankende Fängigkeit von Netzen vermieden werden. Hinzu kommen die Unsicherheiten beim Aufhängen des Durchflussmessers in der Netzöffnung,

weil selbst beim Fehlen von Halteleinen vor der Netzöffnung der Einstrom von Wasser in das Netz nicht gleichmäßig über die ganze Fläche erfolgt (Brander et al. 1993).

Eine Alternative ist die Verwendung von leistungsstarken Pumpen, über die sich Stich et al. (2010) nicht äußern. Das ist schade, denn einige der von den Autoren zitierten Veröffentlichungen handeln ausdrücklich über die Verwendung von Pumpen zum Planktonfang (Elster 1958; Chick et al. 2010).

Was ist Genauigkeit und Wiederholbarkeit?

In der Diskussion zum Vortrag Elster`s (1958) meldete Nümann grundsätzliche Bedenken an:

„Wie haben wir überhaupt ein absolutes Maß für die Richtigkeit der Ergebnisse? Die Methode, die zu dem größten Wert führt, braucht nicht unbedingt die beste zu sein.“

Diese Aussage ist bis heute wahr. Niemand kann mir die absolute Plankterzahl in einem Volumen Wasser aus einem See bestimmen, weil es dafür keinen Standard gibt. Der Vermessungsingenieur hat das Maßband, der Chemiker wiegt seinen Standard in Vergleichslösungen ein. So lassen sich genaue Messungen im Sinne der „accuracy“ aus der englischen Sprache, hier „Genauigkeit“ anstellen. Für das Zooplankton im See ist das bis heute nicht möglich.

Eine mögliche Annäherung an absolute Zahlen würden aufwendige Versuche in experimentellen Versuchsbecken voraussetzen, wie sie von Brander et al. (1993) angestellt wurden. Solange solche Ergebnisse fehlen, muss ich mich auf andere Kriterien verlassen. Das Sammeln von Ichthyoplankton dient zuerst der Bestandsschätzung des Fischbestandes, es geht dabei um die Größenordnung. Die Beprobung auf Zooplankton will mehr. Es geht um die Korrelation von Einflussgrößen mit abhängigen Größen im Gewässer und um die Erarbeitung von Kausalzusammenhängen. Dafür brauche ich Ergebnisse mit einer hohen Genauigkeit. Proben, die mit 98 % Wirksamkeit des Fanggerätes gesammelt wurden, sind unterhalb der Messlatte, weil der systematische Fehler zu groß ist. Soweit die Daten ermöglichen, Regressionen zu berechnen, die ein Signifikanzniveau von 1 % und besser erreichen, kann ich sie vorläufig als hinreichend betrachten. Die Bestätigung durch weitere Versuche steht aus.

Einschub: Die englische Sprache unterscheidet zwischen accuracy und precision.

Accuracy bedeutet die Übereinstimmung mit einem Standard. Precision ist die Wiederholbarkeit. Dazu ein Beispiel aus dem Schützenverein: der Schützenkönig erzielt mehrere Treffer auf die Scheibe. Wenn der Durchschnitt seiner Versuche im Schwarzen liegt, erfüllt er die accuracy, dann erzielt er genaue Werte. Seine Versuche können eine hohe Streuung aufweisen, dann hätte er eine schlechte Wiederholbarkeit. Wenn seine Streuung gering ist und alle seine Versuche ins Schwarze treffen, erfüllt er sowohl accuracy als auch precision.

Der Vereinskollege neben ihm hat sein Gerät fehlerhaft eingestellt. Er kann eine hohe precision als Wiederholbarkeit erreichen, dann lägen seine Treffer eng zusammen, leider abseits vom Schwarzen und er wäre nicht genau im Sinne der accuracy. Sein mangelhaft eingestelltes Gerät würde einen systematischen Fehler aufweisen.

Siehe auch: de.wikipedia.org/wiki/Präzision

Ist eine Probe im Labor, kann sie vollständig ausgelesen werden, oder ich ziehe mir Aliquote, dann ist es möglich, genau und wiederholbar zu arbeiten, also **accuracy** und **precision** zu erfüllen. Entsprechend haben van Guelpen et al. (1982) die Proben im Labor bearbeitet und die Brauchbarkeit verschiedener Verfahren und Geräte zum Auszählen von Zooplanktonproben bewertet. Doch für die Beprobung der Zooplanktonorganismen im See gibt es bisher kein Maßband. Alle bisher bekannten Fangmethoden für Zooplankton im See bedeuten nur den Versuch der Annäherung an 100 % in unterschiedlichem Ausmaß als Annäherung an die Wahrheit.

Die Bestandsaufnahme des Ichthyoplanktons, hier im freien Wasser schwebende Fischeier und Fischlarven, hat zum Ziel, quantitative Unterlagen zwecks Schätzung des betreffenden Fischbestandes zu erarbeiten. Dafür wird das Meer mit geeigneten Netzen auf dem Bongorahmen auf einer Strecke von mehreren hundert Metern durchfahren, um viele Kubikmeter Wasser zu filtrieren. Die Maschenweiten der verwendeten Netze betragen 330 μ für Fischeier und 500 μ für Fischlarven. Die Wasserflöhe unserer Binnengewässer würden teilweise durch solch große Netzmaschen gedrückt. Zum Fang von Wasserflöhen der Gattung *Daphnia* in mitteleuropäischen Seen ist eine Maschenweite von 100 μ und für Rädertiere eine Maschenweite von 60 μ geeignet. Je kleiner die Maschenweite aber gewählt wird, umso stärker wird der Staudruck im Netz und der Durchfluss wird geringer. Hinzu kommt das Verstopfen der Netzmaschen. Deshalb muss bei jedem Netzzug die Messung der Durchflussmenge mit Hilfe eines Durchflussmessers innerhalb und außerhalb der Netzöffnung erfolgen. Der Netzzug geschieht am Besten als Stufenfang, um die Tiefenzonen mit unterschiedlichen Planktondichten zu erfassen. Das Verstopfen der Netzmaschen ist teils jahreszeitlich bedingt durch Planktonorganismen und oft nicht vorhersagbar (Møhlenberg 1987) auch abhängig von den Planktonmengen am Standort (Smith et al. 1968).

Netzzüge liefern deshalb nicht hinreichend genaue Planktonfänge. Hinzu kommen die Unsicherheiten bei der Aufhängung des Durchflussmessers in der Netzöffnung.

Die Berechnungen welche ich mit den Unterlagen über das Zooplankton anstelle, müssen mindestens auf dem 1%-Niveau signifikant sein, um verwertbar zu sein. Die Anforderungen an die Genauigkeit sind damit wesentlich höher als beim Fang von Ichthyoplankton, bei dem es nur um die Bestandsschätzung geht. Es hängt vom Untersucher ab, welche Probenahme-geräte er aussucht. Wenn ihm für die Kalibration ein Standard zur Verfügung steht, kann er beruhigt arbeiten. Ist das nicht der Fall, wird gesucht, mögliche gerätebedingte systematische Fehler zu beseitigen, bis die erhobenen Daten mit anderen Merkmalen korreliert werden können. Je nach Situation muss unterschiedlich vorgegangen werden.

Ich erinnere an die Ergebnisse von Stehle et al. (2007), welche große Zweifel an der Vergleichbarkeit der Ergebnisse für verschiedene Netze weckt und die Aussage Nümann's (Elster 1958) nur bestätigt.

Systemanalyse

Die Natur nimmt keine Rücksicht auf künstlich errichtete Fachgrenzen. Will ich Systemanalyse an einem Biotop betreiben, muss ich diese Fachgrenzen überschreiten. Das fängt an mit der Physik des Wasserkörpers, setzt sich fort mit den chemischen Umsetzungen im Wasser, dem Wachstum von Pflanzen, die Beweidung derselben durch Tiere, dazu die Eingriffe durch Menschen in der Gestaltung der Beckenform und der Uferlinie, sowie Einträge und Austräge von Material und Organismen durch Menschen. Hier ist mehr als ein Fach betroffen; die Größen, welche diese Fächer untersuchen, stehen in Abhängigkeiten zueinander. Für die Kausalanalyse ist es nur folgerichtig, dass Nährstoffkonzentrationen, Planktonorganismen und Fischbestand zusammen untersucht und bewertet werden. Es ist strittig, ob es Gleichgewichte und negative Rückkoppelungen im System gibt oder eher eine positive Rückkoppelung. Letzteres würde bedeuten, dass ein Merkmal aus dem Ruder laufen kann und die Kontrolle über das Geschehen verloren geht.

Literatur

Antacli, J. C., D. Hernández, M. E. Sabatini, 2010. Estimation copepods` abundance with paired nets: Implications of mesh size for population studies. *Journal of Sea Research* 63, 71-77.

Brander, K. M., S. P. Milligan and J. H. Nichols, 1993. Flume tank experiments to estimate the volume filtered by high-speed plankton samplers and to assess the effect of net clogging. *Journal of Plankton Research*. 15, 385-401.

Brooks, John Langdon, and Stanley I. Dodson, 1965. Predation, Body Size, and Composition of Plankton. *Science, New Series* 150, 28-35.

Bürgi, H. R.; 1983. Eine neue Netzgarnitur mit Kipp-Schliessmechanismus für quantitative Zooplanktonfänge in Seen. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie* 45. Jg., Nr. 2, S. 505-507.

Burks, Romi L., Erik Jeppesen, and David M. Lodge, 2001. Littoral zone structure as *Daphnia* refugia against fish predators. *Limnology and Oceanography* 46, 230-237.

Carpenter, S. R., C. E. Kraft, R. Wright, X. He, P. A. Soranno, and J. R. Hodgson, 1992. Resilience and resistance of a lake phosphorus cycle before and after food web manipulation. *The American Naturalist* 140: 781-798.

Chick, John H., Alex P. Levchuk, Kim A. Medley, and John H. Havel, 2010. Underestimation of rotifer abundance a much greater problem than previously appreciated. *Limnology and Oceanography: Methods* 8, 79-87.

De Bernardi, Riccardo, 1984. Methods for the estimation of zooplankton abundance. In: *A manual methods for the assessment of secondary productivity in fresh waters* (eds. Downing J. A. & Rigler F. H.). IBP Handbook 17. Blackwell Scientific Publications. Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne, p. 59-86.

Elser, J. E., K. Hayakwa, and J. Urabe, 2001. Nutrient limitation reduces food quality for zooplankton: *Daphnia* response to seston phosphorus enrichment. *Ecology* 82 (3): 898-903.

Elster, H. J., 1953. Einige Beiträge zur quantitativen Planktonmethodik. *Berichte der Limnologischen Flußstation Freudenthal*. IV, 27-29.

Elster, H. J., 1958. Zum Problem der quantitativen Methoden in der Zooplanktonforschung. *Verhandlungen / International Association of Theoretical and Applied Limnology*, 13, 961-973.

Evans, Marlene S., and Daniel W. Sell, 1985. Mesh size and collection characteristics of 50-cm diameter conical plankton nets. *Hydrobiologia* 122, 97-104.

Guy, M., W. D. Taylor, and J. C. H. Carter, 1994. Decline in total phosphorus in the surface waters of lakes during summer stratification, and its relationship to size distribution of particles and sedimentation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51, 1330-1337.

Hensen, V., 1887. Über die Bestimmung des Planktons, oder des im Meere treibenden Materials und Pflanzen und Tieren. *Bericht der Kommission zur wissenschaftlichen Untersuchung der deutschen Meere*, in Kiel. 5, 1-107. Zitiert nach Møhlenberg (1987).

Hentschel, Erwin und Günther Wagner, 1990. Zoologisches Wörterbuch. Tiernamen, allgemein-biologische, anatomische, physiologische Termini und biographische Daten. 4. Auflage. Jena. Gustav Fischer Verlag.

Hessen, D. O., 1992. Nutrient element limitation of zooplankton production. *The American Naturalist* 140: 799-814.

Hudson, J. J., W. D. Taylor, D. J. McQueen, K. M. Somers, 2001. Phosphorus in pelagic food webs. *Archiv für Hydrobiologie. Special issues: Advances in Limnology* 56: 211-225.

Hulot, Florence D., Gérard Lacroix, Françoise Lescher-Moutoué & Michel Loreau, 2000. Functional diversity governs ecosystem response to nutrient enrichment. *Nature* 405, 340-344.

Hutchinson, G. Evelyn, 1974. De rebus planctonicis. *Limnology and Oceanography* 19, 360-361.

Jarvis, A. C., R. C. Hart, and S. Combrink, 1988. Cladoceran filtration rate-body length relations: model improvements developed for a *Microcystis*-dominated hypertrophic reservoir. *Journal of Plankton Research* 10: 115-131.

Keim, A., J. Hönig, H. Wiegner und K. Henke, 1997. Zur Problematik der fischereilichen Ertragsermittlung in Baggerseen. S. 87-116. In: *Wir für die Gewässer. 25 Jahre Gewässer-schutz IG Bruhrain*. Hrsg.: Interessengemeinschaft für Fischerei und Gewässerschutz Bruhrain 1972 e. V.

Knoechel, R. and L. B. Holtby, 1986. Cladoceran Filtering Rate: Body Length Relationships for Bacterial and Large Algal Particles. *Limnology and Oceanography* 31: 195-200.

Larocque, I., A. Mazumder, M. Proulx, D. R. S. Lean, and F. R. Pick, 1996. Sedimentation of algae: relationships with biomass and size distribution. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 53: 1133-1142.

Lazzaro, X., R. W. Drenner, R. A. Stein, and J. D. Smith, 1992. Planktivores and plankton dynamics: Effects of fish biomass and planktivore type. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49: 1466-1473.

Mazumder, A., W. D. Taylor, D. R. S., D. J. McQueen, and D. R. S. Lean, 1989. Effects of fertilization and planktivorous fish on epilimnetic phosphorus and phosphorus sedimentation in large enclosures. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 46: 1735-1742.

Mazumder, A. and D. R. S. Lean, 1994. Consumer-dependent responses of lake ecosystems to nutrient loading. *Journal of Plankton Research* 16: 1567-1580.

McGowan, John, A. and Vernie J. Fraundorf, 1966. The relationship between size of net used and estimates of zooplankton diversity. *Limnology and Oceanography* 11, 456-469.

McQueen, Donald J. and Norman D. Yan, 1993. Metering filtration efficiency of freshwater zooplankton hauls: reminders from the past. *Journal of Plankton Research*. 15, 57-65.

Møhlenberg, Flemming, 1987. A submersible net-pump for quantitative zooplankton sampling comparison with conventional net sampling. *Ophelia* 27, 101-110.

- Nayar, S., G. P. L. Goh and L. M. Chou, 2002. A portable, low-cost, multipurpose, surface-subsurface plankton sampler. *Journal of Plankton Research*, 24, 1097-1105.
- Peters, R. H. and J. A. Downing, 1984. Empirical Analysis of Zooplankton Filtering and Feeding Rates. *Limnology and Oceanography* 29: 763-784.
- Riccardi, Nicoletta, 2010. Selectivity of plankton nets over mesozooplankton taxa: implications for abundance, biomass and diversity estimation. *Journal of Limnology* 69 (2): 287-296.
- Plath, K. and M. Boersma, 2001. Mineral limitation of zooplankton: stoichiometric constraints and optimal foraging. *Ecology*, 82 (5): 1260-1269.
- Schindler, D. E., J. F. Kitchell, X. He, S. R. Carpenter, J. R. Hodgson, and K. L. Cottingham, 1993. Food Web Structure and Phosphorus Cycling in Lakes. *Transactions of the American Fisheries Society*. 122: 756-772.
- Seuront, Laurent, Hidekatsu Yamazaki and Sami Souissi, Hydrodynamic Disturbance and Zooplankton Swimming Behavior. *Zoological Studies* 43, 376-387.
- Smith, Paul E., Robert C. Counts, and Robert I. Clutter, 1968. Changes in filtering efficiency of plankton nets due to clogging under tow. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 32, 232-248.
- Smith, P. E. and S. L. Richardson, 1977. Standard techniques for pelagic fish egg and larva surveys. *FAO Fisheries Technical Paper* 175. 100 pp.
- Solemdal, F. and B. Ellertsen, 1984. Sampling fish larvae with large pumps: quantitative and qualitative comparisons with traditional gear. *Flødevigen rapportser*. 1, 335-363.
- Sommer, Ulrich, 1994. *Planktologie*. Berlin, Heidelberg, New York. Springer Verlag.
- Sommer, U., F. Sommer, B. Santer, E. Zöllner, K. Jürgens, C. Jamieson, M. Boersma, K. Gocke, 2003. Daphnia versus copepod impact on summer phytoplankton: functional compensation at both trophic levels. *Oecologia* 135: 639-647.
- Stehle, Maria, Antonina dos Santos and Henrique Queiroga, 2007. Comparison of zooplankton sampling performance of Longhurst-Hardy Plankton Recorder and Bongo nets. *Journal of Plankton Research* 29, 169-177.
- Stich, Maier und Hoppe, 2010. **Projekt Zooplankton**. Probenahme; Bericht des Instituts für seenforschung 36 Seiten; Karlsruhe 2010 [Institut für Seenforschung. 10] [projekt zooplankton probenahme \(pdf; 3,0 MB\)](http://www.lubw.badenwuerttemberg.de/servlet/is/216177/projekt_zooplankton_probenahme.pdf?command=downloadContent&filename=projekt_zooplankton_probenahme.pdf) Link: http://www.lubw.badenwuerttemberg.de/servlet/is/216177/projekt_zooplankton_probenahme.pdf?command=downloadContent&filename=projekt_zooplankton_probenahme.pdf
- Taggart, Christopher T. and William C. Leggett, 1984. Efficiency of Large-Volume Plankton Pumps, and Evaluation of a Design Suitable for Deployment from Small Boats. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 41, 1428-1435.
- Tranter, D. J., 1967. A formula for the filtration coefficient of a plankton net. *Australian journal of marine and freshwater research* 18, 113-121.

Tranter, D. J. and A. C. Heron, 1967. Experiments on filtration in plankton nets. *Australian journal of marine and freshwater research* 18, 89-112.

Tseng, Li-Chun, Hans-Uwe Dahms, Jia-Jang Hung, Qing-Chao Chen, Jiang-Shiou Hwang, 2011. Can different mesh sizes affect the results of copepod community studies? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 398, 47-55.

Van Guelpen, Louis, Douglas F. Markle, and Diane J. Duggan, 1982. An evaluation of accuracy, precision, and speed of several zooplankton subsampling techniques. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 40, 226-236.

Vanni, Michael J., Craig D. Layne, and Shelley E. Arnott, 1997. "Top-down" trophic interactions in lakes: effects of fish on nutrient dynamics. *Ecology* 78, 1-20.

Wright, D. I. and J. Shapiro, 1984. Nutrient reduction by biomanipulation: an unexpected phenomenon and its possible cause. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung der Limnologie* 22: 518-524.