

**Erfahrungsbericht zu den Untersuchungen am Badeseer Buchtzig  
und den Auswertungen der Arbeitsergebnisse**

**Albert Keim**

**01. Juli 2020**

**Institut für Gewässer und Fischerei**

**Bruchsal-Heidelsheim, Schlittengasse 14, 76646 Bruchsal**

## Inhaltsverzeichnis

		<b>Seite</b>
<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Anforderungen an einen Gewässerökologen</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Technische Voraussetzungen</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Untersuchungsarbeiten am Badensee Buchtzig von 1993-2005</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Die Auswertungen der Untersuchungsergebnisse vom Badensee Buchtzig</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>Arbeit an den Grenzen des verfügbaren Wissens</b>	<b>9</b>
<b>7</b>	<b>Der Anspruch der Alternativen</b>	<b>10</b>
<b>8</b>	<b>Pumpenfang auf Zooplankton</b>	<b>12</b>
<b>9</b>	<b>Netzkonstruktionen zum Planktonfang</b>	<b>17</b>
<b>10</b>	<b>Weitere Vergleiche von Geräten zum Zooplanktonfang</b>	<b>20</b>
<b>11</b>	<b>Filtration von Wasserproben im Labor</b>	<b>22</b>
<b>12</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>26</b>

## **1. Einleitung**

Das Zooplankton stehender Gewässer ist von Interesse für unterschiedliche Interessengruppen. Es gibt die Systematiker unter den Zoologen, welche die Arten beschreiben und im Museum katalogisieren. Limnologen als Fachleute für Binnengewässer erfassen die Zusammensetzung des Zooplanktons und stellen Artenlisten auf, vermerken in roten Listen ausgestorbene und bedrohte Arten und in schwarzen Listen neu zugewanderte Arten. Fischereifachleute wollen wissen, wie viel Fischnährtiere aus dem Zooplankton den planktonfressenden Fischen zur Verfügung stehen.

Alle diese Fachleute tun ihre Arbeit und jeder mit Recht. Ein See ist ein Ökosystem mit unveränderlichen Größen, hier Fläche und Tiefe, mit Einflussgrößen, hier Nährstoffzufuhr und Tierbestand sowie mit abhängigen Größen, hier Plankton, Bodentiere und Pflanzen. Es gibt Wirkungszusammenhänge quer über die Arbeitsgebiete der Fachleute.

Ich habe Biologie studiert und wählte an der Universität Freiburg zum Diplomexamen Limnologie als Hauptfach. Die Doktorarbeit habe ich über ein parasitologisches Thema an der Universität Hohenheim angefertigt.

Im Jahre 1979 hatte ich die Urkunde über die Doktorprüfung in der Tasche und suchte eine Anstellung. Ein Angebot kam von der FAO zur Arbeit in der Meeresfischerei, dort sah man auf mein Diplom mit dem Hauptfach Limnologie. So bin ich zur Fischerei gekommen, habe gelernt, Fische zu messen, zu wiegen, zu bestimmen und das Alter zu lesen.

## **2. Anforderungen an einen Gewässerökologen**

Gemeindeverwaltungen bzw. Stadtwerke schließen Verträge mit freiberuflichen Sachverständigen, um stehende Gewässer im Eigentum der Gemeinde hinsichtlich der Gewässergüte zu untersuchen und zu bewerten.

Im Hintergrund stehen grundsätzliche Überlegungen.

Ökologie ist die Lehre von den Stoffumsetzungen im Ökosystem, hier das stehende Gewässer. Die Gewässerkunde unterscheidet heute zwischen den Bottom-up-Einflüssen, welche von unten her als Nährstoffversorgung das Leben im Gewässer bedingen und den Top-down-Einflüssen, welche von oben her durch den Tierbestand Wirkungen haben.

Im konkreten Fall eines Binnensees wird der Phosphor als wichtigster Nährstoff angesehen, welcher das Wachstum begrenzt. Das gilt für mehrere Trophiestufen, angefangen von den einzelligen Algen, über die Wasserflöhe bis zu den Fischen. Der Tierbestand kann sehr unterschiedliche Wirkungen auf die biologischen Zusammenhänge im See haben.

Für ein rationales Management des Ökosystems See ist es wichtig, die verschiedenen Einflüsse zu erfassen und unterscheiden zu können. Die Arbeit des Sachverständigen soll den Jetztzustand feststellen, beschreiben und bewerten. Dieser Blick schließt üblicherweise mit ein, dass Vergangenes mit bewertet wird und es wird erwartet, dass Voraussagen zur Zukunft erstellt werden. Letzteres setzt voraus, dass zuverlässige Unterlagen vorhanden sind. Nach meiner Kenntnis braucht es dafür Regressionsrechnungen, deren Korrelationskoeffizienten sich im signifikanten Niveau befinden.

Als Voraussetzung für eine Bewertung müssen zunächst die Einflüsse sowohl von unten wie von oben auf die Stoffumsetzungen erfasst werden. In der Praxis trifft der Sachverständige oft auf unterschiedliche Gruppeninteressen am Gewässer, die auf einen See einwirken.

### **3. Technische Voraussetzungen**

Als ich im Jahre 1989 mit der freiberuflichen Tätigkeit als Sachverständiger für Gewässer und Fischerei begann, standen praktische Erwägungen im Vordergrund. Bei der Anschaffung der Geräte war die Kostenfrage zu berücksichtigen. Also habe ich zur Filtration von Wasserproben auf eine elektrische Unterdruckpumpe verzichtet und mit Hilfe der Schwerkraft filtriert, wofür ein einfacheres und billigeres Gerät benutzt werden kann.

Einige Zeit danach wurde ich auf den Beitrag von [Goldman and Dennet \(1985\)](#) aufmerksam, die fanden, dass beim Filtrationsvorgang mit Hilfe von Unterdruck die Zellwände von Algen brechen können. Da die planktonischen Algen Nährstoffe speichern, gelangen nach dem Bruch der Zellwände solche gespeicherten Stoffe ins Filtrat. Das Verhältnis des gelösten Nährstoffes im Freiwasser zum Nährstoff in den Algen wird damit verfälscht. Ich nenne es das TDP/TP-Verhältnis. Später habe ich weitere Literatur gesammelt, welche diese Auffassung bestätigt. Als Ursache für die Zellenbeschädigungen werden Druckunterschiede vermutet. Also blieb ich bei der Schwerkraftfiltration.

Mir wurde früh bewusst, dass mit dem Verhältnis der Phosphorkonzentrationen - soweit die Filtration sauber durchgeführt worden war - die Möglichkeit gegeben war, Regeln zu finden. Einen ersten Schritt an die Öffentlichkeit unternahm ich mit einem Posterbeitrag auf der Jahrestagung der DGL 1991 in Salzburg.

Niemand interessierte sich für das Thema und die zum Druck eingereichte Vorlage wurde abgelehnt. Danach ging ich mit einem Diagramm, auf dem das TDP/TP-Verhältnis und die Länge der Wasserflöhe aufgetragen war, zu einem Sachbearbeiter der Landesanstalt. Da könnte ein Zusammenhang vorhanden sein, war sein vorsichtiger, zurückhaltender

Kommentar. Ich fühlte mich ermutigt und arbeitete weiter. Die nächste Vorstellung gab ich über Stufen des Fraßdruckes vom Fischbestand auf das Zooplankton auf einem Treffen von Fischereibiologen. Wieder kamen keine Fragen und der Text wurde zum Druck abgelehnt. Auch war meine Bezeichnung Freisetzungsrates falsch, es sei nur ein Verteilungsverhältnis, bemängelte der Reviewer. Ich nahm die Korrektur gerne an. Danach gab ich den Stoff an die Redaktion von Österreichs Fischerei und diese druckten ohne Review. Im Nachhinein sehe ich meine damalige Arbeit als behindert durch die Isolation, in der ich gearbeitet habe. Das wurde deutlich, als ich den Inhalt des Artikels in Österreichs Fischerei in die englische Sprache übertragen und bei einer angesehenen Zeitschrift eingereicht hatte. Einer der Reviewer hat gemerkt, dass der Inhalt schon einmal in deutscher Sprache gedruckt worden war und zeigte sich sehr ungehalten, dass ich neue Literatur nicht zitiert hatte, nannte auch gleich den Sammelband über das Dorsetprojekt als Beispiel.

Also stürzte ich mich von neuem in das Lesen der Literatur zu den Themen Phosphormessungen, Zooplankton und Fischerei.

Im Jahr 1993 lernte ich in der Fischereibehörde ein Pumpen-Rohr-System zur Zooplanktonbeprobung kennen, an dem mir entscheidende Vorteile auffielen im Vergleich zu den herkömmlichen Zooplanktonbeprobungen über den Netzzug oder den Wasserschöpfer. Aus meiner früheren Arbeit im Ichthyoplankton wusste ich von den Schwächen, die mit einem Netzzug zwecks Zooplanktonbeprobung verbunden sind. Diese Schwächen können teilweise durch die Netzkonstruktion kompensiert werden.

Das Ergebnis von Überlegungen in der Ichthyoplanktonbearbeitung sehen wir im Bongorahmen (Bild) und in der Verwendung von zylindrischen Netzteilen am vorderen Netzteil direkt hinter der Netzöffnung, während im hinteren Netzteil das Netzgewebe konisch genäht ist.

Die Bezeichnung Bongo rührt von der kubanischen Musik. Der Bongocero in einer Band spielt auf zwei Röhrentrommeln, die miteinander verbunden sind. Der Bongo der Fischereibiologen zum Fang von Fischeiern und Fischlarven ist ein Zwillingsrahmen für zwei Netze. Die Zugleine wird am Mittelteil der Konstruktion aufgehängt. Auf diese Weise wird vermieden, dass Halteleinen über die Netzöffnung gespannt sind.

Durchlässig für Wasser sind nur die Netzmaschen als offene Bereiche, während das Netzmaterial als Bremse wirkt. Je kleiner die Netzmaschen sind, umso mehr nimmt die Fläche des Netzmaterials zu und folglich auch seine Wirkung als Bremse auf den Einstrom von

Wasser in das Netz als Filtrationsgerät. Wie viel Wasser durch eine Netzmasche fließt, hängt von ihrer Form und Größe ab. [Hensen \(1887\)](#) hat dafür auf das Toricelli-Theorem verwiesen und mit seiner Hilfe einen Netzfaktor berechnet.

Auch die Netzlänge ist von Einfluss auf die Fängigkeit eines Zooplanktonnetzes. Das Netz muss um ein Mehrfaches länger sein als der Durchmesser der Netzöffnung. Auf diese Weise wird die Zahl der Netzmaschen, durch die Wasser das Netz verlassen kann, erhöht.

[McQueen and Yan \(1993\)](#) wiesen darauf hin, dass auf vielen Seen die Bearbeiter des Zooplanktons keinen Durchflussmesser (engl. Flowmeter) in die Netzöffnung hängen. Zu bedenken ist, dass die Einströmgeschwindigkeit des Wassers in der Netzöffnung sehr ungleich verteilt ist. Bei der Anwendung von konischen Netzen mit 60 oder 100  $\mu$  Maschenweite auf mitteleuropäischen Seen muss ich davon ausgehen, dass das Netzgewebe einen hohen Widerstand gegen das einströmende Wasser ausübt und dass zusätzlich Algen die Netzmaschen verstopfen können. Soweit das Netz eine konische Form aufweist, ist das Netzmaterial dem Beschlag durch Planktonorganismen ausgesetzt, wobei Netzmaschen bedeckt und damit verstopft werden können. Abhilfe kann teilweise die Einfügung eines zylindrischen Netzteiles schaffen.

Schwoerbel schreibt in „Methoden der Hydrobiologie Süßwasserbiologie“ (1980), dass ein Planktonfang per Netz mit dem Pumpenfang verglichen werden kann, um einen Netzfaktor zu ermitteln, der aber nur für diese Bedingungen der einen Beprobung gültig ist. Denn das Clogging, zu deutsch das Verstopfen der Netzmaschen durch die Algen ist nicht vorhersagbar, geschweige denn berechenbar.

Dazu schreibt [Schwoerbel \(1980\)](#): „Darin liegt der schwerwiegende Mangel der quantitativen Netzmethoden: eine mangelhafte Methode, deren Fehler aber exakt formuliert werden kann, ist durchaus brauchbar; das Netz erfüllt diese Forderung nicht, weil sich der Fehler einer Kontrolle entzieht.“

Da frage ich mich, warum nicht gleich mit der Pumpe arbeiten. Ich denke, dass damit grundsätzliche Fragen angesprochen sind und es lohnt sich, diese im Zusammenhang mit dem Badeseer Buchtzig zu erörtern.

#### **4. Untersuchungsarbeiten am Badeseer Buchtzig von 1993-2005**

Am Anfang stand ein Untersuchungsauftrag, der jährlich erneuert wurde und über die Zeitspanne von 1993 bis 2005 ging. Die Bäderverwaltung bei den Stadtwerken Ettlingen wollte es für ihren Badeseer genau wissen und den See regelmäßig auf seinen Gütezustand

untersuchen lassen. Dafür standen jährlich maximal zehntausend Mark zur Verfügung und ich habe mir überlegt, was ich mit diesem Geld vernünftig tun kann.

Ein Muss war die Erstellung von Temperatur- und Sauerstoffprofilen, Messungen des pH-Wertes und der Leitfähigkeit, des Phosphors als Minimumfaktor für das Algenwachstum und die Bearbeitung von Phyto- und Zooplankton als erstrangige Merkmale. Im Laufe der Jahre wurden wechselnde Schwerpunkte gesetzt nach dem Bedarf am See und so wurden die Unterwasserpflanzen bearbeitet, die Konzentration von Schwefelwasserstoff im See gemessen und eine Fischbestandsaufnahme durchgeführt.

Die Ergebnisse aus diesen Arbeiten waren für die Bäderverwaltung ein Anlass, Planungen für die Restauration des Buchzigsees aufzunehmen. Bis Frühjahr 2006 habe ich auch bei den zusätzlichen Untersuchungen als Vorbereitung zur Restaurierung des Buchzigsees mitgearbeitet und dafür meine Arbeitskraft und meine Geräte zur Verfügung gestellt. Die Veröffentlichung über die Wirkung des Fischbesatzes im Ökosystem des Buchzigsees ist ein Nebenprodukt dieser Untersuchungen. Der Auftraggeber gab mir für die Wahl der Arbeitsmethodik seinen Vertrauensvorschuss.

## **5. Die Auswertungen der Untersuchungsergebnisse vom Badensee Buchzig**

Im Frühjahr 2005 saß ich in einer Bibliothek vor einem PC mit Internetanschluss, gab das Stichwort „*Daphnia*“ in die Suchmaschine ein und wurde auf eine Webseite mit der Einladung zum VII. Cladocersymposium geführt. Ich meldete mich zur Teilnahme mit einem Vortrag über den Buchzigsee an.

Da lag ein wirrer Stapel von Daten vor mir. Ich habe versucht zu sortieren, berechnete das Verhältnis des gelösten Phosphors aus dem Filtrat zum Gesamtphosphor aus der Wasserprobe. Dieses Verhältnis setzte ich in Beziehung zur Länge der Wasserflöhe in 5-8 m Tiefe und wurde auf der Tagung enttäuscht: Niemand hatte eine Frage oder einen Kommentar.

Danach habe ich meine Erkenntnisse zusammengeschrieben und zum Druck eingereicht. Nach einem halben Jahr kam von der Zeitschriftenredaktion die Antwort: einiges scheint brauchbar, ich möge zusätzlich die Biomasse des Zooplanktons berechnen. Solches war nicht schwer, ich hatte ja die Länge der Wasserflöhe in den Proben gemessen, dafür Stichproben gezogen und das Volumen des filtrierten Wassers war bei der Probennahme auf dem Boot protokolliert worden. Die Formel zu Berechnung der Biomasse aus der Länge war auch bekannt.

Dann fiel mir auf, dass möglicherweise ein Zusammenhang zwischen dem TDP/TP-Verhältnis und dem Besatz mit Rotaugen besteht für den Zeitraum von Juli bis Oktober. Ein Reviewer schrieb, ich solle diesen Zusammenhang weiter bearbeiten. Eine Übersicht über Messungen in anderen Monaten wurde von den Reviewern später verlangt. Außerdem machte einer der Reviewer mich darauf aufmerksam, dass die Unterlagen über die Beziehung des TDP/TP-Verhältnisse zur Daphnialänge mehr einer Glockenkurve als einer logarithmischen Kurve entsprechen. Diese Hinweise habe ich gerne aufgenommen als positive Anregungen; sie haben mir weitergeholfen.

Aber das Zooplankton machte mir weiter Sorgen. Ich las bei mehreren Autoren, dass Wasserflöhe vom Phosphor als begrenzendem Faktor für ihr Wachstum abhängen. In dem Diagramm, das ich mit Excel erstellte, waren eine Punktwolke und zwei steigende Punktreihen erkennbar. Es war verwirrend.

Die Zusammenhänge wurden transparenter, als ich auf Excel die polynomische Funktion anklickte und eine mehrgliedrige Kurve erhielt. Wieder waren einige Sortierungen nötig. Jene Datensätze wurden von der Regression ausgeschlossen, bei denen das Zooplankton mit einem Schöpfer gefangen worden war und dazu alle Unterlagen vom Monat Juli. In vielen Phytoplanktonproben vom Juli waren zusätzlich Pflanzenbruchstücke enthalten, ein Indikator für erhöhte Nährstoffkonzentrationen.

Die Reviewer begleiteten diese Analysen im Halbjahresabstand und lehnten es schlussendlich ab, den Druck zu empfehlen. In solchen Fällen geht ein Wissenschaftler zur nächsten Zeitschriftenredaktion. Auch dort wollte man mehr wissen und verlangte eine ausführliche Dokumentation der Sortierungen. Dann empfahl mir im Forum ResearchGate John Barry Gallagher, ein junger Wissenschaftler aus Tasmanien, für die Statistik die Freeware PAST zu verwenden. Mit PAST war es möglich, eine Clusteranalyse zu erstellen und die Ergebnisse aus den Regressionsrechnungen wurden gestützt. Die Daten von März bis Juni und vom Juli bis Oktober gehören zu zwei unterschiedlichen Gruppen. Aber das verbesserte und ergänzte MS wurde abermals abgelehnt. Mittlerweile war ich im zehnten Jahr der Auswertungen.

Es wird unter Wissenschaftlern als normal angesehen, dass neue Befunde innerhalb von zwei Jahren veröffentlicht sein müssen, sonst geben in dieser Zeit Kollegen in anderen Instituten, die ebenfalls am gleichen Thema arbeiten, ihre Ergebnisse an eine Zeitschrift.

Ich stehe mit diesem Arbeitsthema allein ohne Anbindung an eine anerkannte Institution. Das Thema ist grenzüberschreitend und es wurden gleich zwei ungewöhnliche Arbeitsmethoden

benutzt, hier die Schwerkraftfiltration und das Rohr-Pumpensystem von Josef Hönig. Diese waren an anderen Orten durchaus erprobt worden mit guten Ergebnissen. Und die alten Arbeitsweisen, die Unterdruckfiltration von Seewasser und der Netzzug auf Zooplankton waren durch Meeresbiologen längst falsifiziert. Es ist verständlich, dass die Reviewer alles gründlich prüfen und fragen, kann das wirklich sein. Ich sehe im Review den ersten Schritt zur externen Prüfung neuer Befunde.

Schließlich habe ich die Daten zur LMU in München gegeben, damit sie dort neu gerechnet werden. Dies war der zweite Schritt zur externen Prüfung. Es geht hier um kontroverse Inhalte und solche müssen durchgearbeitet werden im Austausch mit den Kollegen und Kritikern in Fragen und Antworten, Stellungnahmen und Erwiderungen. Leider habe ich hier als Einzelgänger keine Kollegen. Kontaktversuche zu auswärtigen Institutionen blieben lange ohne Erfolg.

Es blieb für mehrere Jahre nur der Austausch mit den Reviewern mit teils ablehnenden Meinungen und jener Meinung, die sagt, ja es sind gute Befunde enthalten, aber die erforderliche Form ist noch nicht erreicht. Ein Reviewer liest nur den eingereichten Text.

Die Kollegin in München ging einen Schritt weiter. Sie rechnete mit den Daten aus den Exceldateien, welche ich rübergeschickt hatte, noch mal neu mit anderer Software. Es bleibt der dritte Schritt, die Prüfung durch eine andere Institution unter Verwendung der neuen Arbeitsmethoden auf dem See und im Labor.

## **6. Arbeit an den Grenzen des verfügbaren Wissens**

Halte ich mich an die Rahmenbedingungen und/oder Vorschriften der Autoritäten, sprich Amtsleiter, Lehrbeauftragte und Vorgesetzte mit der Maßgabe nach Einheitsverfahren zu arbeiten oder erinnere ich mich an die Empfehlung von Descartes (1684) in seiner Regula 8, dass ich mir an den Grenzbereichen der Erkenntnis neue Werkzeuge schaffen muss?

Im ersteren Fall werde ich zum Vollstrecker einer Verwaltung und bleibe innerhalb der Grenzen, die von oben gesteckt sind.

Im anderen Fall widerspreche ich den Amtsautoritäten mit möglichen Folgen wie Verzicht auf Einkommen und Einfluss.

Beim Gang in unwegsamem Gelände muss jeder Schritt überlegt sein, weiß ich doch nicht, wie der Untergrund beschaffen ist, wohin ich den nächsten Schritt tue und was mir hinter dem nächsten Busch, Baum oder Hügel begegnen wird. Ich tue gut daran, mich mit Kollegen

auszutauschen betreffend meiner Wortwahl und meinen Arbeitsweisen bei Beprobungen, Laborarbeiten und Auswertungen.

Oft ist es schwierig, angemessene Stellungnahmen zwecks Austausch mündlich oder schriftlich in Form von Fragen, Kommentaren, auch als Zweifel oder Ablehnung, auf meine eigenen Darstellungen zu erhalten. So ich der Anregung von Descartes folge und neue Arbeitsmethoden benutze, ist das oft ein Regelbruch, ein Verstoß gegen amtliche Vorschriften und ein Widerspruch gegen amtliche Haltungen, sprich Paradigmen.

## **7. Der Anspruch der Alternativen**

Ohne Ordnung, ohne eine einheitliche Linie ist eine menschliche Gesellschaft nicht lebensfähig. Dafür braucht es verbindliche Regeln. Eine neue Arbeitsweise bedeutet aber Regelbruch und ist folglich eine Störung. Um zu neuen besseren verbindlichen Regeln zu gelangen, braucht es deshalb einen Raum außerhalb der Ordnung, wo die Schritte ins Unbekannte erprobt und geprüft werden können, ohne die Ordnung zu stören. Ich nenne diesen Raum das „Stille Kämmerlein“, es ist ein Rückzugsraum als Fluchtpunkt, um auf eine vorläufige Zeitspanne die Reibungen mit den Vertretern der Ordnung zu vermindern. Dabei bestehe ich auf externen Prüfungen, zunächst durch anonyme Vertreter der Ordnung, üblicherweise die Reviewer in einer Zeitschriftenredaktion.

Weitere Prüfungen durch dritte Institutionen als Nachberechnungen und zusätzlich außerhalb des Schreibtisches mit Beprobungen, Laborarbeiten und Auswertungen sind sehr erwünscht. Abgrenzungen zwischen den Institutionen dienen niemandem, sondern behindern den Austausch. Hier im Fall der Bearbeitung des fachübergreifenden Ökosystem Binnensee wirkt jede Abgrenzung zwischen den Arbeitsfächern als Blockade auf dem Weg zu besserer Bearbeitung von Problemen.

In den Auswertungen der Proben vom Buchtzigsee habe ich zeigen können, dass die Länge der Wasserflöhe und ihre Biomasse durchaus mit dem Phosphor korreliert werden kann, auf einem signifikanten Niveau. Auch der Besatz mit einer planktivoren Fischart konnte mit dem Phosphor korreliert werden. So wurden künstlich errichtete Fachgrenzen überschritten.

Die Patchiness, die ungleiche Verteilung des Zooplanktons im See, konnte im Buchtzigsee vernachlässigt werden, weil der See einen weitgehend einheitlichen Wasserkörper hat. Geographisch abgetrennte Seeteil, wie am Hardtsee bei Ubstadt-Weiher, sind nicht vorhanden und die regelmäßig besuchte Beprobungsstelle befand sich in der Seemitte. Soweit auf der Nord-Südachse des Sees tatsächlich stehende Wellen, hier Seiches, auftreten infolge von

stetigem Wind aus südlicher oder nördlicher Richtung, entgehe ich den Schwankungen der internen Welle, weil ich in der Seemitte beprobe, wo sich der Schwingungsknoten als Achse der Welle befindet.

Wir stehen vor der Aufgabe, neue Wege zu suchen, um mangelhafte Arbeitsmethoden zu verbessern mit dem Ziel, verlässliche Unterlagen zu erarbeiten für ein rationales Seenmanagement. In Anbetracht der schwerwiegenden systematischen Fehler des Netzzuges und der Beschränkungen von Schöpfern und Planktonfallen hinsichtlich des möglichen Volumens ist es nötig, völlig andere Wege zu suchen. Das Pumpen bietet eine Möglichkeit für die Zukunft.

In den letzten Jahrzehnten gab es aus Deutschland nur die Veröffentlichungen von [Elster \(1953 und 1958\)](#) sowie von [Lenz \(1972\)](#) in Zeitschriften mit Peer-review über die Zooplanktonbeprobung mit Pumpen. Die gemeinsamen Veröffentlichungen mit Josef Hönig in Österreichs Fischerei in den neunziger Jahren sind als Vorveröffentlichungen zu betrachten weil ohne Peer-review. review und gelten als graue Literatur ([Keim & Hönig 1993](#); [Keim 1996](#) und [Keim et al. 1997](#)).

Es gibt kein absolutes Maß für Zooplankton im Gewässer. Der Vermessungsingenieur hat sein Maßband. Der Chemiker wiegt seine Substanz ein und füllt auf eine Standardlösung auf, stellt daraus eine Verdünnungsreihe her, misst diese durch und erstellt sich eine Eichkurve.

Für das Zooplankton gibt es keinen Standard. Mit unterschiedlichen Geräten erhalte ich unterschiedliche Ergebnisse. Welche kommen der Wirklichkeit am nächsten? Hier darf ich meinen menschlichen Verstand einschalten und fragen. Verursachen die verwendeten Geräte Artefakte, unerwünschte Begleiterscheinungen wie Zellbruch oder Fluchtbewegungen der Organismen? Zooplanktonfang bedeutet Filtrieren. Wo und wie filtriere ich am Besten? Beim Netzzug im See unter dem Boot oder nach dem Schöpfen oder Pumpen von Seewasser auf dem Boot?

Mit welchen Geräten erhalte ich quantitative, zuverlässige Ergebnisse? Diese sollen der Wirklichkeit soweit nahekommen, dass im Vergleich mit anderen Parametern Regressionsrechnungen mit einem Korrelationskoeffizienten auf einem signifikanten Niveau erstellt werden können. Das bedingt die Vermeidung systematischer Fehler wie Geräteflucht und Clogging. Ein Vermindern reicht nicht.

## **8. Pumpenfang auf Zooplankton**

[Hanson & Peters \(1984\)](#) haben eine Beziehung zwischen dem Gesamtposphor als Determinante und der Biomasse des Zooplanktons als abhängige Variable erstellt mit  $r^2 = 0,72$  als Bestimmtheitsmaß oder Determinationskoeffizient. Das bedeutet, dass die Biomasse des Zooplanktons zu 72 % vom Gesamtposphor bestimmt ist. Während die Durchschnittstiefe ( $T_{\text{mean}}$ ) mit  $r^2 = 0,30$  und die größte Tiefe ( $T_{\text{max}}$ ) mit  $r^2 = 0,35$  negativ mit der Biomasse des Zooplanktons korreliert sind.

[Pace \(1986\)](#) verglich drei verschiedene Geräte zur Zooplanktonbeprobung und fand große Unterschiede zwischen den Ergebnissen mit dem Zugnetz, der Schindlerfalle und der Pumpe. Seine Regressionsrechnung aus den Pumpenfängen zeigt mit  $r^2 = 0,86$  den Gesamtposphor mit 86 % bestimmend auf die Biomasse des Zooplanktons. Die Ergebnisse aus den Netzfängen und Fallenfängen hat [Pace \(1986\)](#) leider nicht angegeben.

[Havens & Beaver \(2011\)](#) ermittelten für flache Seen in Florida einen  $r^2$  von 0,69. Die Tiefen dieser Seen schwankten zwischen 150-440 cm. Der  $r^2$  ist in der gleichen Größenordnung wie bei [Hanson & Peters \(1984\)](#), aber der Einfluss der Tiefe ist in Florida gering. In einer anderen Veröffentlichung ([Kamarainen et al. 2008](#)) habe ich aus den veröffentlichten Tabellendaten einen  $r^2$  von 0,71 errechnet.

Ich schließe vorläufig, dass es mehr als eine Einflussgröße auf das Zooplankton geben kann.. Andere Limnologen verzichteten auf die Regressionsrechnung. Diese Autoren benutzten den Vertikalzug mit einem konischen Netz zur Zooplanktonbeprobung.

Es gibt ältere Literatur zur Zooplanktonbeprobung und ich ersehe aus jenen Veröffentlichungen, dass die Kontroverse um das Für oder Wider ob Netzzug oder Pumpe zur Zooplanktonbeprobung recht alt ist. Es lohnt sich, eine inzwischen weitgehend vergessene Bewertung unterschiedlicher Arbeitsmethoden aus der Frühzeit der Planktonuntersuchungen zu lesen.

Der erste, welcher eine Pumpe zur Planktonbeprobung benutzte, war der Meeresbiologe und Physiologe [Hensen \(1895\)](#), welcher wegen den Schwierigkeiten mit der Netzmethode fand, es wäre am Besten, Wasser mittels einem Schöpfer oder einer Pumpe das zu beprobende Wasser auf einen Filter zu gießen. Fünfzig Jahre später unternahmen es [Gibbons & Fraser \(1937\)](#), eine Pumpe für den Zooplanktonfang zu prüfen und besprachen in der Einleitung und in einem historischen Rückblick vergangene Veröffentlichungen. Ich füge hier in Auszügen meine Übersetzung aus dem Englischen ins Deutsche ein:

„Nachdem Hensen die Möglichkeiten der Pumpe erwähnt hatte, scheint für zehn Jahre wenig getan worden sein, aber 1897 äußerte Dr. [Frenzel \(1897\)](#) mit Bezug auf Hensen's Arbeit von

1887, „....diese Idee (Pumpen für Plankton) erscheint mir so einfach und natürlich, dass ich mich selbst frage, welche Gründe könnten sein, dass diese Methode so lange unversucht blieb....“. Er machte einen besonderen Punkt auf den Gebrauch von Pumpe und Flasche um Planktonproben von Bereichen unter dem Eis zu erlangen – ein sehr nützliches Experiment, das noch mit moderner Ausrüstung versucht werden soll – und er wies darauf hin, dass die Gerätschaft von einem Boot aus benutzt werden könnte. Seine Theorie war ganz richtig, dass ein möglichst großes Volumen von Wasser hochgezogen und filtriert werden sollte und er betrachtete 500 Liter als Minimum. Die Pumpe, welche er benutzte, schien fähig, 100 Liter pro Minute zu bewältigen und Dr. Frenzel fertigte einen besonders verstärkten Schlauch, um das Abplatten des ungemusterten Gummischlauches durch die Saugwirkung zu vermeiden. Solch verstärktes Schlauchmaterial wird heute natürlich häufig gebraucht und ist leicht erhältlich.

Im selben Jahr erörterte [Kofoid \(1897\)](#) einige der Fehlerquellen in der Planktonarbeit und zeigte auf, wie der Netzfiltrationskoeffizient, den Hensen erarbeitet hatte, mit der Planktonmenge in dem untersuchten Wasser schwankte. Er prüfte dies mittels Pumpen und Filterung einer Wassersäule, die gleich jener war, welche durch das Netz ging und fand, dass entsprechend der Dichte der Organismen der Netzkoeffizient schwanken würde zwischen 1,5 und 5,7 und begründete damit die Unmöglichkeit eines festgelegten Koeffizienten. Sein nächster Punkt war, dass ein voll geschrumpftes Netz 30 Prozent mehr Maschen auf den Zentimeter haben kann im Vergleich zu einem neuen Netz und dass im Fall eines voll geschrumpften Netzes die Gesamtfläche der Öffnungen leicht auf mehr als 50 Prozent vermindert werden kann. Noch immer gibt es Netze diesen Typus, mit denen Bearbeiter versuchen quantitative Ergebnisse zu begründen.

Um diese Zeit (1895-1903) nahmen eine Anzahl von Zoologen, unter ihnen waren Kramer, Herdman, Wolf, Steuer, Murray and Blackman Planktonproben von Oberflächenschichten in dem sie Wasser mittels einer gewöhnlichen Pumpe auf dem Dampfschiff holten und filterten; ihre Hauptkritik scheint gewesen zu sein, dass nur die Oberflächenschichten beprobt werden konnten. Im Jahr 1901 jedoch benutzte [Lohmann \(1902\)](#) einen dünnen Schlauch, um Plankton aus Tiefen von bis zu 100 Metern zu sammeln. Hierbei wurde ein sehr kleiner Schlauch benutzt, denn es waren nur die kleinsten Formen, die er zu untersuchen wünschte und die Quantität des Wassers war nur 75 bis 100 Liter und also ziemlich unzureichend für eine zoologische Bearbeitung. Dennoch scheint sein System vollkommen zufriedenstellend gewesen zu sein für das Phyto- und Nanoplankton und er legte dar, dass die Ergebnisse weit überzeugender waren als jene, die bei Benutzung eines Netzes erlangt wurden. Einen

allgemeinen Rückblick auf die Hensenmethode wurde von [Jenkins \(1901\)](#) gemacht, aber Lohmann's Versuche waren zu dieser Zeit noch nicht veröffentlicht.

Danach scheint die Sache hinfällig gewesen zu sein für eine Zeit, obwohl Hensen im Jahr 1912 erneut darauf Bezug nahm und im Jahr 1916 gab Juday einen allgemeinen und sehr nützlichen Überblick über limnologische Geräte.

Während der letzten zehn Jahre (1926-36) ist weitere Arbeit mit dem Saugapparat getan worden und die Methode wurde wahlweise gepriesen oder kritisiert.

Unter den neueren Berichten ist die Arbeit von [Robert \(1922\)](#), der Pumpenfänge mit denen durch das Nansennetz No. 12 vergleicht und aufzeigt, dass weder Netz noch Pumpe gebraucht werden können entsprechend den angezeigten Bedingungen und Erfordernissen. Er zitiert auch Zahlen, die von Hool gegeben wurden und vergleicht Pumpenfänge mit jenen, die mit dem Apsteinnetz gemacht wurden. Soweit wie die negative Kritik der Methode geht, muss darauf hingewiesen werden, dass die Kritiker sich hauptsächlich auf das schwierige Gerät beziehen und die Schwierigkeit bei der Handhabung anstatt der Ungenauigkeit auf Seiten der Pumpe. Das [Problem](#) der Gültigkeit der Fänge ist von Gardiner im Jahr 1931 erwähnt und auch von [Hentschel \(1932\)](#), [Kobuko \(1933\)](#) sowie [Stemann Nielsen \(1935\)](#). Alle drei geben sich ab mit der leidigen Frage des Planktonsammelns.“

Ende des Zitats.

Danach habe ich glücklicherweise einige der von [Gibbons & Fraser \(1937\)](#) zitierten Veröffentlichungen erlangt und kann also Weiteres ausführen.

[Kofoid \(1897 a,b\)](#) sammelte an einem drei Meter tiefen Fluss. In solch einem flachen Gewässer mit wechselnden Wasserständen und Bewuchs mit Unterwasserpflanzen ist es schwierig mit dem konischen Netz zu arbeiten. Er baute einen Seilzug in das Gewässer mit einem vom Grund bis zur Oberfläche schräg gespannten Leitseil, an dem das Netz aufgehängt war. Das Netz wurde im Schrägzug daran entlang gezogen über dreißig Meter. Parallel dazu stellte er eine Pumpe auf ein Ruderboot, verband diese mit einem Schlauch und zog vom Grund bis zur Oberfläche Planktonproben.

Die Ergebnisse aus diesen Untersuchungen veröffentlichte Kofoid im gleichen Jahr in der Zeitschrift Science. Der Vergleich von Netz- und Pumpenfang ergab Netzkoeffizienten von 1,5 bis 5,7 als Maß für den Fehlbetrag im Netz. Das ist erklärlich durch die hohen und stark wechselnden Planktonkonzentrationen im untersuchten Gewässer. Dazu

führte er Netzzüge über unterschiedliche Strecken durch von 5 bis 25 Metern und fand, dass der Netzkoeffizient von 1,5 beim 5 m-Zug auf 4,83 beim 25 m-Zug stieg. 84 bis 96 % eines 30 m-Netzzuges gelangten auf den ersten 15 Metern in das Netz. Das gepumpte Wasser unterwarf er verschiedenen Methoden der Konzentration des Planktons, z. B. mit der Zentrifuge und der Verwendung unterschiedlicher Filter. Danach fand er, dass kleine Algen auch durch die Maschen der Seidengaze hindurchrutschen, also nicht im Netz gefunden werden. Es ist festzuhalten, dass diese Ergebnisse bis heute nicht widerlegt, also nicht falsifiziert worden sind.

[Robert \(1922\)](#) verglich am schweizerischen Lac de Neuchâtel Netzfänge und Pumpenfänge. Er benutzte Planktonnetze verschiedener Herkunft aus Seidengaze, Nr. 12 mit Maschenweiten von 65-80  $\mu$  und Nr. 20 mit Maschenweiten von 33-70, dazu eine Flügelpumpe und eine Pumpe von Hany. Netze der Nummer 12 fingen vor allem große Zooplankter wie Ruderfußkrebse und Wasserflöhe, während die Netze mit der Nummer 20 junge Ruderfußkrebse, Nauplien, Rädertiere und Phytoplankton fingen. Der Einsatz einer Pumpe ergab gute Fänge von Rädertieren und Phytoplankton, während die großen Zooplankter aus der Gruppe der Wasserflöhe nur schwach oder nicht im Fang vertreten waren. In der Methodenbeschreibung gibt [Robert \(1922\)](#) an, dass er zum Pumpenfang einen Schlauch mit einem Durchmesser von 1,5 cm benutzte.

[Gibbons & Fraser \(1937\)](#) verglichen Netzfang und Pumpenfang auf dem Meer und zogen aus ihren Ergebnissen die Folgerungen, dass die Pumpenmethode praktikabel, einfach, genau und erfolgreich für kleine Formen, aber auch für große Formen ist, wenn diese in ausreichender Zahl vorkommen. Der herausragende Vorteil ist die quantitative Arbeit; sie muss nicht teuer sein, es kann leicht gearbeitet werden und die beprobte Tiefe und das gefilterte Volumen sind genau bekannt. Es soll außer Frage sein, dass die Pumpe nicht das Netz voll ersetzen muss. Die Netze mit größeren Maschenweiten, welche riesige Mengen an Wasser filtrieren bei der Suche nach Formen mit geringer Dichte im Raum, besonders Fischlarven, sind nicht zu ersetzen.

[Wiborg \(1948\)](#) arbeitete vergleichend mit dem Clarke-Bupmpus-Sampler, einer Zentrifugalpumpe mit Ansaugschlauch und dem Nansenschließnetz, das einen Durchmesser von 72 cm an der Netzöffnung hatte. Die Planktonpumpe war mit einem zollstarken Ansaugschlauch ausgestattet aus verstärktem Gummi, 38 m lang und lieferte etwa 43 Liter in der Minute. Üblicherweise wurden 500 Liter für jede Tiefenzone gepumpt und gefiltert. Der Clarke-Bupmpus-Sampler filterte 1500-2500 Liter mit dem Netz Nr. 2 (0,366  $\mu$  Maschen-Weite) und Netz Nr. 8 (0,203  $\mu$  MW) sowie 400 – 1500 Liter mit dem Netz Nr. 11

(0,145  $\mu$  MW). Das Nansennetz wurde für vertikale Züge benutzt. Wiborg gibt dem Clarke-Bupmpus-Sampler den Vorzug. Nur im Fall einer heftigen Verstopfung der Netzmaschen sieht er die Pumpe im Vorteil. Die verwendete Pumpe war aber zu gering in ihrer Leistung.

[Barnes \(1949\)](#) bestimmte die Genauigkeit von Volumenmessungen mit einer Planktonpumpe durch Füllung eines Behälters und fand diese befriedigend.

[Aron \(1958\)](#) referiert über die Pumpversuche auf Plankton seit [Hensen \(1887\)](#) und benutzte eine Zentrifugalpumpe mit einer Kapazität von 1533 Liter pro Minute über einen 3-Zoll-Schlauch. Die Pumpenleistung wurde durch Füllung eines Fasses mit bekanntem Volumen bei Messung der Zeit bestimmt. Zum Vergleich zog er ein 0,5 m Netz für zehn Minuten zur gleichen Zeit wie der Pumpenfang. Der Durchflussmesser in der Netzöffnung ergab die Filterung von 200 Kubikmetern Wasser während die Pumpe etwa 15 Kubikmeter filterte. Ausgenommen die Quallen waren die gefangenen Planktonorganismen in gutem Zustand nach dem Durchlauf der Pumpe.

Obwohl die Pumpe im Durchschnitt pro Volumen Wasser mehr Ruderfußkrebse fing als das Netz, blieb eine große Variabilität, die [Aron \(1958\)](#) mit der ungleichen Planktonverteilung im Meer erklärte.

Im gleichen Jahr trug [Elster \(1958\)](#) die Ergebnisse seiner Pumpversuche auf einem See auf einer Tagung vor. Er fand, dass der Ansaugstutzen eine Weite von 2,5 cm haben muss oder er setzte einen Trichter darauf, um die Flucht der Planktonorganismen vor dem Saugstrom zu überwinden. Das wirft ein Licht auf die Ergebnisse von [Robert \(1922\)](#), der einen dünnen Schlauch benutzte.

[Singarajah \(1969\)](#) stellte im Labor Strömungsversuche mit marinen Planktonorganismen an. Planktonorganismen besitzen teilweise gute Fähigkeiten zur Eigenbewegung und ein stetiger Fang war erst bei Strömungsgeschwindigkeiten von >20 cm/s möglich.

[Lenz \(1972\)](#) benutzte eine Vakuumpumpe um Planktonorganismen unbeschädigt zu fangen. Bei einem Vakuum von 95 % kann die Pumpe bis zu 75 l/min leisten. Es gibt aber Reibungswiderstände, wenn ein Teil des Schlauches sich auf der Rolle an Bord befindet und die

Vakuumpumpe leistet dann bei 50 und 60 % Vakuum noch 50 l/min. Für ein Filtrationsvolumen von einem Kubikmeter braucht es also 20 min Pumpenzeit. Das Ende des Ansaugschlauches war mit einem Gewicht von 25 kg beschwert. [Lenz \(1972\)](#) gibt auch einige Daten über die Strömungsgeschwindigkeiten und den Innendurchmesser von Röhren, bei denen Plankter nicht mehr entkommen können. Außerdem zählt er Vor- und Nachteile der Pumpe zum Planktonfang auf: Mit der Pumpe ist es möglich,

kleine Organismen zu fangen,

es gibt keine Verstopfung der Netzmaschen,

es kann in definierten Tiefenbereichen beprobt werden,

das Volumen des gefilterten Wasser kann einfach und verlässlich gemessen werden.

Dagegen stehen einige Nachteile wie

die beschränkte Wassertiefe bis 100 – 200 m wegen der Länge des Schlauches,

das filtrierte Volumen ist klein verglichen mit einem horizontalen Netzfang oder dem Schrägzug,

weiche Organismen wie Quallen und Pfeilwürmer werden leicht beschädigt und

die Pumpe kann nicht mithalten, wenn es darum geht, spärlich vorhandene

Organismen zu fangen. Für letztere wie Fischlarven müssen mehr als hundert

Kubikmeter Wasser filtriert werden.

[Miller & Judkins \(1981\)](#) verglichen die Leistungen des Clarke-Bumpus-Sampler, des Bongonetzes und von unterschiedlichen Pumpentypen. Ihre Pumpe erreichte 800 l/min bis in Tiefen von 85 m.

## **9. Netzkonstruktionen zum Planktonfang durch Fischereibiologen**

[Scofield \(1932\)](#) führte im Jahr 1930 erste Untersuchungen zur Verbreitung der Laichzonen der Pazifischen Sardine oder Pilchards vor der kalifornischen Küste durch, anhand der Anwesenheit von Sardineneiern in Planktonfängen. Zunächst übte er den Vertikalzug, fand aber maximal zehn Eier in einer Probe. Die Eierzahl in einer Probe war wesentlich erhöht auf bis zu zehntausend nach der Durchführung von Horizontalfängen bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von zwei Knoten über 15 Minuten und mit einem Depressorgewicht von 50 pound unter dem Netz. (1 pound = 453,59237 g.) Als weitere Verbesserung versuchte er Stufenfänge in definierten Tiefen, änderte diese aber nach dem Verlust von zwei Netzen um in den kontinuierlichen Schrägzug.

[Schwartz \(1968\)](#) beklagte auf einer Tagung die fehlende Standardisierung bei der Sammlung von Fischeiern und –larven. Außerdem bestehe ein Unterschied zwischen den improvisierten

Geräten, die für die Beprobung von Flussmündungen benutzt werden, aber den gewaltigen Kräften im offenen Meer nicht widerstehen; während die Geräte, die auf ozeanischen Ausfahrten benutzt werden, für den Gebrauch in Flussmündungen zu unförmig und klotzig sind, um diese auf kleinen Booten einsetzen zu können.

[Radovich \(1982\)](#) nimmt einen Rückblick auf die Geschichte der kalifornischen Sardinenfischerei und die damit verbundenen Kontroversen über den Fischbestand und seine mögliche Nutzung durch den Menschen.

Diese Kontroversen, die zwischen dem Kalifornischen Fischereiamt (Department of Fish and Game) und einer Bundesbehörde (National Marine Resources Agency) ausgetragen wurden mit der Fischfangindustrie im Hintergrund, über die Schwankungen der Sardinenbestände und -fänge, waren Anlass, tiefer zu gehen und verstärkt Grundlagenarbeit zu leisten. Als einen Weg hierzu sah man die Möglichkeit, aus der Zahl von Sardineneiern im Meer auf den Bestand der Elterntiere zu schließen. Entscheidend für die Lösung der Kontroverse war der paläontologische Befund von Sardinenschuppen in anaeroben Teilen der Santa Barbara Bucht, welche zeigten, dass es über Jahrzehnte hinweg starke Bestandschwankungen der Sardine gab vor dem Beginn der kommerziellen Fischerei ([Soutar, A. & J. D. Isaacs 1969 and 1974](#)).

[Sumida et al. \(1987\)](#) schreiben, dass der Schrägzug, welcher von [Scofield \(1932\)](#) Anfang der dreißiger Jahre entwickelt worden war, zu standardisieren war: Das Standard CalCOFi -Netz zwischen den Jahren 1949-1969 hatte eine Netzöffnung mit einem Meter Durchmesser und eine Gesamtlänge von 5 m.

Das Netz war genäht aus schwerer Seide mit einer Maschenweite von 0,55 mm nach der Schrumpfung. Die letzten 40 cm des Kegels hatten eine Maschenweite von 0,25 mm nach der Schrumpfung. Seit 1957 wurde Nylon als Netzmaterial verwendet. Die Nylonnetze hatten eine Maschenweite von 0,471 mm für den Netzkörper und 0,280 mm für das Kegelende. Der Netzring war mit drei Zügelleinen über eine Schelle mit dem Zugseil verbunden. Der Planktonfang wurde als Schrägzug bis zu einer Tiefe von 140 m durchgeführt.

Der Durchflussmesser in der Mitte der Netzöffnung wurde vor Beginn und nach dem Ende jedes Zuges abgelesen.

[Ohman & Smith \(1995\)](#) berichten, dass 1969 der Schrägzug von 140 m auf 210 m Tiefe erweitert wurde und 1977 wurde das Netz mit 1,0 m Durchmesser und dem Zaumzeug mit drei Halteleinen ersetzt durch das Bongo-Zwillingsnetz mit 0,77 m Durchmesser. Das Zugseil wurde direkt am Bongorahmen zwischen den beiden Netzen befestigt, so dass die beiden Netzöffnungen von den Zügelleinen und deren störenden Geräuschen frei waren.

Als ich im April 1980 meine Arbeit im FAO-Projekt Asistencia al INAPE in Montevideo antrat, wurde die zylindrisch-konische Netzkonstruktion des Bongo befürwortet, um das Verstopfen der Netzmaschen (=Clogging) zu vermindern. Der Bongo als Zwillingsnetzkonstruktion wurde damals als Standard betrachtet. Als Depressorgewicht konnte ein Bathythermograph angehängt werden, welche die Temperatur aufzeichnet.

Eine ausführliche Darstellung der Vor- und Nachteile für die Genauigkeit beim Sammeln von Fischeiern und –larven geben [Bowles et al. \(1978\)](#).

Fachleute für das Ichthyoplankton haben vor Jahren eingehende Untersuchungen angestellt. Das Verhältnis R von filtrierender Netzfläche zur Fläche der Netzöffnung soll 3,2 betragen, damit eine Filterwirksamkeit von 85 % erreicht wird (Smith et al. 1968). Das Verstopfen der Netzmaschen kann vermindert werden durch das Anbringen eines zylindrischen Netzteilens im vorderen Teil ([Tranter and Heron 1967](#)).

[Brandner et al. \(1993\)](#) zeigten, dass die Geschwindigkeit des in ein Planktonnetz einfließenden Wassers in der Netzöffnung nicht einheitlich ist, vielmehr vom Zentrum zum Rand hin abnimmt. Diese Ergebnisse sind ein entscheidendes Argument für die zylindrisch-konischen Netzkonstruktionen, welche zum Fang von Ichthyoplankton verwendet werden. Der Bongo als Zwillingsrahmen ist ersetzt durch einen Metallrahmen für ein Netz, an dem ein Depressorgewicht und mehrere ozeanographische Messgeräte angebracht sind ([Sameoto 2013](#)). Außerdem ist je ein Durchflussmesser in der Mitte der Netzöffnung und außerhalb der Netzöffnung befestigt. Der Nachteil dieses hochentwickelten Beprobungsgerätes ist sein Gewicht von 782 kg. Es bedarf eines entsprechenden Kranes am Heck des Schiffes und einer fast zentimeterdicken Stahltrasse für seinen erfolgreichen Einsatz.

Der Vergleich der Ablesungen von beiden Durchflussmessern erlaubt die Berechnung des Filtrationskoeffizienten. Liegt dieser unter 85 %, wird die gezogene Probe verworfen.

Das Problem ist die Handhabung von Geräten, um mehr als hundert Kubikmeter Meerwasser auf Fischeier und –larven zu filtrieren.

Anleihen bei der Bongokonstruktion nahm das Doppelschließnetz von [Bürgi \(1983\)](#), das zu zweit auch von kleinen Booten aus auf tiefen Seen benutzt werden kann. Die beiden Netzbeutel sind zylindrisch-konisch gestaltet.

Scofield war nicht der einzige, der den Horizontalfang auf Meeresplankton versuchte, um ausreichende Mengen für die quantitative Bearbeitung zu gewinnen.

Ein Beispiel gibt [Scandifer \(1973\)](#) für zehnfüßige Krebslarven mit dem Clark-Bumpus-Sampler im Vergleich zum Bongogerät. Der Clark-Bumpus-Sampler hat den Vorteil, dass ein

Schließmechanismus eingebaut ist, so dass Proben aus definierten Tiefen gezogen werden können.

Einen breit angelegten Vergleich von Zooplanktonbeprobungssystemen mit Netzen lieferten [Skjoldal et al. \(2013\)](#). Die Autoren verglichen neun Netzkonstruktionen und unterschiedliche Maschenweiten zum Fang von Zooplankton auf dem Meer. Ich nehme hier nur Bezug auf einzelne Ergebnisse. Das WP-2-Netz ist eine zylindrisch-konische Netzkonstruktion. Die Durchlässigkeit des Netzes mit 200 µ Maschenweite betrug 50 %, und sank auf 37 % im Fall des Netzes mit 55 µ Maschenweite. Das Volumen des filtrierten Wasser wurde mit Hilfe eines vorkalibrierten Durchflussmessers erhoben, der ca. 14 cm vom Netzrand aufgehängt war als  $\frac{1}{2}$  Radius. Ein zweiter Durchflussmesser wurde außerhalb des Netzrandes in gleicher Entfernung angebracht. Der Vergleich beider Durchflussmesser inner- und außerhalb der Netzöffnung erlaubte eine Schätzung der Filtrationswirksamkeit. Bei wiederholten Netzzügen mit 200 µ Maschenweite sank diese nicht unter 90 %. Bei Gebrauch von 55 µ Maschenweite sank sie auf 70 %. Maschenweiten von 55, 100, 200 und 400 µ wurden verglichen mit jeweils einem Wiederholungsnetzzug. Netze mit größeren Maschenweiten fingen die größeren Plankter, während in den Netzen mit kleinen Maschenweiten die Biomasse der kleinen Plankter dominierte und die größeren Plankter fehlten. Einestils können Organismen wegen ihrer Fähigkeit sich zusammenzudrücken und durch die Netzmaschen rutschen (Extrusion). Auf der anderen Seite werden größere Plankter durch optische oder akustische Signale alarmiert und weichen aus. Die Maschengrößen wirken beim Fang sehr selektiv auf die Planktonarten, was die Befunde älterer Autoren bestätigt. Es bleibt das Problem der Planktonbeprobung in flachen Küstengewässern, Flussmündungen und Seen.

## **10. Weitere Vergleiche von Geräten zum Zooplanktonfang**

Versuche mit großen Pumpen gab es weiter auf dem Meer. [Taggart & Leggett \(1984\)](#) erprobten die Wirksamkeit einer Planktonpumpe für große Volumina auf einem kleinen Boot in Küstengewässern Kanadas und heben hervor, dass die Pumpe bei hohen Planktondichten besser arbeitet.

[Dixon & Robertson \(1986\)](#) sowie [Nayar et al. \(2002\)](#) pumpten Plankton in tropischen Flussmündungen und fanden keine Unterschiede zum Netzfang. Dagegen stellten [Mohlenberg \(1987\)](#) im dänischen Kattegatt und [Riccardi \(2010\)](#) in der venezianischen Lagune eindeutige Unterschiede beim Vergleich von Pumpenfang und Netzfang auf Zooplankton fest.

Möglicherweise hängen solche Unterschiede auch von der Jahreszeit ab. Während der Trockenzeit führen tropische Flüsse wenig Nährstoffe mit.

Eingehende Beschreibungen zur Theorie und Praxis der Zooplanktonbeprobung in Küstengewässern gaben [Miller & Judkins \(1981\)](#) sowie [Powlik et al. \(1991\)](#) mit einer Pumpe auf dem Schiffsdeck oder mit einer elektrischen Tauchpumpe sowie der Filtration und Volumenmessung auf dem Schiffsdeck. [Miller & Judkins \(1981\)](#) fanden mit ihrer Ausrüstung Unterschiede im Fördervolumen in Abhängigkeit von der Tiefe wegen der erhöhten Reibung durch einen längeren Schlauch: 1380, 1070 und 830 Liter pro Minute aus jeweils 1, 30, und 90 m Tiefe. Zur Bewältigung der Arbeiten an Bord des Schiffes waren fünf Arbeitskräfte nötig. Eine sechste Person stand bereit als Reserve. [Powlik et al. \(1991\)](#) gaben weitere Vorschläge zur Organisation des Pumpenfangs auf Zooplankton. Zur Vermeidung von Reibungen im Schlauch kann dieser in handliche Teillängen gestückelt werden, die Autoren äußerten sich aber besorgt wegen Verlusten durch undichte Verschlüsse. Mitarbeiter von nordamerikanischen Kraftwerken führten mehrfach Pumpversuche zur Erfassung des Zooplanktons durch ([Icanberry & Richardson 1972](#); [Yocum et al. 1974](#); [Evans et al. 1986](#)). Auffallend ist die Sorgfalt, welche von Fischereiwissenschaftlern und Ingenieuren der Technik in ihren Veröffentlichungen aufgewandt wird, während Universitätsbiologen sich meist auf die Erwähnung des Vertikalzuges mit einem konischen Netz beschränken. So ich quantitativ arbeite, tue ich gut daran, mich um die Technik zu kümmern und pflege deshalb gerne Austausch mit Fischereitechnikern und Ingenieuren. Leider wird die Schulung hinsichtlich der technischen Hintergründe von limnologischen Arbeitsgeräten in der Biologenausbildung recht stiefmütterlich behandelt.

Seit 1958 gab es in Mitteleuropa nur die Veröffentlichung von [Lenz \(1872\)](#) über das Pumpen von Zooplankton.. Meine Artikel in Österreichs Fischerei waren ohne Peer-review und gelten als graue Literatur ([Keim & Hönig 1993](#); [Keim 1996](#) und [Keim et al. 1997](#)). In Bruchsal haben Josef Hönig und ich beim Pumpenfang auf Zooplankton den Schlauch durch Meterrohre ersetzt. Diese stammen aus dem Baumarkt, wurden für den Abwasserbereich gefertigt, haben einen Innendurchmesser von 4,5 cm, und sind zusammengesteckt genau einen Meter lang. Die Rohre werden mit Hilfe einer Leine zusammengehalten, dafür wird um jedes Rohr ein Mastwurf gelegt. Zunächst benutzte ich eine Pumpe mit Zweitaktermotor. Dann besorgte ich mir von der Firma Prokosch in Östringen-Odenheim eine Pumpe mit Viertaktermotor, die sehr zufriedenstellend arbeitete. Die Steighöhe kann hier vernachlässigt werden, weil die Pumpe nicht höher als einen Meter über dem Wasserspiegel auf dem Boot stand. Das Volumen des Wassers wurde bei Füllung eines markierten Eimers und der

Stoppuhr gemessen. Das Planktonnetz zur Filtration des Zooplanktons hing seitlich am Boot mit der Netzöffnung zehn Zentimeter über der Wasseroberfläche. Der Wasserstrahl von der Pumpe wurde mit Hilfe eines Schlauches schräg in das Netz gelenkt.

Ich füge noch eine grundsätzliche Überlegung bei. Will ich aus einer Suspension von festen Teilen das Wasser abtrennen, so gieße ich üblicherweise eine abgemessene Menge der Suspension in einen Trichter, auf dem sich ein Filter befindet. Dann kann ich die festen Teile auf dem Filter auszählen, messen und aus dem Gewicht des Filterbeschlages und dem filtrierten Volumen die Konzentration der festen Teile im Wasser berechnen. Entsprechend verfare ich beim Pumpen von See- oder Meerwasser und der Filtration des gepumpten Wasser auf dem Schiff.

Ziehe ich aber ein Netz durch den See oder das Meer, so erlebe ich bald die Verstopfung der Maschen. Die Folge solcher Verfahrensweisen ist eine hohe Streuung in den Ergebnissen und es bleibt bei einer beschreibenden Bearbeitung.

Also stehe ich vor dem Problem der Volumenmessung mit Hilfe eines Durchflussmessers. Dazu gibt es Kollegen, welche auf den Durchflussmesser verzichten und das filtrierte Volumen aus der Fläche der Netzöffnung und der Höhe des Netzzuges berechnen. Das hat eine Unterschätzung der Zooplanktonmenge zur Folge, weil wegen des bremsenden Netzmaterials nicht alles Wasser in das Netz eintritt, welches beim Netzzug vor die Netzöffnung gerät. Zusätzlich können Planktonorganismen die Netzmaschen in einer nicht berechenbaren Weise verstopfen. [McQueen & Yates \(1993\)](#) zählten in einer Literaturdurchsicht, dass 53 % der Autoren zum Planktonfang das Netz benutzen. Nur 30 von 129 Untersuchungen, bei welchen das Planktonnetz im Gebrauch war, setzten einen Durchflussmesser in die Netzöffnung. Der Anteil von 23 % schwankte nicht über den erfassten Zeitraum von 1980 bis 1991.

Der gleiche Vorgang läuft ab, wenn ich im Labor ein Sieb durch eine Suspension von festen Körpern in einer wässrigen Lösung ziehe und die zuverlässige Bestimmung der Konzentration der festen Körper im Wasser wird fraglich wegen der Verstopfung der Siebmaschen durch die festen Körper, gleich ob diese lebendig oder nicht lebendig sind. Also gieße ich die Suspension in einen Trichter, der mit einem Filterpapier versehen ist.

[Porep \(1972\)](#) zieht für die Frühzeit der Planktologie einen Vergleich zwischen Haeckel und Hensen. Beide waren von der Ausbildung her Mediziner und beide bearbeiteten Meeresplankton aber unter völlig verschiedenen Gesichtspunkten. Haeckel widmete sich der Beschreibung von Arten und der vergleichenden Abstammungslehre. [Hensen \(1987\)](#)

konstruierte das erste konische Netz zum Planktonfang, vermaß die Maschen im Netz und berechnete anhand physikalischer Formeln wie viel Wasser durch die Netzmaschen fließen kann. Er bearbeitete Planktonorganismen unter dem Gesichtspunkt, wie viel diese zur Produktion im Meer und damit zur Ertragskraft beitragen.

Die Hartnäckigkeit, mit welcher die Pumpversuche von [Pace \(1986\)](#) von den Kollegen nicht erwähnt wird, erstaunt den Leser. Alle möglichen Einzelheiten werden in mehr als hundert Veröffentlichungen später aus [Pace \(1986\)](#) zitiert, aber selten das Pumpen durch [Pace \(1986\)](#). Hat [Peters \(1991\)](#) wirklich recht, wenn er den Bearbeitern von Ökosystemen vorwirft, dass sie mehr Naturgeschichte als Ökologie betreiben?

Ist die Kontroverse zwischen dem Systematiker Haeckel und dem Methodiker Hensen heute noch lebendig? [Peters \(1991\)](#) nimmt keinen Bezug auf den Methodenstreit von 1891 zwischen Haeckel und Hensen. Ich erlaube mir Parallelen zu sehen. Systematische Arbeit als Beschreibung an Arten hat an Bedeutung abgenommen, aber in der Ausbildung von Biologen gehört der Bestimmungskurs in die ersten beiden Semester. Solche Bestimmungskurse werden oft von Biologen durchgeführt, die naturgeschichtlich arbeiten, z. B. Lebensläufe von Tieren untersuchen und beschreiben. Es sind Fachleute, die sich voll auf ihre Organismen konzentrieren und die nötige Technik wie Mikroskopeinrichtung und Fanggeräte als gegeben ansehen. Physiologen und Fischereitechniker suchen durch Verbesserung der Arbeitsgeräte Einsicht in Zusammenhänge zu gewinnen. So ich als Biologe im Rahmen einer Auftragsarbeit Plankton ziehe und bearbeite, sehe ich mich vor der Erwartung des Auftraggebers, dass ich Voraussagen erstelle. Die Erstellung von Voraussagen ist eine zentrale Forderung von [Peters \(1991\)](#) an seine Kollegen. Dafür muss ich hohe Streuungen in den Ergebnissen vermeiden. Also suche ich den Kontakt und den Austausch mit Technikern und Ingenieuren, um meine Arbeitsgeräte zu verbessern.

## **11. Filtration von Wasserproben im Labor**

[Goldman & Dennett \(1985\)](#) fanden, dass die Zellwand von gewissen Algenarten beschädigt wird, wenn bei der Vakuumfiltration Druckunterschiede vorkommen und gespeicherte Nährstoffe ins Filtrat freigesetzt werden.

[Taylor & Lean \(1991\)](#) erwähnten, dass ein bedeutender Teil des Nanoplanktons empfindlich ist bezüglich einer Schädigung während der Filtration, so dass in der Folge der Anteil des gelösten Phosphors überhöht sein kann.

Zur Vermeidung solch einer Fehlerquelle filterten [Mazumder and Lean \(1994\)](#) ihre Wasserproben von Enclosureversuchen mit wenig Vakuum, um die Beschädigung des Planktons zu vermeiden und fanden, dass bei Anwesenheit von Planktivoren der größere Teil des Phosphors in der partikulären Fraktion vorhanden war, während bei Anwesenheit von Piscivoren im Enclosure der Phosphor hauptsächlich in der gelösten Fraktion gefunden wurde.

Den gleichen Sachverhalt fanden [Hönig & Keim \(1993\)](#) nach Verwendung des hydrostatischen Druckes für die Filtration von Seewasser, drückten ihn aber mit anderen Worten aus. Den Anteil des TDP im Gesamtphosphor nenne ich hier das TDP/TP-Verhältnis, ausgedrückt als Prozentzahl.

Zur Vermeidung der besagten Fehlerquelle ging die Arbeitsgruppe um Mazumder später dazu über, für ihre Forschungsprojekte über die Sedimentation von Algen und die Elimination von Phosphor aus dem Epilimnion die Filtration über den hydrostatischen Druck zu verwenden ([Larocque et al. 1996](#)).

Diese Technik wurde auch von der folgenden Arbeitsgruppe um [Hudson et al. \(2001\)](#) an experimentellen Seen in Kanada so geübt.

Autoren wie Mazumder und Hudson benutzen eine fraktionierte Filtration mit unterschiedlichen Porengrößen um den Nährstoffgehalt von unterschiedlich großen planktischen Algen zu messen. Dagegen übten [Kiene and Slezak \(2006\)](#) nur einen Filtrationsschritt, um die Konzentration von DMSP im Meerwasser zu messen. Sie zeigten, dass die genaue Messung von der sorgfältigen Durchführung der Filtration abhängt und gelangten zu völlig anderen Ergebnissen als frühere Bearbeiter.

[Baca & Drenner \(1995\)](#) sowie [Meijer & Hoesper \(1997\)](#) verwenden die Länge des Zooplanktons und den Anteil der piscivoren Fische im Fischbestand, die Biomasse von Daphnia wird von [Redfield & Goldman \(1978\)](#), [Carpenter et al. \(1987\)](#), [McQueen & Post \(1988\)](#), [Benndorf et al. \(2000\)](#) gemessen und berechnet bei der Bewertung von Nahrungsnetzen in der Planktonforschung.

Aber Zooplanktonlänge, Daphniabiomasse und der Anteil von Piscivoren sind biologische Parameter und ihre Grenzen sind wenig bekannt. In einigen Forschungsprojekten wurde die Filtration über den hydrostatischen Druck benutzt, aber die Filtration wurde über mehrere Stufen mit Filtern verschiedener Porengröße bewerkstelligt und nur für Forschungszwecke ([Hudson et al. 2001](#); [Larocque et al. 1996](#)).

Kiene und seine Mitarbeiter arbeiteten mehrere Jahre lang an der Verbesserung der Filtrationsmöglichkeiten für Meeresalgen vor der Messung von Dimethylsulfoniopropionate

(DMSP) im Filtrat von Meerwasser. DMSP ist eine flüchtige Substanz, die von Meeresalgen produziert und nach dem Absterben der Algen frei wird. Das Abbauprodukt Dimethylsulfide (DMS) gelangt als Gas in die Atmosphäre über der Meeresoberfläche. Seevögel riechen diesen Stoff und seine unterschiedlichen Konzentrationen und finden danach ihre Nahrungsgründe im Meer. Außerdem wird dem DMS eine Rolle bei der Reduzierung der Sonneneinstrahlung auf die Erde zugeschrieben. [Kiene and Slezak \(2006\)](#) zählen einige Umstände auf, welche die Freisetzung von DMSP aus den Algenzellen beim Filtrationsvorgang verursachen kann.

Filtration von relativ großen Mengen Probenwasser >30 ml und bis zu einem Liter

Filtration mittels einer Spritze

In-line Filter (Reihenfilter)

Hohe Belastung durch Scherung typisch in Pumpsystemen

Kontakt mit Luft am Ende der Filtration

In welchem Maße solche Einflüsse bei einer Filtration auf das Freisetzen von Phosphor und seinen Verbindungen aus den planktischen Algen und Bakterien in einer Wasserprobe wirken, ist nicht näher untersucht. Als ich Anfang der neunziger Jahre die Schwerkraftfiltration von Probenwasser aus Binnenseen lernte, wurden Josef Hönig und ich einig für Einschränkungen wie eine maximale Fallhöhe für das zu filtrierende Wasser von einem Meter und maximal 300 ml Volumen. Für Wasser aus eutrophen Seen war eher weniger Wasservolumen für einen Filter, z. B. nur 100 ml anzuwenden, um eine Verstopfung des Filters zu vermeiden.

Ich denke, es lohnt einen Blick auf die Ergebnisse der Technik bezüglich Filterung zu werfen. [Hermia \(1985\)](#) schreibt, dass ein Feststoff oder Partikel, der auf eine Pore des Filtermediums trifft, diese Pore blockiert. Bei der zufälligen Verteilung der Partikel im Porenwasser kann ein Partikel auf einen anderen Partikel treffen, der bereits auf einer Pore liegt. Diese Vorgänge sind mathematisch erfassbar. Das Netzgewebe wird hier nicht berücksichtigt. Sofern nicht mehr Partikel im Probenwasser sind als Poren auf dem Filtermedium, bleiben immer noch Poren frei, durch welche Wasser fließen kann.

Bei einer Unterdruckfiltration wird das Porenwasser voll abgesaugt, so dass der Filter und sein Beschlag mit Partikeln trocken fällt. Das Trockenfallen bedingt den Kontakt mit der Luft

und das Abschalten der Wasserstrahlpumpe oder des elektrischen Absauggerätes verursachen den plötzlichen Druckunterschied.

In der Laborpraxis mit Probenwasser aus Seen wird eine Membran mit  $0,45\ \mu$  Porenweite als Filter benutzt, die in die Filterkammer gelegt wird. Das Probenwasser wird in einen Trichter eingefüllt, der über einen Schlauch mit der Filterkammer verbunden ist. Die Fallhöhe beträgt maximal einen Meter, bei der das Wasser aus der Filterkammer in das Auffanggefäß tropft. Bei anderthalb Meter Fallhöhe rinnt das Wasser. Sobald der Schlauch leer ist und das Tropfen aufhört, wird die Filterkammer geöffnet. Der Filter wird mit einer flachen Pinzette entnommen und in ein verschließbares Gefäß zur Oxidation überführt. Druckunterschiede beim Filtrieren geschehen also langsam und auf der Filtermembran bleibt eine dünne Schicht Wasser. Es mag Bedenken geben, weil ich nicht beide Filtrationsmethoden verglichen hatte. Ich habe mein Labor aus meinen eigenen privaten Mitteln finanziert. Als freiberuflicher Sachverständiger bin ich verpflichtet, den Stand der Technik zu berücksichtigen. Die Meinungsverschiedenheiten über Pumpen oder Netzzug und über Schwerkraftfiltration oder Unterdruckfiltration sind alt, ziehen sich bereits seit Jahrzehnten hin. Je nach Gewässer kann unterschiedlich vorgegangen werden. Probenwasser aus Fließgewässern des Rithrals kann bedenkenlos mit dem Unterdruck gefiltert werden, weil die schwebenden Partikel im Bachwasser aus Detritus bestehen. Das habe ich erfolgreich im Pfinzprojekt getan. Bei der Beprobung der Pfinz kam ich eines Tages an einen Staubereich, wo eine Algenblüte im Gange war. Das Filtrat aus dieser Wasserprobe war nicht klar, sondern weiter trüb und die Trübung wurde erst durch die Schwerkraftfiltration beseitigt. Probenwasser aus Seen, Staubereichen, und dem Potomal enthalten lebendes Plankton.

## 12. Literaturverzeichnis:

Die Veröffentlichungen, welche ich nach Gibbons und Fraser (1937) zitiere, sind noch über die Fernleihe zu bestellen.

[http://www.p-fraktionen.de/Home-Deutsch/Fachliches/Buchtzigsee/Plankton/Zooplanktonbeprobung\\_27\\_Juni\\_2013.pdf](http://www.p-fraktionen.de/Home-Deutsch/Fachliches/Buchtzigsee/Plankton/Zooplanktonbeprobung_27_Juni_2013.pdf)

[http://www.p-fraktionen.de/Home-Deutsch/Fachliches/Buchtzigsee/Konzept\\_2016/konzept\\_2016.html](http://www.p-fraktionen.de/Home-Deutsch/Fachliches/Buchtzigsee/Konzept_2016/konzept_2016.html)

<http://www.p-fraktionen.de/Home-Deutsch/Fachliches/Zuflucht/zuflucht.html>

Aron, W. 1958. The use of a large capacity portable pump for plankton sampling, with notes on plankton patchiness. University of Washington, Department of Oceanography, Technical Report No. 59, 1-23.

Baca, Robert M., Ray W. Drenner, 1995. Do the effects of piscivorous largemouth bass cascade to the plankton? *Hydrobiologia* 316, 139-151.

Barnes, H., 1949. A statistical study of the variation in vertical plankton hauls, with special reference to the loss of the catch with divided hauls. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 28: 429-446.

Benndorf, Jürgen, Björn Wissei, Anne K. Sell, Uwe Hornig, Pia Ritter & Wiebke Böing, 2000. Food web manipulation by extreme enhancement of piscivory: an invertebrate predator compensates for the effects of planktivorous fish on plankton community. *Limnologia* 30, 235-245.

Bowles, R. R., John V. Merriner and George C. Grant, 1978. Factors associated with accuracy in sampling fish eggs and larvae. Special scientific report; no, 89. Virginia Institute of Marine Science, College of William and Mary. <http://dx.doi.org/doi:10.21220/m2-5hjz-km96>.

Brander, Keith M., Stephen 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.

Bürgi, Hans-Rudolf, 1983. Eine neue Netzgarnitur mit Klipp-Schliessmechanismus für quantitative Zooplanktonfänge in Seen. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie* 45. Jg., Nr. 2, 505-507.

Carpenter, Stephan, R., James, F. Kitchell, James R. Hodgson, Philip A. Cochran, James J. Elser, Monica M. Elser, David M. Lodge, Donald Kretchmer, X. He and Carl N. von Ende, 1987. Regulation of Lake Primary Productivity by food web structure. *Ecology* 68, 1863-1876.

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 for the assessment of secondary productivity in fresh waters (eds. Downing John A. & Rigler Frank H.) IBP Handbook 17. Blackwell Scientific Publications. Oxford, London, Edinburgh, Boston, Melbourne, p. 59-86.

Descartes, René. *Regulae ad directionem ingenii*. Erstdruck Glasemaaker. Amsterdam 1684- Kritisch revidiert, übersetzt und herausgegeben von Springmeyer, Gäbe, Zekl. Felix Meiner Verlag, Hamburg 1973.

Dixon, Paul and A. I. Robertson, 1986. A compact, self-contained zooplankton pump for use in shallow coastal habitats: design and performance compared to net samples. *Marine Ecology – Progress Series* 32: 97-100.

Elster, Hans-Joachim, 1953. Einige Beiträge zur quantitativen Planktonmethodik. *Berichte der Limnologischen Flusstation Freudenthal*. IV, 27-29.

Elster, Hans Joachim, 1958. Zum Problem der quantitativen Methoden in der Zooplankton-forschung. *Verhandlungen des Internationalen Vereins für Limnologie* XIII: 961-973.

Evans, Marlene S., Glenn J. Warren and Donna I. Page, 1988. The effects of power plant passage on zooplankton mortalities: eight years of study at the Donald C. Cook nuclear plant. *Water Research* 20: 725-734.

Frenzel, J., 1897. Zur Planktonmethodik. *Biologisches Centrblatt* Bd. 17: 1897.

Gibbons, S. G. and H. J. Fraser, 1937. The centrifugal pump and suction hose as a method of collecting plankton samples. *Journal du Conseil international pour l'Exploration de la Mer* 12 (2), 155-170.

Goldman, J. C. and M. R. Dennett, 1985. Susceptibility of some marine phytoplankton species to cell breakage during filtration and post-filtration rinsing. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 96: 47-58.

Hanson, J. M. and R. H. Peters, 1984. Empirical prediction of crustacean zooplankton biomass and profundal macrobenthos biomass in lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 41: 439-445.

Havens, Karl E. and J. R. Beaver, 2011. Composition, size, and biomass of zooplankton in large productive Florida lakes. *Hydrobiologia* 668: 49-60.

Hensen, V. 1887. Ueber die Bestimmung der Planktons oder des im Meer treibenden Materials an Pflanzen und Tieren. Bericht der Kommission zur Wissenschaftlichen Untersuchungen der Deutschen Meere XII. B. XVI. Jahrg. 1887. Zitiert nach Gibbons and Fraser (1937).

Hensen, V. 1912. Zur Feststellung der Unregelmässigkeiten in der Verteilung der Planktonen. Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen Abteilung Kiel. N. F. Bd. 14:

Hentschel, E., 1932. Wissenschaftliche Ergebnisse der deutschen Atlantischen Expedition „Meteor“ 1925-1927. Die Biologischen Methoden und das Biologische Beobachtungsmaterial der Meteor Expedition. Wissenschaftliche Ergebnisse der deutschen Atlantischen Expedition „Meteor“ 1925-1927. Bd. 10.

Hermia, 1985. Blocking filtration: application to non-Newtonian fluids. In: Mathematical models and design methods in Solid-liquid separation. Editor: A. Rushton. Martinus Nijhoff Publishers Dordrecht. Boston. Lancaster.

Hernandez Jr. F.J., L. Carassou, S. Muffelman, S. P., Powers, W. M. Graham, 2011. Comparison of two plankton net mesh sizes for ichthyoplankton collection in the northern Gulf of Mexico. Fisheries Research 108. 327-335.

Hudson, Jeff J, William D. Taylor, Donald J. McQueen & Keith M. Somers, 2001. Phosphorus in pelagic food webs. Archiv für Hydrobiologie, Special Issues: Advances in Limnology 56: 211-225.

Icanberry, John W. & Roland W. Richardson, 1973. Quantitative sampling of live zooplankton with a filter-pump system. Limnology and Oceanography 18. 333-335.

Jenkins, J. T., 1901. Methods and Results of German Plankton Investigations. Transactions of the Liverpool Biological Society Bd. 15.

Kamarainen, Amy M., Freya E. Rowland, Reinette Biggs,, Stephen Carpenter, 2008. Zooplankton and the total phosphorus – chlorophyll a relationship: hierarchical Bayesian analysis of measurement error. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 65: 2644-2655.

Kiene, Ronald P. and Doris Slezak, 2006. Low dissolved DMSP concentrations in seawater revealed by small-volumed gravity filtration and dialysis sampling. Limnology and Oceanography Methods 4: 80-95.

Kofoed, C.A., 1897. Plankton Studies I. Methods and Apparatus in use in Plankton Investigations at the Biological Experimental Station, University of Illinois. Bull. 3 State Lab. Nat. Hist. Bd. 5.

Kofoed, C.A., 1897. On some important sources of error in the plankton methods. Science, .N. S. Bd. 6.

Kokubo, S., 1933. Plankton pump in which the winding of the tow-line and suction tubing is made automatically. Bull. Jap. Soc. Scientif. Fish. Bd. 1, No. 6.

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

Lenz, J. 1972. A new type of plankton pump on the vacuum principle. *Deep-Sea Research* 19: 453-459.

Li Chengxuan, Yang Guipeng, Pan Jinfen, and Zhang Hoenghai, 2010. Experimental studies on dimethylsulfide (DMS) and dimethylsulfoniopropionate (DMSP) production by four marine microalgae. *Acta Oceanologica Sinica* 29: 78-87.

Lohmann, R., 1902. *Neue Untersuchungen über den Reichtum des Meeres an Plankton*. Wissen. Meeresuntersuchungen Kiel, Bd. 7.

McQueen, Donald J. & John R. Post, 1988. III. Lakes. 8. Mesocosms. Limnocorral studies of cascading trophic interactions. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Verhandlungen* 23: 739-747.

McQueen, Donald J. & Yan, Norman D., 1993. Metering filtration efficiency of freshwater zooplankton hauls: reminders from the past. *Journal of Plankton Research* 15, no. 1, 57-65.

Meijer, Marie-Louise & Harry Hosper, 1997. Effects of biomanipulation in the large and shallow Lake Wolderwijd, The Netherlands. *Hydrobiologia* 342/343: 335-349.

Miller, Charles B. and David C. Judkins, 1981. Design of pumping systems for sampling zooplankton, with descriptions of two high-capacity samplers for coastal studies. *Biological Oceanography* 1, 29-56.

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

Nayar, S., B.P. L. Goh, and L. M. Chou, 2002. A portable, low-cost, multipurpose, surface-subsurface plankton sampler. *Journal of Plankton Research* 24: 1097-1105.

Nielsen, E. Steemann, 1895. Eine Methode zur exakten quantitativen Bestimmung von Zooplankton. *Journ. Du Conseil Int.*, Bd. 10, No. 3.

Ohman, M. D. and P. E. Smith, 1995. A comparison of zooplankton sampling methods in the CalCOFI time series. *CalCOFI Rep.* 36: 153-158.

Pace, M. L. 1986. An empirical analysis of zooplankton community size structure across lake trophic gradients. *Limnology and Oceanography* 31: 45-55.

Radovich, J. 1982. The Collapse of the California Sardine Fishery. What Have We Learned? *CalCOFI Rep.*, Vol XXIII, p. 56-78.

Porep, Rüdiger, 1972. Methodenstreit in der Planktologie—Haeckel contra Hensen. Auseinandersetzung um die Anwendung quantitativer Methoden in der Meeresbiologie um 1890. *MedizinJournal* Bd 7, 72-83.

Powlik, James J., Michael A. St. John, Robert W. Blake, 1991. A retrospective of plankton pumping systems, with notes on the comparative efficiency of towed nets. *Journal of Plankton Research* 13, 901-912.

Redfield, Garth W. & Charles R. Goldman, 1978. Diel vertical migration and dynamics of zooplankton biomass in the epilimnion of Castle Lake, California. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Verhandlungen* 20: 381-387.

Robert, H., 1922. L'employ du filet et de la pompe dans les pêche de plancton. *Annales de Biologie, lacustre* Bd. 11, Fasc. 3 and 4. Bruxelles.

Sameoto, D. D. 1983. Micronekton Sampling using a New MultipleNet Sampler, the BIONESS, in Conjunction with a 120 kHz Sounder. *Biological Oceanography*, 2: 2-4, 179 -198. <https://doi.org/10.1080/01965581.1983.10749457>

Sandifer, P. A. 1973. Distribution and abundance of decopod crustacean larvae in the York River estuary and adjacent lower Chesapeake Bay, Virginia, 1968-1969. *Chesapeake Science* 14, 235-257.

Schwartz, F. J. 1968. An Assessment of Egg, Larvae, and Juvenile Fish Research Needs and Problems, with Comments on Research at the University of North Carolina Institute of Marine Sciences. *Proceedings on a Workshop on Egg, Larvae, and Juvenile Stages of Fish in Atlantic Coast Estuaries*. p. 7-11. Edited by Anthony L. Pacheco, Held at Bears Bluff Laboratories Wadmalaw Island, South Carolina.

Schwoerbel, Jürgen, 1980. *Methoden der Hydrobiologie. Süßwasserbiologie*. G. Fischer, Stuttgart.

Scofield, E. C. 1932. Early Life History of the California Sardine (*Sardina caerulea*), with Special Reference to Distribution of Eggs and Larvae. *Fish Bulletin* No. 41. Division of Fish and Game of California, Bureau of Commercial Fisheries.

Singarajah, K.V., 1969. Escape reactions of zooplankton: the avoidance of a pursuing siphon tube. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 3, 171-178.

Skjoldal, Hein Rude, Peter H. Wiebe, Lutz Postel, Tor Knutsen, Stein Kaartvedt, Douglas D. Sameoto, 2013. Intercomparison of zooplankton (net) sampling systems: Results from the ICES/GLOBEC sea-going workshop *Progress in Oceanography* 108, 1.42.

Smith, Paul E., Robert C. Counts, & 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.

Soutar, A. and J. D. Isaacs 1969. History of fish populations inferred from fish scales in anaerobic sediments off California. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, No. 13, 63-70. Zitiert nach Radovich 1982.

Soutar, A. and J. D. Isaacs 1974. Abundance of pelagic fish during the 19<sup>th</sup> and 20<sup>th</sup> centuries as recorded in anaerobic sediment off the Californias. *Fishery Bulletin U. S.* 72: 257-273. Zitiert nach Radovich 1982.

Sumida, B. Y., R. L. Charter, H. G. Moser, D. L. 'Snow, 1987. Ichthyoplankton and Station Data for California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Survey Cruises in 1957. *NOAA Technical Memorandum NMFS*, September 1987 p. 1-221.

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

Taggart, Christopher, T., & 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.

Wiborg, K. F. 1948. Experiments with the Clark-Bumpus Plankton Sampler and with a Plankton Pump in the Lofoten Area in Northern Norway. *Reports on Norwegian Fishery and Marine Investigations* Vol IX, No. 2, 1-31.

Yocum, William L., Marlene S. Evans and Bethany E. Hawkins, 1978. A comparison of pump sampling systems for live zooplankton collection. *Hydrobiologia* 60: 199-202.