

# Projekt Zooplankton - Länge, Volumen, Masse -

Bericht des Instituts für Seenforschung



# Projekt Zooplankton

## - Länge, Volumen, Masse -

 Bericht des Instituts für Seenforschung

<b>HERAUSGEBER</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden Württemberg
<b>BEARBEITUNG</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden Württemberg G. Maier, H.B. Stich
<b>REDAKTION</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden Württemberg Institut für Seenforschung Langenargen
<b>BEZUG</b>	Die Broschüre ist kostenlos erhältlich Download unter: <a href="http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de">www.lubw.baden-wuerttemberg.de</a>
<b>ISSN</b>	1437-0166
<b>STAND</b>	April 2012



Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>07</b>
<b>1. EINLEITUNG</b>	<b>08</b>
<b>2. BIOMASSE ROTATORIA</b>	<b>10</b>
<b>3. TROCKENMASSE CRUSTACEA</b>	<b>15</b>
3.1. Cladocera	15
3.2. Copepoda	19
<b>4. BIOVOLUMEN VS. TROCKENMASSE</b>	<b>23</b>
<b>5. TROCKENMASSE STADIEN</b>	<b>25</b>
<b>6. VERGLEICH DER TAXA</b>	<b>25</b>
<b>7. GENAU VS. UNGENAU</b>	<b>26</b>
<b>8. HOCHRECHNUNG VS. WÄGUNG</b>	<b>27</b>
<b>9. DER EINFLUSS DES PROBENAHME-ZEITRAUMS</b>	<b>28</b>
<b>10. TGL SCHWELLEN</b>	<b>29</b>
<b>11. TROCKENMASSE VS. ABUNDANZ</b>	<b>31</b>
<b>12. FAZIT TROCKENMASSE</b>	<b>32</b>
<b>13. SCHLUSSWORT</b>	<b>33</b>
<b>14. DANKSAGUNG</b>	<b>34</b>
<b>15. LITERATUR</b>	<b>34</b>



# Zusammenfassung

Der Parameter „Biomasse“ wird oft bei der Bewertung von Seen benutzt.

Aus Monitoringproben berechnete Trockenmassen und Volumina können nur Abschätzungen sein.

Die Berechnung von Trockenmasse und Volumen erfolgt als Produkt aus der gezählten bzw. hochgerechneter Anzahl von Individuen mit einem Faktor, der entweder der mittleren Trockenmasse oder dem mittleren Volumen eines Individuums entspricht.

Der Fehler bei der Bestimmung der Individuenzahl wird durch die Methoden von Probenahme und Auszählung beeinflusst. Er kann erheblich sein.

Bei der Bestimmung der Trockenmasse können Fehler aus unterschiedlichen Messvorschriften für die Längenmessungen, aus der Längenmessung selbst und aus der Wahl ungeeigneter Regressionsgleichungen resultieren.

Auch bei der Bestimmung des mittleren Volumens können Fehler bei der Auswahl des „ähnlichsten“ geometrischen Körpers und ungenauen Längenmessungen auftreten. Bei der Gleichsetzung von Volumen und Trockenmasse können Fehler auf nicht berücksichtigten Zelleinschlüsse und skelettösen Strukturen beruhen.

Der Anteil von Eimassen am Trockengewicht ist meist sehr klein. Ihre Berücksichtigung ist nur bei entsprechender Themenstellung erforderlich.

Die Bildung von Größenklassen zur verbesserten Massenbestimmung ist bei entsprechender Fragestellung sinnvoll, wobei die genaueste Bestimmung sicherlich aus einer direkten Längenmessung der Organismen resultiert.

Bei einer Bewertung nach TGL 27885/01 ([http://de.wikipedia.org/wiki/Technische\\_Normen,\\_Gütevorschriften\\_und\\_Lieferbedingungen](http://de.wikipedia.org/wiki/Technische_Normen,_Gütevorschriften_und_Lieferbedingungen)) sind die Trophieeinstufungen der untersuchten Seen aus „genauer“ und „ungenauer“ Bestimmung der Trockenmasse identisch.

In oligo- und mesotrophen Seen stimmen die berechneten Werte für Trockenmasse relativ gut mit den Werten überein, die durch Wiegen und Trocknen erzielt wurden. In eutrophen Seen unterscheiden sich die Werte beider Methoden. Für den Vergleich von jährlichen Mittelwerten (z.B. mittlere Trockenmasse / Jahr) müssen Frequenz und Zeitraum der Probenahme identisch sein

Mit Hilfe der zahlreichen Messungen konnten Gruppen mit ähnlichen Längenbereichen gebildet werden. Für die Entwicklungsstadien jeder Gruppe wurden stadienspezifische Mittelwerte berechnet, die in der Datenbank FisGeQua (Fachinformations-System Gewässer Qualität) hinterlegt sind. Mit Hilfe der gespeicherten Mittelwerte erfolgt die Berechnung von Trockenmassen, Längen und potentieller Grazingraten automatisch, auf der Basis einheitlicher Werte, einheitlicher Methoden und einheitlicher Berechnungsverfahren. Trotzdem können auch diese Werte selbstverständlich ebenfalls nur Schätzwerte sein.

# 1. Einleitung

Die Biomasse (Masse der Organismen) ist ein wesentlicher Parameter zur „Abschätzung des Energieflusses durch Ökosysteme. Sie erlaubt einen Vergleich des Energiegehaltes unterschiedlicher trophischer Ebenen“ (Padisák & Adrian 1999).

Dieser Vergleich ist aber nur dann möglich, wenn alle notwendigen Parameter erhoben werden und das zeitliche Raster der Probenahme diese Abschätzung des Energietransfers durch die verschiedenen trophischen Ebenen überhaupt erlaubt (vgl. Wetzel 1983). In der gegenwärtigen Konzeption des Gewässermonitorings ist dies aber weder für das Phyto- noch für das Zooplankton möglich.

Die Bestimmung der Phyto- und Zooplankton-Biomasse wird im Monitoring in den meisten Leistungsverzeichnissen gefordert. Die Anforderungen und Vorgaben sowie auch die Vorgehensweisen der Bearbeiter sind in der Regel aber sehr heterogen. Diese Heterogenität fängt bereits bei den der Biomassenberechnung vorgeschalteten unterschiedlichen Zählverfahren an, setzt sich in der Wahl der verwendeten Formeln zur Gewichtsbestimmung und schließlich in der Benennung der Masse (Biovolumen vs. Frischgewicht vs. Trockenmasse) fort. Zum Letzteren ist anzumerken, dass Angaben in anderen Einheiten (z. B. C-Gehalt) nicht oder wenig gebräuchlich sind. Sofern solche Angaben doch benutzt werden, sind sie i.d.R. durch einfache Faktoren umgerechnet worden. Beispielsweise liegt der C-Gehalt an der Trockenmasse – je nach Literaturangabe - bei ca. 40-50 %.

Aus unterschiedlichen Anforderungen, unterschiedlichen Vorgaben und unterschiedlichen Vorgehensweisen können eigentlich nur unterschiedliche Trockenmassen resultieren. Ob diese trotzdem vergleichbar sind, hängt von dem resultierenden Fehler bzw. der tolerierbaren Ungenauigkeit ab, was sich wiederum aus der Fragestellung ergibt. In irgendeiner Form geprüft wurde dies bislang aber nicht. Deshalb wäre aus Gründen der Vergleichbarkeit eine bessere Vereinheitlichung bei der Trockenmassenberechnung mit einheitlichen Umrechnungsfaktoren wünschenswert.

Die verschiedenen Biomasseangaben bzw. -berechnungen (Biovolumen „BV“ vs. Trockenmasse „DW“) haben jede

für sich Vor- und Nachteile. Ein Vorteil des „Trockenmasse-Verfahrens“ ist, dass die Masse direkt gewogen werden kann. Aus diesem Grund gibt es für die Crustaceen viel Literatur zu Längen-Gewichts-Regressionen, denen exakte Wägungen zugrunde liegen (vgl. Dumont et al. 1975; Bottrell et al. 1976; McCauley 1984). Ein Vorteil der Biovolumen-Methode wäre, dass bei einer eventuellen Verrechnung mit dem Phytoplankton nicht umgerechnet werden muss, da die Phytoplanktonmasse üblicherweise als Biovolumen berechnet wird (und dann oft Biomasse genannt wird, weil ja  $d = 1$  ist). Ein gravierender Nachteil der Volumen-Methode ist ihre indirekte Ableitung. Kleine Planktonorganismen können aber nur mit sehr großem Aufwand direkt gewogen werden. In Anbetracht der damit verbundenen methodischen Fehler ist die indirekte Volumen-Methode sicher einfacher. Allerdings sollte man nicht grundsätzlich davon ausgehen, dass sich die tatsächliche Masse automatisch aus dem indirekt berechneten Volumen ergibt und vorhandene Zelleinlagerungen oder skeletöse Strukturen vernachlässigbar sind.

Länge (L) ist die Strecke zwischen zwei Punkten, z.B. Oberseite Kopf – Ansatz Spina. Das Volumen (V) von geometrischen Körpern lässt sich nach Messungen der entsprechenden Längen berechnen. Die Masse (M) wird normalerweise gewogen. Masse lässt sich aber auch aus dem Produkt Volumen (V) x Dichte (d) berechnen ( $M = V d$ ). Da die Dichte von Wasser annähernd 1 ist, wird bei Planktonorganismen oft Volumen = Masse gesetzt ( $V = M$ ), was physikalisch nicht korrekt ist, z.B. weil die Dichte temperaturabhängig ist. Aus den Dichteunterschieden sommerlicher Wasserkörper resultiert die hohe Schichtungsstabilität, die Austauschprozesse zwischen Epi- und Hypolimnion erschwert bzw. unterbindet. Obwohl sich die Sinkgeschwindigkeit schwebender Partikel in Abhängigkeit von Form, Zelleinlagerungen und Temperaturschichtung berechnen lässt (Reynolds 1989), wird diese Annäherung für einige biologische Fragestellungen trotzdem verwendet.

Die Studie „Projekt Zooplankton“ wurde vom Land Baden-Württemberg in Auftrag gegeben und durchgeführt. Im ersten Teil wurde eine einheitliche Probenahme und im zweiten Teil eine einheitliche Auswertung vorgeschlagen. Im vorliegenden dritten Teil werden verschiedene Vorgehensweisen bei der Trockenmassenberechnung

geprüft. Beispielsweise wird geprüft, wie sich die Verwendung verschiedener Längen-Gewichtsregressionen für das gleiche Taxon auf das „Ergebnis Trockenmasse“ auswirken, welchen Anteil die Eimassen an der Gesamtmasse haben und wie sich z.B. eine relativ ungenaue Vorgehensweise bei der Größenklassendifferenzierung im Vergleich zu einer genaueren Vorgehensweise auf das Ergebnis auswirken. Die im Rahmen dieser Studie durchgeführten Messungen wurden überwiegend an Individuen aus Seen Baden-Württembergs durchgeführt. Für die Erlaubnis einige Messdaten verwenden zu dürfen, die an Individuen aus Seen Schleswig-Holsteins erhoben wurden, bedanken wir uns bei der LLUR.

Vorab muss gesagt werden, dass Trockenmasseangaben nur Abschätzungen sein können, da nichts über den physiologischen Zustand der analysierten Individuen und ihre Temporal- und Lokalvariationen bekannt ist. Die Trockenmasse ist ein Produkt aus Anzahl der Tiere x Faktor Trockenmasse, weist also zwei Fehlerquellen auf. Zum einen wirkt sich der Fehler bei der Ermittlung der Anzahl der Tiere auf die Trockenmasse aus. Dieser Fehler, der im Teil 1 des Zooplanktonprojekts untersucht wurde, beeinflusst das Produkt Trockenmasse wahrscheinlich am stärksten. Der Fehler bei

der Bestimmung des Faktors Trockenmasse ist vom Wachstum der Tiere, also von Temperatur- und Futterbedingungen abhängig. Dieser Fehler, der hier im dritten Teil des Projekts Zooplankton betrachtet wird, unterliegt also auch starken lokalen und saisonalen Einflüssen.

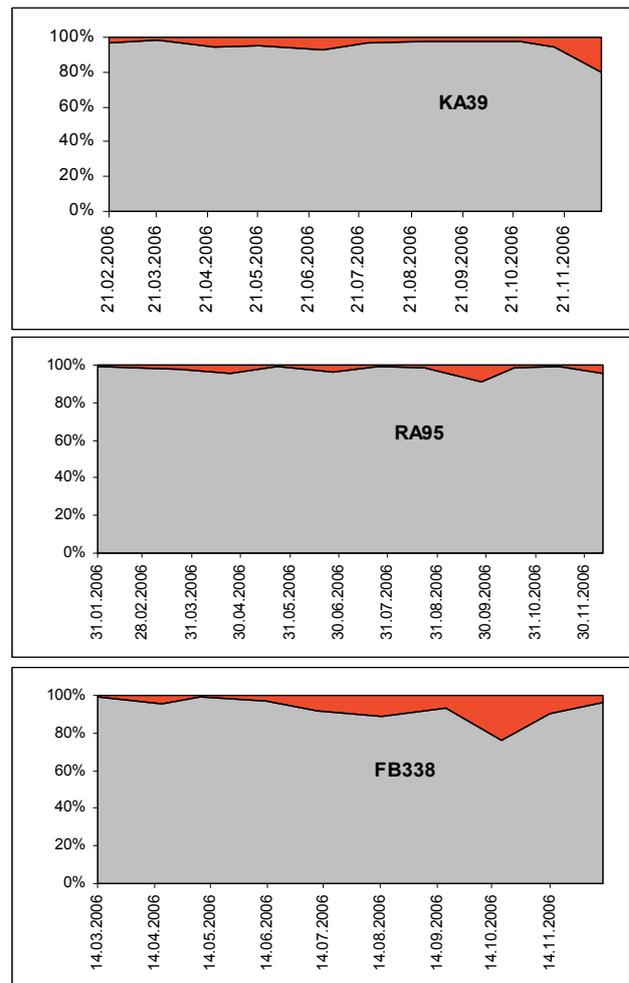
Bei der oft gebräuchlichen Angabe „mittlere Biomasse über die Vegetationsperiode“ ist im Auge zu behalten, dass im Bereich Monitoring Proben üblicherweise nur monatlich gezogen werden und das Erfassen von Populationsmaxima oder – minima mehr oder weniger zufällig erfolgt. Trotz aller Einschränkungen ist die Trockenmasse bzw. die Zooplanktonmasse ein wichtiger Zusatzparameter zur Charakterisierung von Stehgewässern und der einzige Zooplankton-Parameter, der zumindest grob „geeicht“ ist (vgl. TGL 27885/01, 1982).

Aber, um es nochmals zu betonen, die im Gewässermonitoring ermittelten Angaben zur Trockenmasse können nur Schätzwerte sein. Das gilt auch für alle auf diesen Angaben basierenden Berechnungen und Bewertungen, weil bisher weder Größe noch Auswirkungen der Fehler (Anzahl Individuen, Faktor Trockenmasse) untersucht oder berücksichtigt werden.

## 2. Biomasse Rotatoria

Die Rotatorien stellen innerhalb des „klassischen“ Zooplanktons (= Rotatorien + Crustaceen = Metazooplankton) die meisten Arten und Individuen, sind aber (aufgrund ihrer Kleinheit) schwache Massenbildner; ihr mittlerer Massenanteil am gesamten Zooplankton (Jahresdurchschnitt) liegt selten über 10 % (vgl. Beispiele in **Abb. 1**). Ähnliche niedrige mittlere Massenanteile für Rotatorien ergaben sich auch in einer Studie an 25 Abgrabungsseen am Rhein (Maier 2010) sowie beispielsweise für zahlreiche Seen in Schleswig-Holstein (z.B. Arp & Deneke 2006, 2007; Kasten & Michels 2008; Arp & Maier 2009; Arp et al. 2010). In Einzelfällen (oft in „Extremhabitaten“) können allerdings auch deutlich höhere durchschnittliche Massenanteile der Rotatorien gemessen werden (z.B. Yan & Geiling 1985; Arp & Deneke 2006; Arp et al. 2010).

Die Variabilität der Körpermaße ist bei vielen Rotatorien-Arten vergleichsweise gering. Einen Überblick über Längen und Breiten wichtiger Taxa gibt **Tabelle 1**. Bei der Beurteilung der in der Tabelle angegebenen Messstrecken ist zu berücksichtigen, dass die Messungen nicht an lebenden, sondern ausschließlich an fixierten Individuen durchgeführt wurden und dass Anhänge, wie Dornen nicht mit gemessen wurden (**Abb. 2**). Außerdem handelt es sich um ein sehr heterogenes Datenmaterial; d.h. von häufigen Taxa liegen viele, von seltenen Taxa wenige Messungen vor. Insgesamt wurden mittels geeichtem Messokular oder geeichtem Gitterfeld ca. 1000 Individuen vermessen. Die durchschnittlichen Längen reichen von ca. 80 (*A. saltans*, *T. pusilla*) bis hin zu ca. 430  $\mu\text{m}$  (*Asplanchna*), die durchschnittlichen Breiten von ca. 40 (*T. pusilla*, *T. rousseleti*) bis hin zu ca. 310  $\mu\text{m}$  (*Asplanchna*). Obwohl bei 8 der in der Tabelle gelisteten Taxa der Variabilitätskoeffizient bezogen auf die Körpermaße bei  $\geq 20\%$ , bei 2 weiteren Taxa nur knapp unter 20 % liegt, sind die Auswirkungen dieser Variabilität auf das Ergebnis Masse/Volumen gering. Eine Unterteilung in Größenklassen ist allenfalls, wenn überhaupt, bei einigen größeren und variablen Taxa (*Asplanchna*, *Brachionus*, *Euchlanis*) zu erwägen. Beispielsweise kommen z.B. beim Taxon *Asplanchna* gelegentlich, nach eigenen Erfahrungen eher selten, besonders große ( $\geq 1000\ \mu\text{m}$  Länge) Formen vor, die evtl. (unserer Meinung nach aber nicht!) bei der später durchgeführten Massenberechnung separat gerechnet werden könnten.



**Abb. 1:** Prozentualer Anteil der Rotatorien-Biomasse (rot) an der Gesamttrockenmasse des Zooplanktons (Crustaceen + Rotatorien) in 3 Baggerseen unterschiedlicher Trophie in der Rheinebene. KA39 = oligotroph – obere Graphik; RA95 = mesotroph – mittlere Graphik; FB338 = eutroph – untere Graphik. Beachte: Etwas unterschiedliche Skalierung der X Achsen (entsprechend den unterschiedlichen Probenahmezeiträumen).



**Abb. 2:** Messstrecken bei Rotatorien. Die Messung erfolgte ohne Berücksichtigung von Anhängen wie Dornen etc.

Die Biomasse der Rotatorien wird meist als Biovolumen (BV) berechnet (vgl. Ruttner-Kolisko 1977) und anschließend - falls benötigt - in Trockenmasse (DW) umgerechnet. Rotatorien sind aufgrund ihrer Kleinheit einer

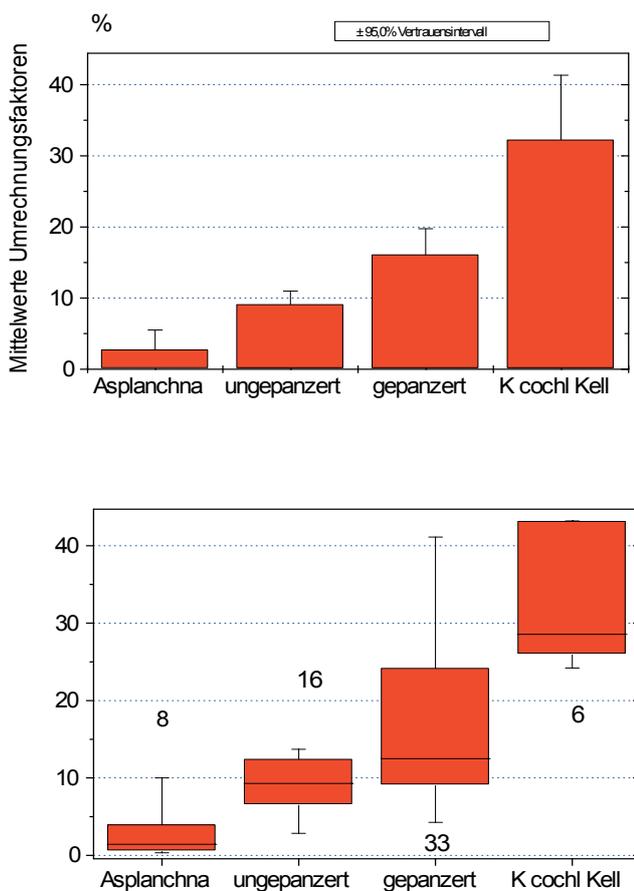
Rotatoria	Länge (µm)	Bereich (µm)	Breite (µm)	Bereich (µm)
Anuraeopsis fissa	100	90-140	58	40-95
Ascomorpha ecaudis	113	96-140	90	71-100
Ascomorpha ovalis	92	90-95	82	80-85
Ascomorpha saltans	81	70-90	65	64-75
Asplanchna girodi / brightwelli	337	315-420	214	160-270
Asplanchna priodonta (*)	414	280-530	311	180-450
Brachionus angularis *	129	90-190	111	70-160
Brachionus budapestinensis	105	90-120	84	70-90
Brachionus calyciflorus *	293	180-380	241	180-270
Brachionus diversicornis	185	130-230	148	110-185
Brachionus quadridentatus	155	150-160	200	190-210
Brachionus ureularis	187	160-220	163	130-180
Collotheca spp.	90	77-103	52	40-58
Conochilus hippocrepis	157	135-170	92	85-100
Conochilus natans	183	130-210	171	150-210
Conochilus unicornis	107	62-154	88	44-129
Euchlanis dilatata *	209	130-265	160	100-200
Filinia longiseta	128	120-150	77	75-90
Filinia longiseta/terminalis	141	116-180	84	60-100
Gastropus stylifer	102	88-141	81	62-103
Hexarthra sp.	139	116-167	102	77-129
Kellicottia bostoniensis	114	103-116	52	51-58
Kellicottia longispina	126	90-150	55	44-71
Keratella cochlearis	98	62-116	61	44-84
Keratella hiemalis	122	100-145	88	80-90
Keratella quadrata	131	88-170	96	77-116
Lecane sp. *	93	70-110	88	70-110
Mytilina mucronata	155	105-170	96	70-105
Mytilina ventralis	130		90	
Notholca acuminata	213	170-250	104	90-130
Notholca caudata	140		50	
Notholca foliacea	141	130-150	65	60-70
Notholca labis	116	100-130	95	90-100
Notholca squamula	132		113	
Ploesoma hudsoni	281	220-340	165	120-230
Polyarthra dolichoptera / vulgaris	120	88-175	76	62-106
Polyarthra euryptera / major	166	160-180	109	100-120
Polyarthra remata	90	85-90	58	50-65
Polyarthra spp.	120	88-175	76	62-106
Pompholyx sulcata (complanata)	87	77-97	76	60-90
Synchaeta pectinata *	206	115-280	176	115-248
Synchaeta sp.(kleine Taxa) (*)	87	71-123	86	58-123
Testudinella patina	182	165-200	171	130-180
Trichocerca capucina *	197	141-270	70	51-84
Trichocerca cylindrica	214	180-230	67	45-75
Trichocerca porcellus	156	140-170	71	60-80
Trichocerca pusilla	82	75-90	43	35-50
Trichocerca rousseleti	76	70-90	37	30-45



**Tab. 1:** Durchschnittliche Länge und Breite (mit Bereich) von wichtigen Rotatorien-Taxa. Die Daten basieren auf Messungen an ca. 1000 Individuen überwiegend aus Seen Baden-Württembergs. Arten bei denen der Variabilitätskoeffizient 20 % überschreitet bzw. annähernd 20 % erreicht, sind mit \* bzw. (\*) gekennzeichnet.

direkten Trockenmassenbestimmung (Wägung) nur schwer zugänglich, wenngleich direkt ermittelte DW für einige Taxa in der Literatur existieren. Bei der Umrechnung von FG in DW ist zu berücksichtigen, dass das Biovolumen nicht zwangsläufig dem Frischgewicht entspricht. Die Umrechnungsfaktoren von BV in DW sind von Art zu Art (je nach Panzerung und Größe) verschieden und liegen zwischen < 1 % (*Asplanchna*) bis ca. 43 % (*Keratella cochlearis*) (z.B. Pauli 1989). Zur Vereinfachung schlagen wir für Umrechnungsfaktoren 4 Kategorien vor (Abb. 3). Bei dieser Vereinfachung wird vor allem auf die Größe und Panzerung der Tiere Bezug genommen. Unterschieden wird bzw. wurde zwischen

- *Asplanchna* (als Sonderfall – groß und ungepanzert),
- ungepanzerten Formen,
- gepanzerten Formen sowie
- *K. cochlearis* und *Kellicottia* (Letztere wieder als Sonderfall – klein und gepanzert).



**Abb. 3:** Vorschlag für Umrechnungsfaktoren von Biovolumen (BV) in Trockenmasse (DW) für die Kategorien *Asplanchna* (als Sonderfall – groß ungepanzert), ungepanzerte Rotatorien, gepanzerte Rotatorien sowie *K. cochlearis* und *K. longispina* (als Sonderfälle – klein stark gepanzert). Dargestellt sind die % Anteile des DW am BV. Obere Graphik Mittelwerte, untere Graphik Median mit Box (25-75 % Quartil) und Whiskern (5 bzw. 95 % Perzentil). Zahlen oberhalb und unterhalb der Whisker = Stichprobengröße.

Die Information zu gepanzerten und ungepanzerten Formen wurde der Bestimmungsliteratur (Ruttner-Kolisko 1972; Koste 1978) entnommen, die Einzelwerte für die Kategorien dem Methodenband von Schwoerbel (1994). Die zunächst unterschiedenen Kategorien schwach vs. stark gepanzert wurden zusammengeführt, da keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen vorhanden waren. Die vorgeschlagenen 4 Kategorien unterscheiden sich deutlich in den Umrechnungsfaktoren (alle P Werte < 0,02). Legt man die Mittelwerte zugrunde, so ergibt sich für *Asplanchna* ein Umrechnungswert (Massenanteil DW) von 2,8 %, für die Kategorie ungepanzert ein Wert von 9,1 %, für die Kategorien gepanzert 16,1 % und für die Kategorien *K. cochlearis* / *Kellicottia* ein Wert von 32,3 %: Bei Zugrundelegung der Mediane liegen die Umrechnungswerte bei 1,4 %, 9,3 %, 12,5 % und 28,6 %. Diese Vereinfachung der Umrechnungsfaktoren wird vorgeschlagen, da unsicher ist, in wie weit die exakten, artspezifischen Faktoren der Realität entsprechen, und vor dem bereits genannten Hintergrund, dass Rotatorien überwiegend nur ≤ 10 % der Zooplankton-Gesamtmasse ausmachen (vgl. oben).

Eine Übersicht über die für einzelne Taxa berechneten Biovolumina und Trockenmassen geben die Tabellen 2 und 3. Die errechneten durchschnittlichen Biovolumina liegen zwischen  $0,038 \times 10^6 \mu\text{m}^3$  (*A. fissa*) und  $20,776 \times 10^6 \mu\text{m}^3$  (*Asplanchna priodonta*), die Trockenmassen umfassen einen Bereich von  $0,005 \mu\text{g}$  (*A. fissa*) bis hin zu  $0,536 \mu\text{g}$  (*B. calyciflorus*). Zu diskutieren wäre, ob für Taxa, deren Körpermasse stark variieren kann (vgl. auch Längen-/Breitenmessung), zwischen mehreren „Größenklassen“ differenziert werden sollte. Unserer Meinung nach wäre das (wenn überhaupt) allenfalls für wenige bereits genannte Taxa (*Asplanchna*, *Brachionus* – siehe oben) erwägenswert, sofern eine entsprechende Fragestellung dies erforderlich machen sollte.

Zu diskutieren wäre auch – wie in Padisák & Adrian (1999) vorgeschlagen – ob die Ei-Volumina, die bei Rotatorien bis zu ca. 87 % der Individuen-Volumina ausmachen können (Pauli 1989; Walz et al. 1995), bei der Biomasse Trockenmassenberechnung berücksichtigt werden sollen. In Abb. 4 ist für zwei Seen in Schleswig-Holstein die Gesamtmasse (Rotatorienmasse + Masse Rotatorien-Eier) an 9 Probenahmetagen im Zeitraum von April bis August

Rotatoria	eigene Messung	Pauli (1989)	Walz et al. (1995)	Michaloudi (2005) u. Zitate hierin Median	Michaloudi (2005) u. Zitate hierin range
Volumen (µm <sup>3</sup> )	/ Rechnung				
Anuraeopsis fissa	38314		108756		
Ascomorpha ecaudis	240869				
Ascomorpha ovalis	142735				
Ascomorpha saltans	87976				
Asplanchna priodonta	20775978	27270000		33600000	(13120000-300000000)
Asplanchna girodi / brightwelli	8025291				
Brachionus angularis	387590	852000	206134-743084	400000	(100000-630000)
Brachionus budapestinensis	194623		267137		
Brachionus calyciflorus	4290982		1815499-2393886		
Brachionus diversicornis	1053582		730063	2390000	(1500000-3000000)
Brachionus quadridentatus	999440		874336		
Brachionus rubens			851711-1790824		
Brachionus urceolaris	1183782		728251		
Collotheca spp.	62580				
Conochilus hippocrepis	346268			430000	(150000-600000)
Conochilus natans	1392614				
Conochilus unicornis	213261				
Euchlanis dilatata	1093458				
Filinia longiseta	391936		720867	310000	(240000-1500000)
Filinia terminalis		443000			
Gastropus stylifer	271424				
Hexarthra sp.	377037				
Kellicottia bostoniensis	80564				
Kellicottia longispina	97681	99700			
Keratella cochlearis	47451	87500	84543-252644	95000	(50000-700000)
Keratella hiemalis	434597	350200			
Keratella quadrata	541221	733700			
Lecane sp.	153896				
Mytilina mucronata	461833				
Mytilina ventralis	304200				
Notholca acuminata	404465				
Notholca caudata	87855 (?)				
Notholca foliacea	111683				
Notholca labis	106202				
Notholca squamula	163596				
Ploesoma hudsoni	2704276				
Polyarthra cf. dolichoptera / vulgaris	437733	407800			
Polyarthra euryptera / major	1201971	826000			
Polyarthra cf. remata	188325				
Polyarthra spp.	437733			450000	(100000-2000000)
Polyarthra vulgaris		443200	317045		
Pompholyx sulcata	92672	85600	406715		
Synchaeta pectinata	1657535	2338000		1750000	(650000-4500000)
Synchaeta sp.	166078				
Testudinella patina	452519				
Trichocerca capucina	500513			265000	(110000-1000000)
Trichocerca cylindrica	530444			160000	(100000-1000000)
Trichocerca porcellus	404898				
Trichocerca pusilla	77361				
Trichocerca rousseleti	53016				
Trichocerca similis	216854			185000	(80000-1000000)

Tab. 2: Biovolumen (Mittelwert) von häufigen Rotatorien-Taxa. Eigene Messung / Hochrechnung nach Individuen aus Baden-Württemberg sowie Angaben aus der Literatur. Eigene Berechnung nach Formeln in Bottrell et al. (1976) bzw. McCauley (1984).



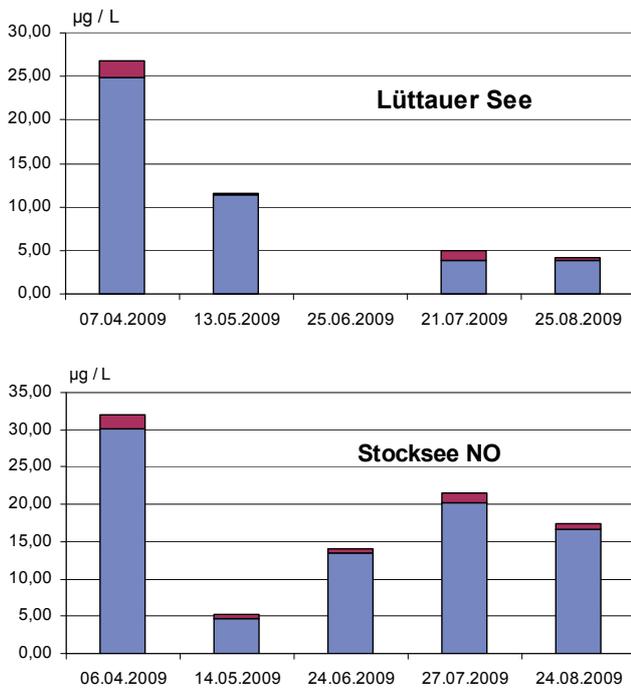
dargestellt. Die Eimassen wurden in Anlehnung an Pauli (1989) berechnet. Der Anteil der Eimasse an der Gesamtmasse erreicht für die genannten Seen und den dargestellten Zeitraum immerhin maximal 23 %. Er liegt aber in 7 von 9 Probenahmen unter 10 %. Bei dieser Abschätzung ist allerdings zu bedenken, dass die Abmessungen der Eier einiger Rotatorientaxa (z.B. von *K. cochlearis*) an bzw. unterhalb der Maschenweite der für das Monitoring empfohlenen 55 µm Netze liegen. Da durch Stressfaktoren beim

Fang und der Fixierung die Eier oft abgeworfen werden, ist fraglich, ob diese mit den erwähnten Netzen quantitativ erfasst werden. Vermutlich ist der Anteil der Eimasse an der Gesamtmasse der Rotatorien höher als hier ermittelt. Da Rotatorien überwiegend nur ≤ 10 % der Zooplankton-Gesamtmasse ausmachen (vgl. oben), sollte die Ermittlung von Eimassen im Rahmen des Gewässermonitorings nur bei konkreten Fragestellungen erfolgen.

Trockenmasse DW (µg)	eigene Messung		Bereich Literatur	Bottrell et al. (1976)* u. Zitate hierin	Dumont (1975)	Pauli (1989)* u. Zitate hierin	Michaloudi (2005)	Padisák & Adrian (1999) u. Zitate hierin
	Median	Mittelwert						
Anuraeopsis fissa	0,005	0,006	0,070	0,070				
Ascomorpha ecaudis*	0,030	0,039	0,03-0,04			0,03-0,04*		
Ascomorpha ovalis	0,018	0,023	0,02-0,03			0,02-0,03*		
Ascomorpha saltans	0,011	0,014						
Asplanchna girodi / brightwellii*	0,115	0,222	0,28-1,50		0,28-1,50			
Asplanchna priodonta	0,297	0,576	0,04-3,80	0,440		0,04-3,80* (10,0)	2,268	0,212-0,35
Asplanchna herricki			2,10-3,20		2,10-3,20			
Brachionus angularis	0,048	0,063	0,026-0,54	0,050	0,4-0,54	0,05-0,12*	0,026	
Brachionus budapestinensis	0,024	0,031						
Brachionus calyciflorus**	0,536	0,692	0,06-0,47	0,200	0,11-0,47	0,06-0,37*		0,200
Brachionus diversicornis	0,132	0,170	0,15-0,188	0,150			0,188	
Brachionus quadridentatus*	0,125	0,161	0,32-0,42		0,32-0,42			
Brachionus rubens			0,150	0,150				
Brachionus urceolaris	0,148	0,191	0,12-0,20		0,12-0,20			
Collothea sp.	0,006	0,006						
Conochilus hippocrepis	0,032	0,032	0,015-0,43	0,015			0,043	
Conochilus natans	0,130	0,127						
Conochilus unicornis	0,020	0,020	0,03-0,084			0,03-0,084*		0,082
Euchlanis dilatata*	0,137	0,176	0,30-1,00	0,500	0,30-1,00			
Filinia longisetata	0,037	0,036	0,024-0,48	0,150	0,42-0,48		0,024	
Filinia terminalis			0,03-0,06			0,03-0,06*		
Gastropus hyptopus			0,19-0,50		0,19-0,50			
Gastropus stylifer	0,034	0,044	0,02-0,04			0,02-0,04*		
Hexarthra fennica			0,56-0,64		0,56-0,64			
Hexarthra mira			0,20-1,04	0,200	0,85-1,04			
Hexarthra sp.	0,035	0,035						
Kellicottia bostoniensis	0,023	0,026						
Kellicottia longispina	0,028	0,032	0,02-0,100			0,02-0,06*		0,100
Keratella cochlearis	0,014	0,015	0,005-0,110	0,037-0,07	0,110	0,02-0,07*	0,005	0,02-0,07
Keratella hiemalis	0,054	0,070	0,02-0,06			0,02-0,06*		
Keratella quadrata	0,068	0,087	0,03-0,35	0,07-0,075	0,32-0,35	0,03-0,11*		0,075
Keratella valga			0,070	0,070				
Lecane sp.	0,019	0,025	0,200	0,200				
Lepadella ovalis			0,310		0,310			
Lepadella patella			0,150		0,150			
Mytilina mucronata*	0,058	0,075	0,500		0,500			
Notholca acuminata	0,051	0,065						
Notholca caudata*	0,011	0,014	0,05-0,08			0,05-0,08*		
Notholca labis	0,013	0,017						
Notholca squamula	0,020	0,026						
Ploesoma hudsoni	0,338	0,436						
Ploesoma truncatum			0,100	0,100				
Polyarthra dolichoptera	0,041	0,041	0,03-0,06			0,03-0,06*		
Polyarthra major	0,112	0,110	0,04-0,11			0,04-0,11*		
Polyarthra remata*	0,018	0,017	0,040					0,040
Polyarthra sp.	0,040	0,039	0,09-0,740		0,740		0,090	
Polyarthra vulgaris			0,02-0,066	0,043		0,02-0,066*		
Pompholyx sulcata*	0,012	0,015	0,02-0,03			0,02-0,03*		
Synchaeta lakowitziana			1,00					
Synchaeta oblonga			0,020	0,022		0,020		
Synchaeta pectinata	0,154	0,152	0,03-0,343			0,03-0,23*	0,343	0,230
Synchaeta stylata			0,06-0,200	0,200		0,06-0,20*		
Synchaeta sp.*	0,015	0,015	0,03-0,27		0,26-0,27	0,03-0,06*		
Testudinella patina	0,057	0,073	0,05-1,20	0,050	1,200			
Trichocerca birostris			0,03-0,04			0,03-0,04*		
Trichocerca capucina	0,063	0,081	0,033-0,08			0,05-0,08*	0,033	
Trichocerca cylindrica**	0,066	0,086	0,012				0,012	
Trichocerca inermis			0,100	0,100				
Trichocerca longisetata			0,34-0,70		0,34-0,70			
Trichocerca porcellus	0,051	0,065	0,03-0,05			0,03-0,05*		
Trichocerca pusilla*	0,010	0,012	0,020			0,02*		
Trichocerca rousseleti	0,007	0,009						
Trichocerca similis**	0,027	0,035	0,017				0,017	



**Tab. 3:** Trockenmasse von häufigen Rotatorien-Taxa. Eigene Messung / Hochrechnung sowie Angaben aus der Literatur. Berechnung des Biovolumens nach Bottrell et al. (1976) bzw. McCauley (1984) und anschließende Umrechnung in Trockenmasse unter Berücksichtigung der Umrechnungsfaktoren in Abb. 3. Taxa deren Biovolumen aus eigener Hochrechnung nicht im Bereich der Literaturangaben liegen sind markiert (\* = errechneter Wert ist niedriger als Literaturwerte; \*\* = errechneter Wert ist höher als Literaturwerte).



**Abb. 4:** Trockenmasse (DW) der Rotatorien (blauer Bereich) sowie ihrer Eier (roter Bereich) für 2 Seen in Schleswig-Holstein (Lüttauer See, linkes Bild; Stocksee NO, rechtes Bild). Die Eimasse beträgt maximal 30 % der Rotatorienmasse (= 100%) bzw. 23 % an der Gesamtmasse (Rotatorienmasse + Eimasse). Dieser Wert wird im Lüttauer See am 21.07. erreicht. Die Proben wurden mit einem Netz der Maschenweite 55 µm gezogen.

### 3. Trockenmasse Crustacea

Die Crustaceen sind die Haupt-Massebildner innerhalb des „klassischen Zooplanktons“ (Metazooplanktons). Die Biomassen der Crustaceen werden überwiegend als Trockenmasse berechnet. In der Literatur (z.B. Bottrell et al. 1976; McCauley 1984; Masundire 1994; Padisäk & Adrian 1999; Michaloudi 2005 u.s.w.) gibt es eine Reihe von Angaben zur Trockenmassenberechnung einzelner Taxa. Angaben zum Biovolumen einzelner Taxa finden sich etwa in Schwoerbel (1994) oder Hoehn et al. (1998). Die in Schwoerbel gelisteten Biovolumina sind der Arbeit von Nauwerck (1963) entnommen. Die in Hoehn et al. (1998) gelisteten Koeffizienten für einzelne Taxa wurden u. a. Dumont et al. (1975) sowie Bottrell et al. (1976) bzw. den dort aufgeführten Originalarbeiten entnommen. Zum Teil handelt es sich sicherlich um Umrechnungen aus den Trockenmasseformeln.

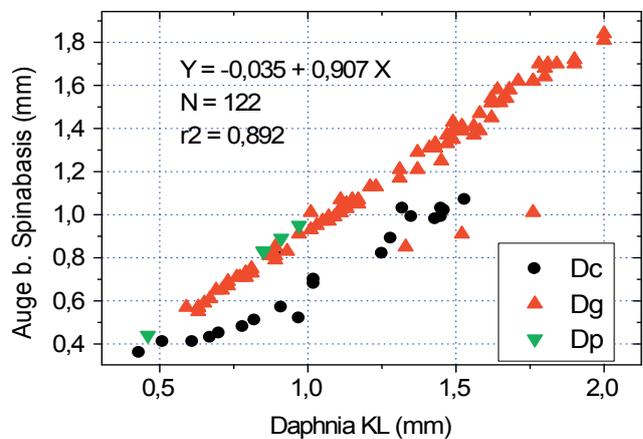
Die Trockenmassen werden in den einschlägigen „Reviews“ nach der Formel

$$\ln W = \ln a + b \cdot \ln L$$

berechnet, wobei W die Masse, L die Körperlänge und Ln a und b für das jeweilige Taxon angegebene Regressions-Werte / Parameter (Achsenabschnitt, Steigung der Regressionsfunktion) sind. Zu beachten ist, dass die angegebenen Parameter (bzw. Gleichungen) mit unterschiedlichen Methoden ermittelt wurden. Zum Beispiel wurde an fixierten vs. unfixierten Individuen gemessen; den Gleichungen liegen unterschiedliche Längen-Bereiche oder Stadien-Bereiche zugrunde; zum Teil gingen eitragende, bzw. nicht-eitragende Individuen in die Gleichung ein. Für das gleiche Taxon werden (selbst bei Gleichungen mit halbwegs homogener Basis) verschiedene Regressionsparameter angegeben, was zur Folge hat, dass je nach verwendeter Gleichung die Trockenmasse erheblich variieren kann.

#### 3.1. Cladocera

Bei Cladoceren liegt den meisten Gleichungen die Gesamtlänge (Kopfspitze bis Spina-Basis) zugrunde. In wenigen Fällen wurde das wesentlich konkretere Maß vom oberen Rand des Komplexauges bis zur Spinabasis verwendet. In einigen Fällen wird bei Daphnien auch nur die Carapaxlänge gemessen (Kawabata & Urabe 1998). In **Abb. 5** ist die Relation Gesamtlänge zur Länge Augen-Oberkante bis Spinabasis für 3 Daphnien Taxa dargestellt. Aus der Abbildung wird deutlich, dass *D. cucullata*, als stark helmbildende Form von den beiden anderen Taxa abweicht. Abweichungen im C- Gehaltes von *D. cucullata* gegenüber dem C-Gehalt anderer Daphnien bei gleicher Länge wurden von Kasprzak (1984) nachgewiesen. Zu **Abb. 5** ist anzumerken, dass zu wenige Individuen von *D.*



**Abb. 5:** Zusammenhang zwischen Gesamtlänge (KL = Kopfspitze bis Spinabasis) und der Messstrecke Augenoberkante bis Spinabasis für 3 Daphnia Species (Dc = *Daphnia cucullata*; Dg = *Daphnia galeata*; Dp = *Daphnia parvula*). Messungen an Individuen aus Abgrabungsseen an Rhein (Ka29, RA95, FB338). Untersuchungsjahre 2005 und 2006.

**Tab. 4:** Längenbereiche für verschiedene Cladoceren-Taxa. Messungen aus Seen Baden-Württembergs. Den angegebenen Bereichen liegen bisher Messungen an ca. 700 Individuen zugrunde. Die Längenbereiche beziehen sich auf die Gesamtlänge (Kopfspitze bis Spinabasis). Eine Ausnahme bildet (aufgrund der Helmbildung) *D. cucullata*; hier sind neben dem Bereich für Gesamtlänge noch der Bereich von Oberkante Komplexauge bis Spinabasis angegeben (gekennzeichnet durch \*). Ohne Angaben zu den Raubcladoceren.

Taxa	Bereich (mm)
Daphnia spp.	
Daphnia klein ( <i>D. parvula</i> , <i>D. ambigua</i> )	0,46 - 0,97
Daphnia cucullata (Gesamtlänge)	0,51 - 1,53
(Oberkante Auge bis Spinabasis)	0,36 - 1,07*
Daphnia mittelgroß ( <i>D. longispina</i> , <i>D. galeata</i> , <i>D. hyalina</i> )	0,56 - 2,15
Daphnia groß ( <i>D. pulicaria</i> )	0,67 - 3,02
Bosmina spp.	
Bosmina longirostris	0,20 - 0,45
(Eu) Bosmina spp.	0,20 - 0,97
Chydorus spp.	
Chydorus sphaericus	0,16 - 0,34
Ceriodaphnia spp.	
Ceriodaphnia quadrangula, <i>C. pulchella</i>	0,27 - 0,65
Diaphanosoma spp.	
Diaphanosoma brachyurum	0,37 - 1,21
Holopedium sp.	
Holopedium gibberum	0,38 - 1,16

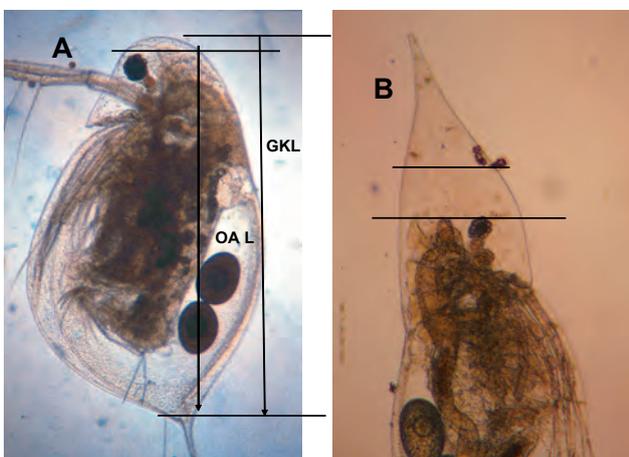
**LUBW**

*cucullata* gemessen wurden. Auch eine saisonale Differenzierung der Messwerte (Frühjahr vs. Sommer vs. Herbst) wäre für die Zukunft wünschenswert, da die Ausbildung der Helme im Jahresgang stark variiert (wenn eine konkrete Fragestellung dies erfordert).

Einen Überblick über die Längenbereiche (Gesamtlängen!) häufiger Taxa gibt **Tab. 4**. Die den Längen zugrunde liegenden Messstrecken zeigt **Abb. 6**. Die Daphnien überstreichen in Baden-Württemberg einen Längenbereich von ca. 0,4 bis 3,0 mm. Eliminiert man die eher selten vorkommende, sehr große *D. pulicaria*, so liegt der Längenbereich zwischen ca. 0,4 und 2,2 mm. Bei den Bosminen erreichen die Eubosminen (in Baden-Württemberg *E. longispina* und *E. coregoni* bzw. intermediäre Morphen aus beiden) Gesamtlängen (ohne Mukro) von 0,2 bis knapp 1 mm. In der Summe können die Daphnien sowie *Diaphanosoma* und evtl. die Eubosminen als größenvariabel bezeichnet werden, wobei Letztere nur selten eine Maximallänge von ca. 1 mm erreichen. *Chydorus cf. sphaericus* wird manchmal (als Vertreter der Chydoriden) „irrtümlich“ nicht zu den pelagischen Formen gezählt, kann aber in eutrophen Seen,

zumindest was die Abundanz angeht, zu einem sehr wichtigen Taxon im Freiwasser werden. *Holopedium* ist ebenfalls rel. größenvariabel kommt aber in Baden-Württemberg nur in ganz wenigen Seen im Schwarzwald vor.

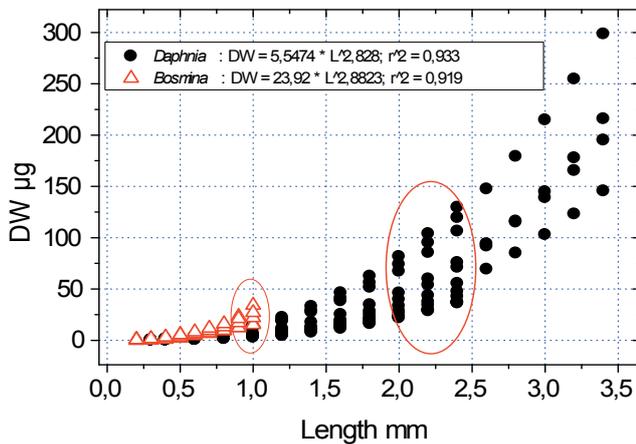
Problematisch bei der Trockenmassenberechnung ist, dass z. T. für dieselbe Art bzw. dasselbe Taxon verschiedene Regressionsparameter angegeben werden und dass die Basis der Regressionsgleichungen (insbesondere der zugrunde liegende Längenbereich – siehe oben) variierten. Dies hat zur Folge, dass etwa bei Daphnien, je nach verwendeter Gleichung, die errechnete Trockenmasse erheblich variieren kann. Berechnet man die Trockenmasse der Daphnien mit verschiedenen Gleichungen aus der Literatur (Bottrell et al. 1976; McCauley 1984; Padišák & Adrian 1999 und Zitate hierin), so wiegt beispielsweise eine 2,0 mm große Daphnie (je nach verwendeter Gleichung) ca. 25 bis ca. 80 µg (**Abb. 7**). Rechnet man mit der allgemeinen Gleichung für Daphnien spp. in Bottrell et al. (1976), so ergibt sich für eine 2 mm große Daphnie eine Trockenmasse von 35,5 µg. Benutzt man die Gleichung nach Burns (1969) so ergibt sich für eine 2 mm lange Daphnie ein Wert von 73,8 µg. Erhebliche Unterschiede ergeben sich auch bei der Betrachtung der Trockenmassen der Bosminen (**Abb. 7**) und der übrigen Cladoceren (**Abb. 8**); hier liegen die maximalen Unterschiede ca. beim Faktor 2. Ebenfalls erhebliche Unterschiede ergeben sich bei der Betrachtung der Trockenmassen von Raubcladoceren (**Tab. 5**). Beispielsweise wurde bei der Gattung *Bythotrephes* (*B. cederstroemii* nicht *B. longimanus*) für das Einstachel-Stadium (je nach Jahreszeit) ca. 28 bzw. 80 µg oder 20 bzw. 150 µg ermittelt. Diese z. T. erheblichen Unterschiede zwischen verschiedenen Autoren resultieren – neben methodischen Unterschieden – aus dem physiologischen Zustand (z.B. Ernährungszustand) der Tiere.



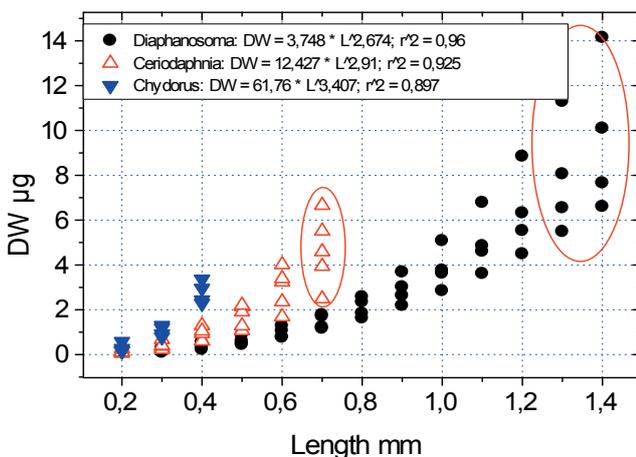
**Abb. 6:** Messstrecken bei Cladocera. A) OA L = Oberkante Auge bis Spinabasis; GKL = Gesamtlänge (Kopfspitze bis Spinabasis). B) Vorschläge zur Verfahrensweise bei *Daphnia cucullata* (siehe Text).

Aufgrund der z.T. erheblichen Unterschiede in den Trockenmassen bei Verwendung verschiedener Gleichungen halten wir eine einheitliche Vorgehensweise für wünschenswert bzw. erforderlich. Unserer Meinung nach sind bei Cladoceren Gleichungen auf Gattungsbasis (z.B. *Daphnia* vs. *Bosmina* vs. *Chydorus* vs. *Ceriodaphnia* vs. *Diaphanosoma* vs. *Holopedium* – vgl. Abb 9) für Monito-

ringzwecke ausreichend. Bei dieser Vorgehensweise wird die Körperform des jeweiligen Taxons ausreichend berücksichtigt. Einen Überblick über mögliche Gleichungen bzw. Gleichungsparameter ermittelt aus den oben dargestellten Abb. 7 und 8 gibt Tab. 6. Rechnet man mit den in der Tabelle gelisteten Gleichungsparametern, so ergeben sich die in Tab. 7 und 8 angegebenen Trockenmassen für Größenabstände von 0,1 mm. Zum Vergleich wurden die Trockenmassen nach den in Bottrell et al. (1976) auf Gattungsbasis (*Daphnia*, *Bosmina*) bzw. Artbasis (*Ceriodaphnia*, *Diaphanosoma*) angegebenen Gleichungen bzw. nach Dumont et al. (1975) (*Chydorus*) berechnet. Die in der Literatur angegebenen Gleichungen für *Holopedium gibberum* basieren auf der Messstrecke „Abstand Setae natatores bis Terminalklaue des Abdomens“. Die Gleichungen sind hier nicht verwendbar, da im Rahmen dieser Untersuchung die



**Abb. 7:** Längen-Trockengewichts (DW) Relation von Daphnien. Die Punkteverteilung basiert auf Regressionsformeln nach Burns (1969), O'Brien & deNoyelles (1974), Dumont et al. (1975), Bottrell et al. (1976), Pace & Orcutt (1981), Rosen (1981) und Michaloudi (2005). Die zugehörigen Regressionsformeln sind McCauley (1984) entnommen. Als repräsentativ für kleine Daphnien wurden *D. ambigua*, *D. parvula* und *D. cucullata*, für mittelgroße Daphnien *D. galeata*, *D. hyalina* und *D. longispina*, für große Daphnien *D. pulex* (anstelle von *D. pulicaria*, die pelagisch im Bodensee-Untersee vorkommt; z.B. Stich & Maier 2007) festgelegt. Es wurden möglichst solche Formeln ausgewählt, die annähernd / halbwegs über den für das jeweilige Taxon gemessenen Längenbereich gehen. Für einige Gleichungen ist in der Literatur allerdings kein Längenbereich angegeben. Bei der Längen-Trockengewichts (DW) Relation von Bosminen basiert die Punkteverteilung auf Gleichungen von Bottrell et al. (1976), Rosen (1981), Culver et al. (1985) sowie Michaloudi (2005). Es wurden auch hier möglichst solche Formeln ausgewählt, die annähernd / halbwegs über den für das jeweilige Taxon gemessenen Längenbereich gehen. Die jeweiligen Ausgleichsfunktionen basieren auf der Gleichung:  $Y = a * X^b$



**Abb. 8:** Längen-Trockengewichts (DW) Relation von *Diaphanosoma*, *Ceriodaphnia* und *Chydorus*. Die Punkteverteilung basiert auf Regressionsformeln aus Padisák & Adrian (1999), O'Brien & deNoyelles (1974), Dumont et al. (1975), Bottrell et al. (1976), Pace & Orcutt (1981), Rosen (1981), Culver et al. (1985) und Michaloudi (2005). Es wurden möglichst solche Formeln ausgewählt, die annähernd / halbwegs über den für das jeweilige Taxon gemessenen Längenbereich gehen. Für einige Gleichungen ist in der Literatur allerdings kein Längenbereich angegeben. Die jeweiligen Ausgleichsfunktionen basieren auf der Gleichung:  $Y = a * X^b$



**Abb. 9:** Differenzierung der Cladoceren nach morphologischen Gesichtspunkten. Die Basis bildet die jeweilige Körperform.

Bythotrephes					DW [µg]
Stadium	Länge [mm]	Rosen (1981)*	Burkhardt (1994)	Garton et al. (1990)	Cummins et al. (1969)
1	2,01	71,69	20-150	28-80	
2	2,62	126,82	50-400	66-166	
3	3,12	184,68	100-600	155-303	
Leptodora					DW [µg]
	2				50
	4	17,8			80
	6	52,6			130
	8	113,3			180
	10	205,6			210
	12	334,5			250

**Tab. 5:** Zusammenfassende Trockenmassenangaben (ca. Angaben) für Raubcladoceren in Abhängigkeit des Stadiums (Bythotrephes 1 Stachel bis 3 Stachel) bzw. der Länge (Leptodora). Die Angaben für Längen Gewichtsbeziehungen von Bythotrephes basieren überwiegend auf der Länge des Terminalstachels und auf Angaben zu *B. cederstroemii*. Die Beziehung zwischen Körperlänge und Länge des Terminalstachels ergeben sich z.B. aus den Daten in Burkhardt (1994). Bei den Angaben zu Rosen (1981) wurde für Bythotrephes die Formel für *Polyphemus pediculus* benutzt.

**LW:W**

Bythotrephes	Parameter		
	Ina	b	r2
Daphnia spp.	1,7133	2,828	0,933
Bosmina spp.	3,1747	2,8823	0,919
Diaphanosoma spp.	1,321	2,6742	0,96
Ceriodaphnia spp.	2,5199	2,9096	0,925
Chydorus spp.	4,1232	3,4065	0,897

LUBW

Tab. 6: Verwendete Gleichungen zur Berechnung der Trockenmasse von planktischen Cladoceren (ohne Raubcladoceren) ermittelt aus den Abbildungen 7 und 8. r2 = Korrelationskoeffizienten der Exponentialfunktion.

Daphnia Länge [mm]	aus Abbildung	Bottrell et al. 1976 (1)	Bottrell et al. 1976 (2) mit Eiern	DW [µg] Bottrell et al. 1976 (3) mit Eiern
0,4	0,42	0,37	0,49	0,32
0,5	0,78	0,69	0,90	0,61
0,6	1,31	1,16	1,48	1,02
0,7	2,02	1,80	2,24	1,58
0,8	2,95	2,63	3,22	2,31
0,9	4,12	3,67	4,44	3,22
1	5,55	4,95	5,91	4,34
1,1	7,26	6,49	7,66	5,68
1,2	9,29	8,31	9,70	7,27
1,3	11,65	10,43	12,06	9,12
1,4	14,37	12,88	14,75	11,25
1,5	17,46	15,67	17,79	13,67
1,6	20,96	18,82	21,19	16,41
1,7	24,88	22,35	24,99	19,48
1,8	29,24	26,29	29,19	22,90
1,9	34,07	30,66	33,80	26,68
2	39,39	35,46	38,86	30,85
2,1	45,22	40,74	44,36	35,42
2,2	51,58	46,49	50,34	40,40
2,3	58,48	52,74	56,80	45,81
2,4	65,97	59,52	63,76	51,68
2,5	74,04	66,84	71,24	58,00
2,6	82,72	74,71	79,25	64,81
2,7	92,04	83,17	87,81	72,11
2,8	102,01	92,21	96,93	79,93
2,9	112,65	101,88	106,62	88,27
3	123,99	112,17	116,91	97,15
3,1	136,03	123,12	127,80	106,60
3,2	148,81	134,74	139,31	116,62

LUBW

Tab. 7: Trockenmassen der aspektbestimmenden Plankton-Cladoceren (Gattung Daphnia) in Abhängigkeit von der Körperlänge (Gesamtlänge ohne Spina). Die jeweiligen Trockenmassen wurden nach den in Tab. 6 vorgegebenen Formeln berechnet bzw. den in Bottrell et al. (1976) angegebenen Formeln für Daphnia. Die Angaben Bottrell et al. (2) beziehen sich auf eitrtragende Weibchen; in Bottrell et al. (3) auf Individuen ohne Eier. Gelb markiert sind 1 mm Abstufungen.

Bosmina Länge [mm]	aus Abbildung	Bottrell et al. (1976)	Dumont et al. (1976), eitrtragend	DW [µg] nach Bosmina berechnet
0,2	0,23	0,16		
0,3	0,74	0,57		
0,4	1,7	1,36		
0,5	3,23	2,67		
0,6	5,46	4,65		
0,7	8,52	7,43		
0,8	12,51	11,15		
0,9	17,57	15,95		
1	23,81	21,97		
Diaphanosoma				
0,3	0,15	0,13		
0,4	0,32	0,31		
0,5	0,59	0,61		
0,6	0,96	1,07		
0,7	1,44	1,71		
0,8	2,06	2,57		
0,9	2,83	3,68		
1	3,75	5,07		
1,1	4,83	6,78		
1,2	6,1	8,84		
1,3	7,56	11,29		
1,4	9,21	14,15		
Ceriodaphnia				
0,2	0,11	0,06		
0,3	0,37	0,23		
0,4	0,86	0,61		
0,5	1,65	1,28		
0,6	2,81	2,36		
0,7	4,4	3,95		
Chydorus				
0,2	0,26	0,16	0,17	
0,3	1,02	0,79	0,91	
0,4	2,72	2,43	2,95	
Holopedium				
0,3				0,70
0,4				1,70
0,5				3,23
0,6				5,46
0,7				8,52
0,8				12,52
0,9				17,57
1				23,81
1,1				31,33
1,2				40,27

LUBW

Tab. 8: Trockenmassen aspektbestimmender Plankton-Cladoceren in Abhängigkeit von der Körperlänge (Gesamtlänge). Die Berechnung erfolgte nach den in Tab. 6 vorgegebenen Formeln. Bei der Gattung Diaphanosoma wurde auch die in Bottrell et al. (1976) angegebene Formel für D.brachyurum und bei der Gattung Ceriodaphnia die für C.quadrangula benutzt. Bei der Gattung Chydorus wurde zusätzlich die in Dumont et al. (1975) angegebene Formel für C.sphaericus benutzt. Die für die Gattung Holopedium angegebenen Werte wurden nach der Formel für Bosmina berechnet.

Gesamtlänge (und Breite) gemessen wurde. Da bei *Holopedium* Länge und Breite überwiegend gleich sind, wurde die Gleichung für Bosminen verwendet, die ebenfalls ähnliche Längen - Breiten Relationen aufweisen. Die auf diese Weise ermittelten Trockenmassen zeigt ebenfalls **Tab. 8**.

Bei den Daphnien wäre zu überlegen, ob man bei *D. cucullata* als stark helm bildendem Taxon nicht auf die Gleichung von Lampert & Taylor (1985) zurückgreift, die auf konkreten Messungen von Oberkante Auge bis Spinabasis beruht. Eine bei diesem Taxon ebenfalls gangbare, wenn auch mit einiger Subjektivität behaftete Lösung wäre, dass man bei der Gesamtlängenmessung den oberen Teil des Helmes (meist deutlich bei Sommertieren) nicht mit berücksichtigt (vgl. **Abb. 6**).

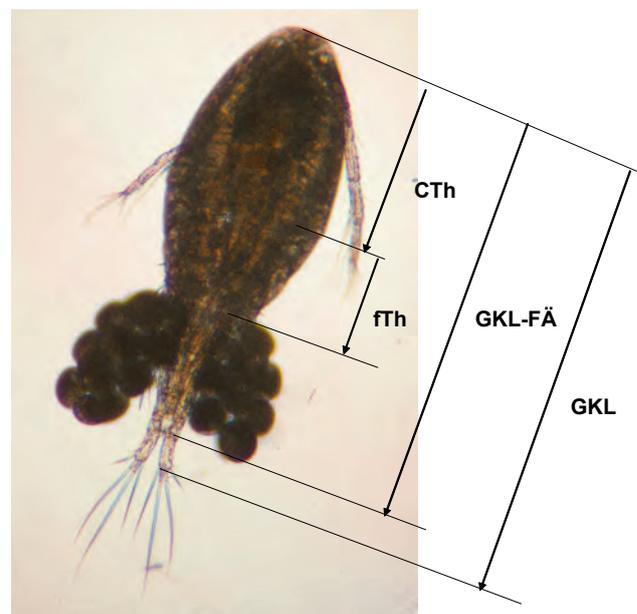
Für Raubcladoceren schlagen wir (in Anlehnung an *Bythotrephes* 1-stachel, 2-stachel, 3-stachel Stadien) eine Differenzierung in 3 Größenklassen vor, für die jeweils feste Trockenmassen festgelegt werden. Eine derartige Vorgehensweise halten wir für ausreichend genau, da Raubcladoceren i.d.R. nur in geringer Abundanz vorkommen. Eine ähnliche Verfahrensweise liefert sicherlich auch für planktische höhere Krebse (Mysidaceen) genügend genaue Ergebnisse. Von einer Einrechnung der *Chaoborus* Larven in die Zooplanktonmasse raten wir ab, da *Chaoborus* Larven in Tagfängen nicht quantitativ erfasst werden. Grundsätzlich ist die Unterscheidung diskreter Größenklassen aber nur bei konkreten Fragestellungen sinnvoll.

### 3.2. Copepoda

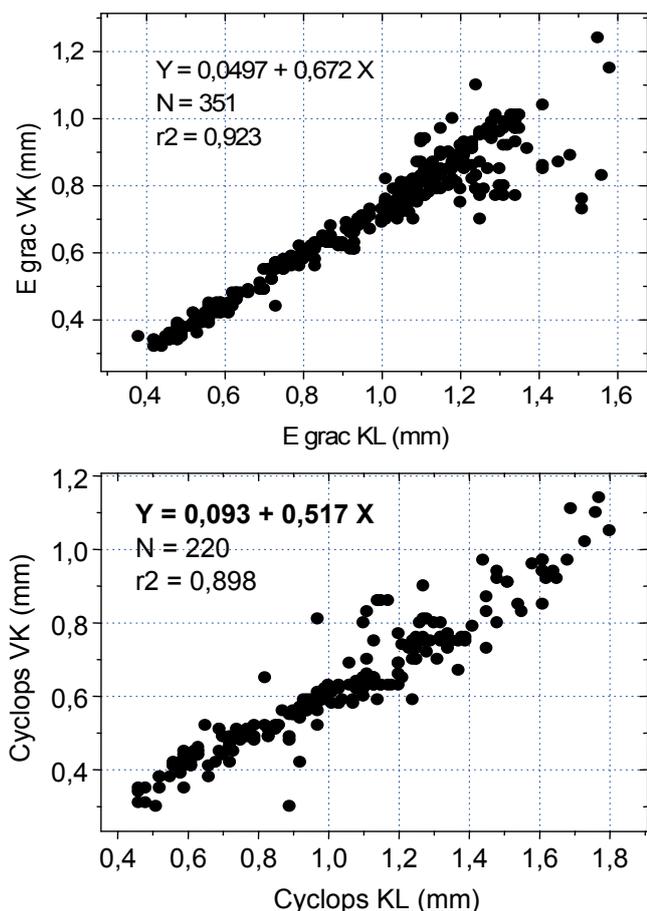
Die Regressionparameter der Trockenmassen-Berechnung der **Copepoden** beruhen z.T. auf sehr unterschiedlichen Messstrecken (**Abb. 10**). Neben der Gesamtlänge (Kopfspitze bis Ende Furkaläste – ohne Furkalborsten), existieren Regressionsparameter, die auf der Gesamtlänge ohne Furkaläste, der Cephalothoraxlänge sowie der Länge der freien Thorakalsegmente beruhen. Erschwerend kommt hinzu, dass die in der Literatur angeführten Messstrecken z.T. nicht klar definiert sind. Beispielsweise ist mit der Angabe „Thorakalsegmente“ vermutlich die Messstrecke „Vorderkörper = Cephalothorax + freie Thoraxsegmente“ gemeint.

Für heimische Arten / Taxa wird oft die Gesamtlänge (Kopfspitze bis Ende Furkaläste – ohne Furkalborsten) angegeben. Diese Messstrecke halten wir für ausreichend genau, wenn auch in Einzelfällen (*Diacyclops bicuspidatus*) die Furkaläste vergleichsweise lang sein können. Die Messstrecken Cephalothoraxlänge oder Länge freie Thorakalsegmente halten wir für weniger praktikabel, da die Segmentgrenzen bei in den Planktonkammern liegenden Individuen nicht immer deutlich sichtbar sind. Gut messbar (und selbst an Individuen mit „abgeknicktem“ Abdomen durchführbar) ist dagegen die Vorderkörperlänge. Den Zusammenhang zwischen Vorderkörperlänge und Gesamtlänge für wichtige calanoide und cyclopoide Copepoden zeigt **Abb. 11**. Der Anteil der Vorderkörperlänge an der Gesamtlänge liegt bei den aspektbestimmenden Calanoiden (Gattung *Eudiaptomus*) bei 70 bis 75 %, bei cyclopoiden Copepoden überwiegend zwischen 55 und ca. 60 %.

Die Körperlängen (Bereiche) einzelner Stadien von Copepoden „Gruppen“ zeigt **Tab. 9**. In dieser Tabelle wurde zwischen calanoiden Copepoden (Gattungen *Eudiaptomus*, *Acanthodiaptomus*, *Mixodiaptomus*), kleinen cyclopoiden Copepoden (*Acanthocyclops*, *Diacyclops*, *Mesocyclops*, *Thermocyclops*) und großen cyclopoiden Copepoden (Gattung *Cyclops*) differenziert. Diese Klassifizierung halten wir für ausreichend genau, wenngleich *Acanthocyclops* als eher mittelgroße Art schon zu den großen Taxa *Cyclops*,



**Abb. 10:** Messstrecken bei Copepoden. CTh = Cephalothorax Länge; fTh = Länge freie Thorakalsegmente; GKL - FÄ = Gesamtlänge ohne Furkaläste; GKL = Gesamtlänge (ohne Furkalborsten).



**Abb. 11:** Beziehung zwischen der Gesamtlänge (Kopfspitze bis Ende Furkaläste; ohne Furkalborsten) und der Vorderkörperlänge (Cephalothorax + freie Thoraxsegmente) bei ausgewählten calanoiden Copepoden (*Eudiaptomus gracilis* und *E. graciloides*) und cyclopoiden Copepoden (*Cyclops vicinus* und *C. abyssorum*).

*Megacyclops* überleitet. Bei den calanoiden Copepoden ist in Baden-Württemberg *Eudiaptomus gracilis* das bei weitem häufigste Taxon; *E. graciloides* ist uns nur aus wenigen Seen bekannt. *Mixodiaptomus laciniatus* und *Acanthodiaptomus denticornis* sind ebenfalls selten. Vorkommen gibt es z.B. im Titisee. Bei den Calanoiden liegt die Streuung der Längen der einzelnen Stadien überwiegend im Bereich von ca. 200 bis 300 µm. Bei den Adulten ergeben sich – saisonal bedingt – Spannen / Abweichungen der Längen von bis zu ca. 500 µm. Bei den cyclopoiden Copepoden sind bei den Nauplien und ersten 3 Copepodidstadien Längenabweichungen von ca. 200 bis 400 µm möglich. Für ältere Copepodidstadien und Adulte ergibt sich allerdings eine Abweichungsspanne von bis zu ca. 800 µm (weibl. Cyclopoide groß).

Den Zusammenhang zwischen Körperlänge und Trockenmasse für calanoide und cyclopoide Copepoden zeigt die **Abb. 12**. Die in der Literatur angegebenen Gleichungen für *C. vicinus* sowie einige Gleichungen für *M. leuckarti*

und *T. crassus* beziehen sich auf die Gesamtlänge ohne Furkaläste. Sofern diese Gleichungen verwendet wurden, wurde die Messstrecken-Basis korrigiert. Beispielsweise liegt der Anteil der Messstrecke Gesamtlänge ohne Furkaläste an der Gesamtlänge mit Furkalästen bei adulten *C. vicinus* bei ca. 86 %, bei adulten „Meso-“, und „Thermocyclophen“ bei 91 bis 94 %.

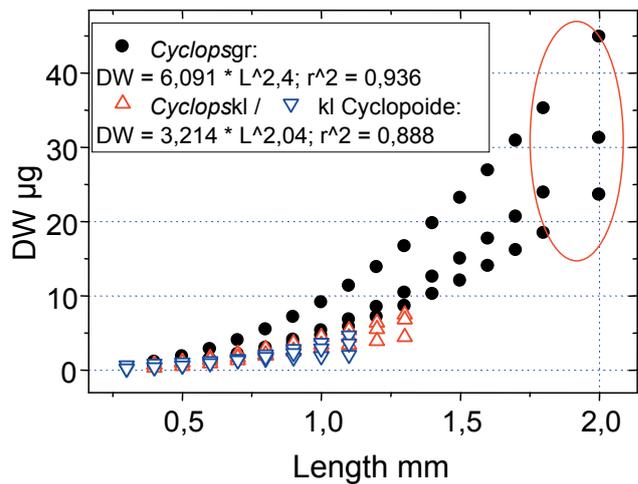
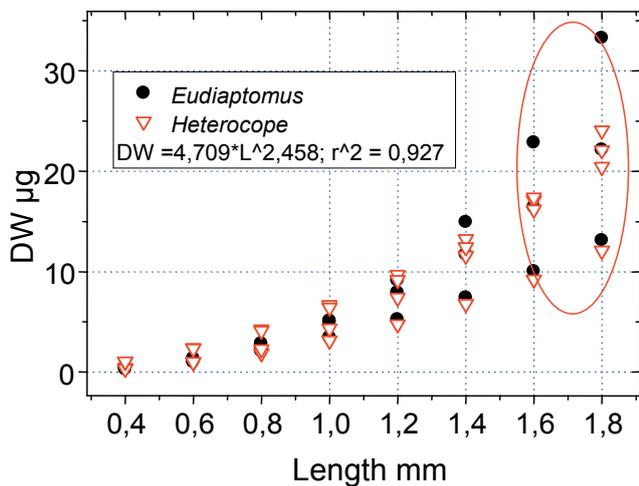
Auch bei den Copepoden können die aus den Längen berechneten Trockenmassen je nach verwendeter Gleichung um den Faktor von ca. 2 abweichen. Beispielsweise wiegt ein 1,6 mm großer calanoider Copepode knapp 10 bzw. > 20 µg, ein 2,0 mm langer cyclopoider Copepode ca. 25 bis 45 µg. Rechnet man mit den in **Tab. 10** gelisteten Regressionsparametern, so ergeben sich die in **Tab. 11** angegebenen Trockenmassen.

Ein Vergleich mit der Literatur zeigt, dass die hier berechneten Trockenmassen eher an der unteren Grenze der Literaturangaben liegen (**Tab. 12** und **13**).

Taxa	Stadium	Bereich (mm)
Calanoide	N1 - N6	0,14 - 0,48
	C1	0,42 - 0,63
	C2	0,51 - 0,83
	C3	0,69 - 0,99
	C4	0,83 - 1,17
	C5	0,87 - 1,23
	♂	0,97 - 1,51
Cyclopoide klein	♀	1,05 - 1,58
	N1 - N6	0,11-0,23*
	C1	0,30 - 0,46
	C2	0,36 - 0,51
	C3	0,38 - 0,68
Cyclopoide groß	C4	0,48 - 0,91
	C5	0,51 - 1,10
	♂	0,51 - 1,07
	♀	0,66 - 1,39
	N1 - N6	0,15 - 0,42*
	C1	0,42 - 0,66
	C2	0,54 - 0,92
	C3	0,64 - 1,03
	C4	0,75 - 1,34
	C5	0,87 - 1,77
	♂	0,77 - 1,45
	♀	1,06 - 1,90

**LW:W**

**Tab. 9:** Größenmessungen an Copepoden. Die Angaben beziehen sich auf die Gesamtlänge (= Kopfspitze bis Ende Furkaläste; ohne Furkalborsten!). Die Angaben basieren auf insgesamt ca. 2000 Einzelmessungen. Die Messungen an Calanoiden wurden an *Eudiaptomus gracilis*, *E. graciloides* und *Mixodiaptomus laciniatus* durchgeführt. Die Angaben zu kleinen cyclopoiden Copepoden basieren auf Messungen an *Acanthocyclops robustus*, *Mesocyclops leuckarti*, *Thermocyclops crassus* und *T. oithonoides*, die zu großen cyclopoiden Copepoden auf Messungen an *Cyclops abyssorum*, *C. vicinus*, *C. strenuus landei*. \* Daten ergänzt nach Hopp (2002).



**Abb. 12:** Längen-Trockengewichts-Relation von calanoiden (links) und cyclopoiden Copepoden (rechts) Die Punkteverteilung der calanoiden Copepoden basiert auf Gleichungen von Bottrell et al. (1976) und Persson & Ekbohm (1980), die der cyclopoiden Copepoden auf Gleichungen von Burgis (1974), Bottrell et al. (1976) und Persson & Ekbohm (1980). Cyclops groß, umfasst die Taxa *C. abyssorum*, *C. vicinus* und *C. strenuus*. Cyclops klein bezieht sich auf den in Skandinavien häufigen *Cyclops scutifer*, kl Cyclopoide bezieht sich auf die Taxa *Mesocyclops* und *Thermocyclops*. Die in der Literatur angegebene Regressionsgleichung für einige Taxa beziehen sich auf die Gesamtlänge ohne Furkaläste; hier wurden die Längenmessungen korrigiert, d. h. auf Gesamtlänge (inklusive Furkaläste) nach den zur Verfügung stehenden Messdaten hochgerechnet (siehe Text). Die jeweiligen Ausgleichsfunktionen basieren auf der Gleichung:  $Y = a * X^b$ .

Taxon	In a	Paramoto b	r <sup>2</sup>
Calanoide	1,5494	2,4581	0,927
Cyclopoide gr.	1,8069	2,3991	0,936
Cyclopoide mi / kl	1,1685	2,0376	0,888

LUBW

**Tab. 10:** Verwendete Gleichungen zur Berechnung der Copepodentrockenmasse. Die Angaben zu In a bzw. b sind eine Zusammenfassung (Ausgleichsfunktion) zu den Werten in Abb. 12. r<sup>2</sup> sind die Korrelationskoeffizienten aus der jeweiligen Exponentialfunktion. Die Regressionsparameter beziehen sich auf die Gesamtlänge (Kopfspitze bis Ende Furkaläste; ohne Furkalborsten).

Länge [mm]	Cyclopoide		
	Calanoide	groß	klein
0,1			0,03
0,2	0,08	0,13	0,12
0,3	0,22	0,34	0,28
0,4	0,45	0,68	0,5
0,5	0,8	1,15	0,78
0,6	1,27	1,79	1,14
0,7	1,89	2,59	1,55
0,8	2,66	3,57	2,04
0,9	3,59	4,73	2,59
1	4,7	6,09	3,22
1,1	5,99	7,66	3,9
1,2	7,48	9,43	4,66
1,3	9,17	11,43	5,49
1,4	11,08	13,66	
1,5	13,22	16,11	
1,6	15,58	18,81	
1,7	18,19	21,76	
1,8	21,05	24,95	
1,9		28,41	
2		32,13	

LUBW

**Tab. 11:** Längen Trockenmassegewichts-Relation von calanoiden und cyclopoiden Copepoden (groß, klein) berechnet nach den Gleichungsparametern aus Tab. 10.

Länge [mm]	aus Abbildung gepoolt	Dumont et al. 1975	Persson & Ekbohm 1980*
0,4	0,45		0,27
0,5	0,8		0,56
0,6	1,27	2,33	1
0,7	1,89	3,34	1,63
0,8	2,66	4,56	2,5
0,9	3,59	6	3,64
1	4,7	7,68	5,1
1,1	5,99	9,57	6,92
1,2	7,48	11,73	9,13
1,3	9,17	14,15	11,79
1,4	11,08	14	14,93
1,5	13,22		18,61
1,6	15,58		22,87
1,7	18,19		27,75
1,8	21,05		33,31

\*berechnet für *E. graciloides*

LUBW

**Tab. 12:** Vergleich der hier berechneten Trockenmasse von calanoiden Copepoden (DW aus Abbildungen) mit ausgewählten Angaben aus der Literatur.

Länge [mm]	gepooled aus Abbildungen	Copepodite <sup>1</sup>	Adult mit Eier <sup>1</sup>	Adult ohne Eier <sup>1</sup>	C. abyssorum <sup>2</sup>	M. leuckarti <sup>2</sup>	Cyclopoida klein
0,4	0,48				1,11	0,36	0,78
0,5	0,84	1,41			1,85	0,6	1,14
0,6	1,31	1,99			2,82	0,91	1,55
0,7	1,92				4,01	1,29	2,04
0,8	2,67	3,42	4,95	3,74	5,46	1,74	2,59
0,9	3,58	4,27	6,84	5,07	7,15	2,27	3,22
1	4,64	5,22	9,16	6,68	9,12	2,88	3,9
1,1	5,87	6,24	11,88	8,53	11,35	3,57	4,66
1,2	7,28		15,13	10,7	13,86	4,34	5,49
1,3	8,88				16,67		
1,4	10,66		23,14	15,97	19,76		
1,5	12,65				23,16		
1,6	14,84		33,45	22,59	26,87		
1,7	17,23				30,89		
1,8	19,85		46,23	30,63	35,23		
1,9	22,69				39,9		
2	25,76		61,91	40,32	44,89		

<sup>1</sup> Dumont et al. (1975) <sup>2</sup> Bottrell et al. 1976



**Tab. 13:** Vergleich der hier berechneten Trockenmassen von cyclopoiden Copepoden mit ausgewählten Angaben aus der Literatur. Die Angaben nach Dumont et al. (1975) beziehen sich auf adulte Individuen mit und ohne Eier.

In **Tab. 14** sind morphometrische Angaben zu den Eiern wichtiger Plankton-Crustaceen sowie Angaben zu den Eitrockenmassen aufgelistet. Die Längen der Cladoceren-Eier liegen zwischen ca. 0,1 und knapp 0,3 mm, die Durchmesser der Copepoden-Eier zwischen 0,06 und 0,16 mm. Die Trockenmassen der Eier liegen zwischen 0,12 und ca. 0,7 µg (Dumont et al. 1975).

Rechnet man mit diesen Trockenmassenwerten unter Berücksichtigung des Anteils der Eiträger sowie der Gelegegröße so zeigt sich, dass für die 3 untersuchten Seen (Baggerseen unterschiedlicher Trophie in der Rheinebene) die Anteile der Eimassen überwiegend unter 10 %, im Maximum (FB338, Oktober) bei ca. 25 % liegen (**Abb. 13**).

Taxon	Länge [mm]	Breite [mm]	Länge [mm] <sup>1</sup>	DW [µg] <sup>1</sup>
Daphnia galeata / hyalina	0,220 - 0,280	0,150 - 0,220	0,198	0,71
Bosmina longirostris	0,11	0,09	0,162	0,2
(Eu)Bosmina spp.	0,180 - 0,190	0,110 - 0,140		
Chydorus cf. sphaericus	0,135	0,085		
Ceriodaphnia pulchella / quadrangula	0,140 - 0,180	0,070 - 0,130	0,162	0,35
Eudiaptomus spp.	0,096 - 0,120			
Mixodiaptomus laciniatus	0,120 - 0,160			
Acanthocyclops robustus	0,081			
Cyclops spp.	0,110 - 0,130			
Mesocyclops leuckarti	0,070 - 0,080			
Thermocyclops crassus / oithonoides	0,060 - 0,090			0,12

<sup>1</sup> Dumont et al. (1975)

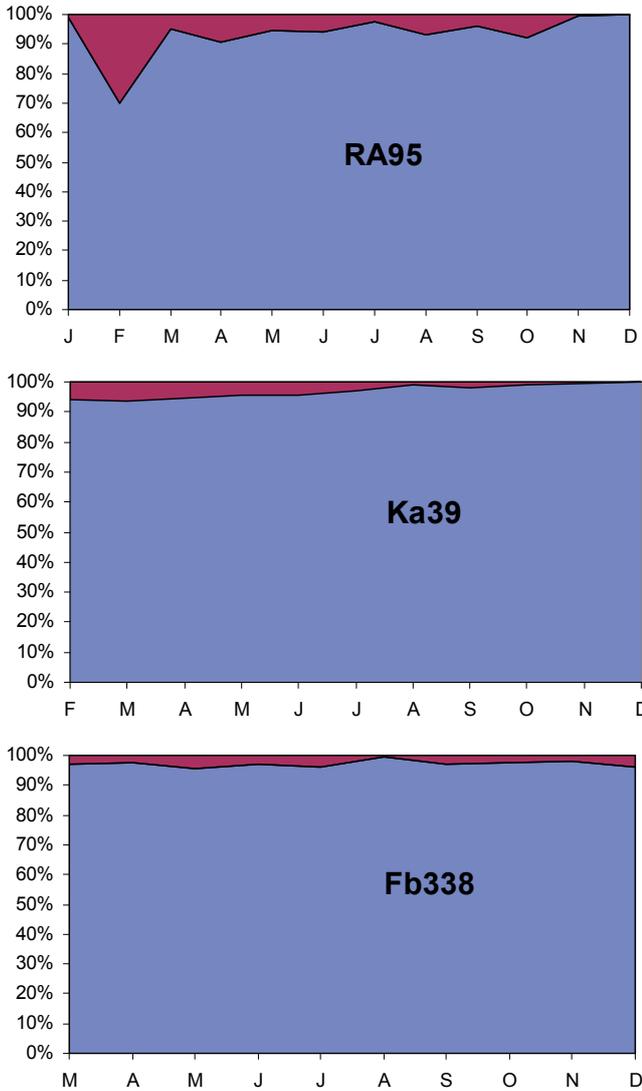


**Tab. 14:** Längen, Breiten der Eier wichtiger Planktoncrustaceen von Individuen aus Seen Baden-Württembergs sowie Angaben zur Länge und zur Trockenmasse (DW) nach Dumont et al. (1975). Bei Copepoden, deren Eier rund sind wurde nur der Durchmesser (bzw. die „Länge“) angegeben.

## 4. Biovolumen vs. Trockenmassegewicht

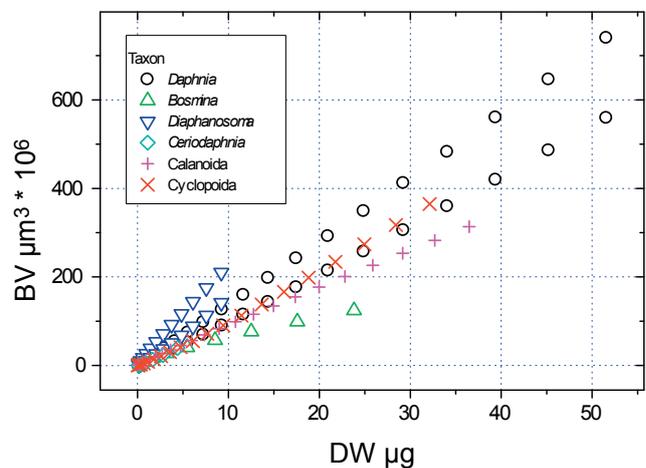
Obwohl die Biomasse der Crustaceen – wie bereits genannt - überwiegend als Trockenmasse berechnet wird, findet auch eine „Massenerfassung“ als Biovolumen Verwendung. Eine Auswahl von Formeln zur Berechnung des Biovolumens bzw. der Frischmasse findet sich etwa in Hoehn et al. (1998) bzw. in Edmondson & Winberg (1971). Einen Teil der dort gelisteten Formeln zeigt **Tab. 15**. Unter der sehr groben Annahme (vgl. Sedimentationszeiten Teil 2) dass das Volumen der Zooplankter grob der Frischmasse entspricht gilt  $1 \mu\text{g} = 10^6 \mu\text{m}^3$ . Rechnet man mit den in **Tab. 15** gelisteten Formeln so ergeben sich die in **Abb. 14** dargestellten Zusammenhänge zwischen Biovolumen/Frischmasse und Trockenmasse, wonach der Anteil der Trockenmasse am Biovolumen/ der Frischmasse erwartungsgemäß bei ca. 10 % liegt.

$$\text{Grundgleichung: Biovolumen (mm}^3\text{)} = a * L^b$$



**Abb. 13:** Prozentuale Anteile der Ei-Trockenmassen des Crustaceenplanktons an der Gesamttrockenmasse der Crustaceen in 3 Baggerseen unterschiedlicher Trophie aus Baden-Württemberg.

**Abb. 14:** Zusammenhang zwischen Trockenmasse (DW) und Biovolumen (BV) für einige wichtige Crustaceen Taxa. Die Berechnung basiert auf Formeln aus Pechen (1965), Korobozowoi (1973), Bottrell et al. (1976), Klekowski & Shushkina (1966).



	a	b	Quelle
Bosmina	0,124	2,181	Pechen 1965
Ceriodaphnia	0,1296	3,338	Bottrell et al. 1976
Daphnia	0,052	3,012	Pechen 1965
Daphnia	0,074	2,92	Korobozowoi (1973)
Diaphanosoma	0,092	2,449	Pechen 1965
Diaphanosoma	0,0507	3,0468	Bottrell et al. 1976
Calanoide Copepoda	0,045	2,33	Bottrell et al. 1976
Cyclopoide Copepoda	0,055	2,73	Klekowski & Shushkina (1966)

**Tab. 15:** Auswahl an Formeln zur Berechnung des Biovolumens (bzw. Frischgewichtes) aus der Zusammenstellung in Edmondson & Winberg (1971) und Hoehn et al. (1998). Grundgleichung: Biovolumen (mm<sup>3</sup>) = a \* L<sup>b</sup>

Taxon	Stadium	Länge [mm] Spanne	Länge [mm] Mittel	DW (µg)
Daphnia	Juv. Klein	0,33-1,02	0,60	1,32
Daphni	Ad.. klein	0,60-1,53	1,04	6,20
Daphnia	Juv. mittel	0,56-1,48	0,99	5,39
Daphnia	Ad. mittel	0,99-2,15	1,67	23,66
Daphnia	Juv. gr.	0,67-1,85	1,08	6,90
Daphnia	Ad. gr.	1,74-3,02	2,53	76,58
Bosmina	Juv.	0,29-0,36	0,28	0,61
Bosmina	Ad.	0,32-0,45	0,37	1,30
Eubosmina	Juv.	0,20-0,42	0,34	1,06
Eubosmina	Ad.	0,28-0,97	0,59	5,20
Ceriodaphnia	Juv.	0,27-0,46	0,36	0,64
Ceriodaphnia	Ad.	0,34-0,65	0,53	1,96
Diaphanosoma	Juv.	0,37-0,61	0,49	0,56
Diaphanosoma	Ad.	0,64-1,21	0,81	2,13
Calanoide	N1-N6	0,14 - 0,48	0,27	0,19
	C1	0,42 - 0,63	0,49	0,82
	C2	0,51 - 0,83	0,67	1,76
	C3	0,69 - 0,99	0,84	3,07
	C4	0,87 - 1,17	0,97	4,37
	C5	0,87 - 1,23	1,06	5,43
	m.T.	1,01 - 1,51	1,16	6,78
	w.T.	1,07 - 1,58	1,23	7,83
Cyclopoide klein	N1 - N6	0,11 - 0,23*	0,18	0,10
	C1	0,30 - 0,46	0,40	0,50
	C2	0,36 - 0,51	0,46	0,66
	C3	0,38 - 0,68	0,52	0,85
	C4	0,48 - 0,91	0,67	1,42
	C5	0,51 - 1,10	0,72	1,65
	m.T.	0,51 - 1,07	0,74	1,74
	w.T.	0,66 - 1,39	0,95	2,90
Cyclopoide groß	N1 - N6	0,15 - 0,42*	0,29	0,31
	C1	0,42 - 0,66	0,60	1,79
	C2	0,54 - 0,92	0,74	2,96
	C3	0,64 - 1,03	0,93	5,12
	C4	0,75 - 1,34	1,01	6,24
	C5	0,87 - 1,77	1,24	10,21
	m.T.	0,77 - 1,45	1,23	10,01
	w.T.	1,06 - 1,90	1,45	14,85



**Tab. 16:** Längen (Spanne und Mittelwert) und Trockengewichte (DW) planktischer Crustaceen und ihrer Entwicklungsstadien. Bei Copepoden wurden nur unterschieden zwischen calanoiden und großen bzw. kleinen cyclopoiden Copepoden. Innerhalb der Gruppen sind die Größenunterschiede zwischen den einzelnen Arten nur gering.

# 5. Biomasse

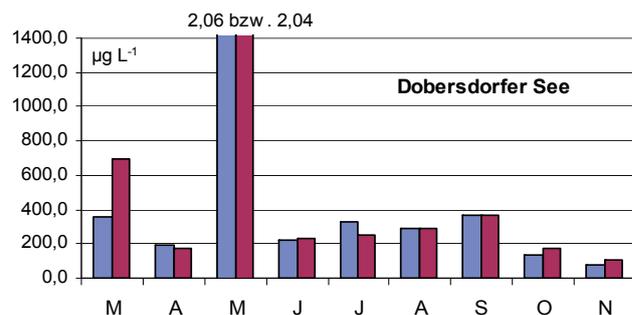
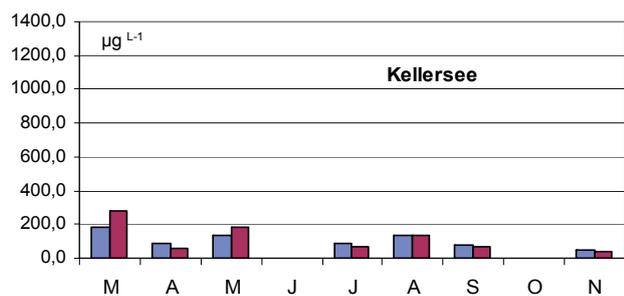
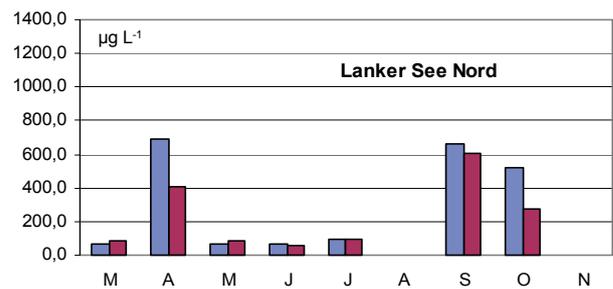
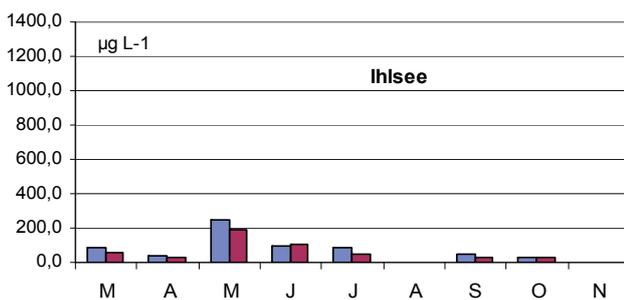
## Trockenmasse Stadien

In Baden-Württemberg wird das Crustaceenplankton traditionell in Stadien gezählt; d. h. Cladoceren werden – abhängig von der Ausbildung des dorsalen Brutraums – nach Juvenilen und Adulten getrennt, die Copepoden nach Stadien (Nauplien, C1 bis C5 Copepodide, Männchen, Weibchen). Der Vorteil dieser Zählweise gegenüber einer reinen Größenklassenerhebung liegt darin, dass biologische Abläufe transparenter werden. Der Nachteil der bisherigen Verfahrensweise liegt darin, dass zumindest Cladoceren bisher nur relativ grob gruppiert werden können.

Einen Überblick über die durchschnittlichen Trockenmassen verschiedener Stadien gibt **Tab. 16**. Die Aufspaltung nach Gruppen / Taxon erfolgte wie bereits besprochen;

Länge mm	Daphnia	Bosmina	Ceriodaphnia	Diaphanosoma	Chydorus	Calanoida	Cyclopoida groß	Cyclopoida klein
0,2		0,23	0,11		0,26	0,08	0,13	0,12
0,4	0,42	1,70	0,86	0,32	2,72	0,45	0,68	0,50
0,6	1,31	5,46	2,81	0,96		1,27	1,79	1,14
0,8	2,95	12,51		2,06		2,66	3,57	2,04
1	5,55	23,81		3,75		4,70	6,09	3,22
1,2	9,29			6,10		7,48	9,43	4,66
1,4	14,37			9,21		11,08	13,66	
1,6	20,96					15,58	18,81	
1,8	29,24					21,05	24,95	
2	39,39						32,13	
2,2	51,58							

**Tab. 17:** Vergleich der Trockenmassen (in µg) verschiedener Taxa. Länge in 0,2 mm Abständen.



**Abb. 15:** Trockenmasse (DW) der Crustaceen in 4 Seen Schleswig-Holsteins berechnet nach einer genaueren (rot) und mittels einer ungenauen Methode (blau). Bei der genaueren Methode wurden die Cladoceren in 300 µm Größenklassen differenziert, die Copepoden nach Stadien und Geschlechtern. Bei gängigen Daphnien (Größenbereich ca. 0,4 bis ca. 2,0 mm) ergaben sich beispielsweise 5 Größenklassen, bei Copepoden (Nauplien, C1 bis C5, und ) ergaben sich 7 Größenklassen.

d.h. *Daphnia* Juv. Mittel bezieht sich beispielsweise auf mittelgroße, juvenile Daphnien (*D. longispina*, *D. galeata*, *D. hyalina*).

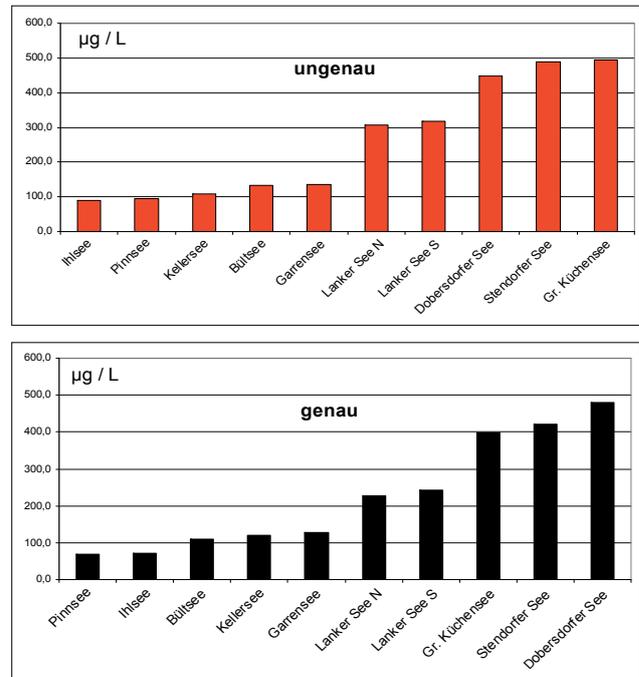
## 6. Vergleich der Taxa

In **Tab. 17** ist die Trockenmasse verschiedener Zooplankton-Taxa gegenübergestellt. Innerhalb der Cladoceren sind bei gleicher Länge die eher rundlichen Taxa *Bosmina* und *Chydorus* am schwersten. Die Ceriodaphnien vermitteln zwischen *Daphnia* / *Diaphanosoma* und den genannten rundlichen „Formen“. Die großen Copepoden (Calanoide, Cyclopoide gr.) liegen bei gleicher Länge in der Trockenmasse ca. bei den Daphnien bzw. etwas unterhalb der Daphnien, wobei bei gleicher Länge die plumperen Cyclopoide gr. in den Trockenmassen über den schlankeren Calanoiden liegen.

# 7. Genau vs. Ungenau

In **Abb. 15** sind die Trockenmassen des Crustaceenplanktons auf der Basis von ungenauen und genaueren Hochrechnungen aufgezeigt. Bei der ungenauen Methode wurde für jedes Taxon eine mittlere Masse (ohne Berücksichtigung von Größenklassen oder Stadien) zugrunde gelegt. Die genauere Hochrechnung basiert auf der Differenzierung von 300 µm Größenklassen (Cladoceren) bzw. den verschiedenen Stadien (Copepoden). Die Abweichungen zwischen genauer versus ungenau können im Einzelfall (Lanker See, April) fast Faktor 2 betragen. Die Spanne der Abweichungen liegt zwischen ca. 1 % (fast identisch) und ca. 90 % (doppelt so hoch). In Anbetracht der möglichen Fehlerquellen sind die Werte aber eigentlich recht ähnlich.

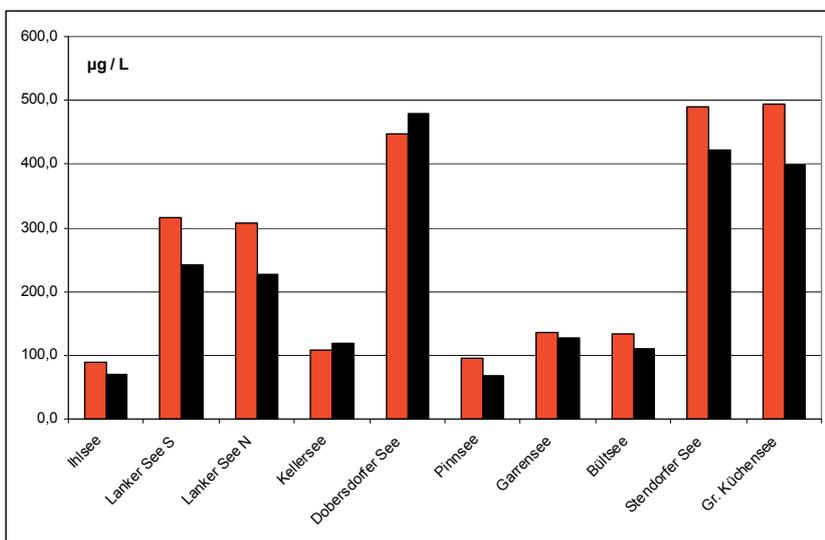
Berechnet man die mittlere Trockenmasse über den Untersuchungszeitraum für 9 Seen (10 Messstellen) aus Schleswig-Holstein, so sind die Abweichungen zwischen genau und ungenau deutlich geringer (zwischen 6 und 28 %; **Abb. 16**). Beide Berechnungs-Verfahren liefern eine ähnliche Seengruppierung (**Abb. 17**). Mit beiden Rechenverfahren weisen die mesotrophen bis schwach eutrophen Seen (Ihlsee, Garrensee, Bültsee, Pinnsee, Kellersee) vergleichsweise geringe Trockenmassen auf, die eutrophen bis hoch eutrophen Seen (Dobersdorfer See, Lanker See, Gr. Kuchensee, Stendorfer See) eine vergleichsweise hohe Trockenmasse. Vor dem Hintergrund, dass beim Monitoring Seen nur in ca. monatlichem Rhythmus beprobt werden, wobei Populations-Maxima und -Minima nur grob, even-



**Abb. 17:** Reihung der Seen mittels der ungenauen Methode und der genauen Methode (vgl. Legende Abb. 16).

tuell auch gar nicht, erfasst werden, liefert die ungenaue Methode noch durchaus zufriedenstellende Ergebnisse.

Nach TGL 27885/01 (1982) einer Vorschrift, die sich auf einen Untersuchungszeitraum von April bis September bezieht, sind Seen mit einer mittleren Zooplankton Trockenmasse von < 100 µg L<sup>-1</sup> als oligotroph, Seen < 300 µg L<sup>-1</sup> als mesotroph und Seen > 300 µg L<sup>-1</sup> als eutroph einzustufen. Bei Aufschlag einer Rotatorienmasse von ca. 10 % werden die hier beispielhaft verwendeten Seen in beiden Berechnungen treffend hinsichtlich ihrer Trophie eingestuft. Ungenaue und genaue Berechnung liefern eine fast identische Seengruppierung.



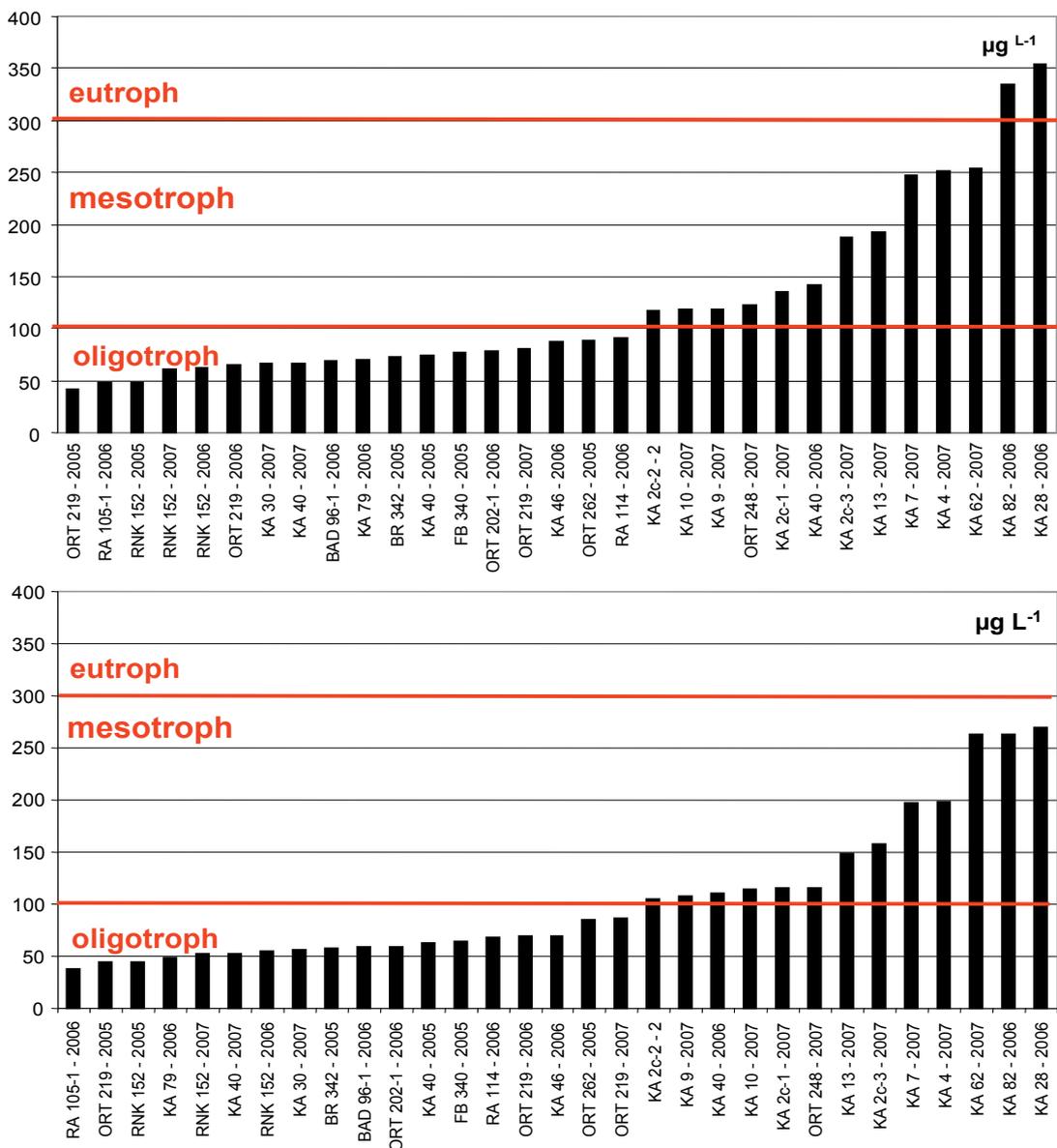
**Abb. 16:** Mittlere Trockenmasse (DW) der Crustaceen in 9 Seen Schleswig-Holsteins berechnet nach einer genaueren (schwarz) und mittels einer ungenaueren (rot) Methode. Bei der genaueren Methode wurden die Cladoceren in 300 µm Größenklassen differenziert, die Copepoden nach Stadien und Geschlechtern. Bei gängigen Daphnien (Größenbereich ca. 0,4 bis ca. 2,0 mm) ergaben sich beispielsweise 5 Größenklassen, bei Copepoden (Nauplien, C1 bis C5, und ) ergaben sich 7 Größenklassen. Bei Cladoceren wurde hinsichtlich der Trockenmasse zwischen den Haupttaxa (Bosmina, Eubosmina, Ceriodaphnia, Chydorus, Daphnia, Diaphanosoma, Leptodora, Bythotrephes) differenziert. Bei den Copepoden zwischen Calanoiden, kleinen Cyclopoiden (Acanthocyclops, Diacyclops Mesocyclops, Thermocyclops) und großen Cyclopoiden (Cyclops, Megacyclops). Lanker See mit 2 Tiefenbecken (Messstellen).

# 8. Hochrechnung vs. Wägung

Für 3 Seen unterschiedlicher Trophie in Baden-Württemberg wurde die hochgerechnete Trockenmasse des Zooplanktons mit der durch Wägung erhaltenen Trockenmasse verglichen. Zur Bestimmung der Trockenmasse durch Wägung wurden nach der Zählung die gesamte Probe über einen Millipore Filter mittels einer Filtriereinheit (Schott) „abgenutscht“, anschließend in einem Wärmeschrank (Heraeus) bei 70 – 80 °C 24 h lang getrocknet und mit einer Feinwaage (Mettler) gewogen. Die Filter wurden vor ihrem Einsatz bereits in getrocknetem Zustand vorgewogen. Die Differenz zwischen Filter

plus Plankton und Filter ergab die Plankton- Trockenmasse. Bei dieser Vorgehensweise ist zu berücksichtigen, dass große Algen (solche, die im Planktonnetz zurückgehalten werden) sowie Verunreinigungen in die Analyse mit einfließen. Die Ergebnisse der Hochrechnung bzw. Wägung zeigt **Abb. 18** (Angaben in  $\mu\text{g m}^{-3}$ ).

Die durch Hochrechnung und Wägung erhaltenen Trockenmassen stimmen für den oligotrophen und mesotrophen See größenordnungsmäßig relativ gut überein (Ausnahme Februar, März KA39). Abweichungen zwischen Hochrechnung und Wägung ergeben sich insbesondere für den eutrophen See und hier besonders für die Sommerwerte. In der warmen Jahreszeit liefert die Wägung z. T. um den Faktor 3 höhere Werte.



**Abb. 19:** Durchschnittliche Trockenmasse des gesamten Zooplanktons in den untersuchten Baggerseen. Obere Graphik Vegetationsperiode (April bis September); untere Graphik gesamtes Untersuchungsjahr. Reihung der Seen nach aufsteigender Masse. Die Schwellenkonzentrationen nach TGL 27885/01 sind rot markiert.

# 9. Einfluss des Probenahme-Zeitraums

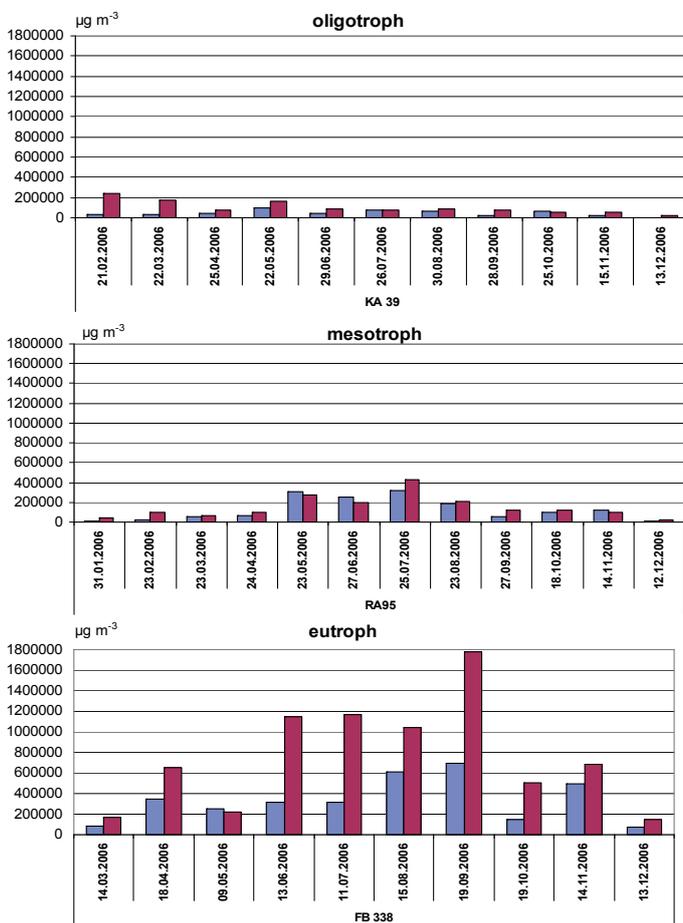
Eine Gruppierung anhand der mittleren Biomasse (Trockenmasse) für 25 Abgrabungsseen (31 Jahresgänge) aus Baden Württemberg während der Vegetationsperiode (April bis September) bzw. im Jahr (Januar bis Dezember) zeigt **Abb. 19**. Kategorisiert man die Seen nach TGL 27885/01 (1982) nach den Mittelwerten über die Vegetationsperiode, so sind 18 von 31 Seen / Jahresgängen dem oligotrophen Typus, 11 Seen / Jahresgänge dem mesotrophen Typus und nur 2 Seen dem eutrophen Seentypus zuzuordnen (**Abb. 19, obere Graphik**). Eine etwas andere Kategorisierung erhält man auf der Basis der Gesamtjahresgänge (mit Winterwerten!), wo 18 Seen / Jahresgänge dem oligotrophen und 13 Seen / Jahresgänge dem mesotrophen Typus zuzuordnen sind (**Abb. 19, untere Graphik**). Hieraus ergibt sich – erwartungsgemäß – dass die Basis der Mittelwertberechnung (der Probenahme Zeitraum) wichtig für die „Eichung“ der Trockenmasse ist. Einen Vergleich der mittleren Trockenmassen über die Ve-

getationsperiode vs. über das gesamte Jahr zeigt **Abb. 20**. In einigen wenigen Fällen sind die Mittelwerte Vegetationsperiode vs. Jahr gleich bzw. die Gesamtjahresmittel sogar geringfügig höher; im Durchschnitt sind die mittleren Massen über die Vegetationsperiode aber um ca. 14 % höher als die Mittel über das Jahr.

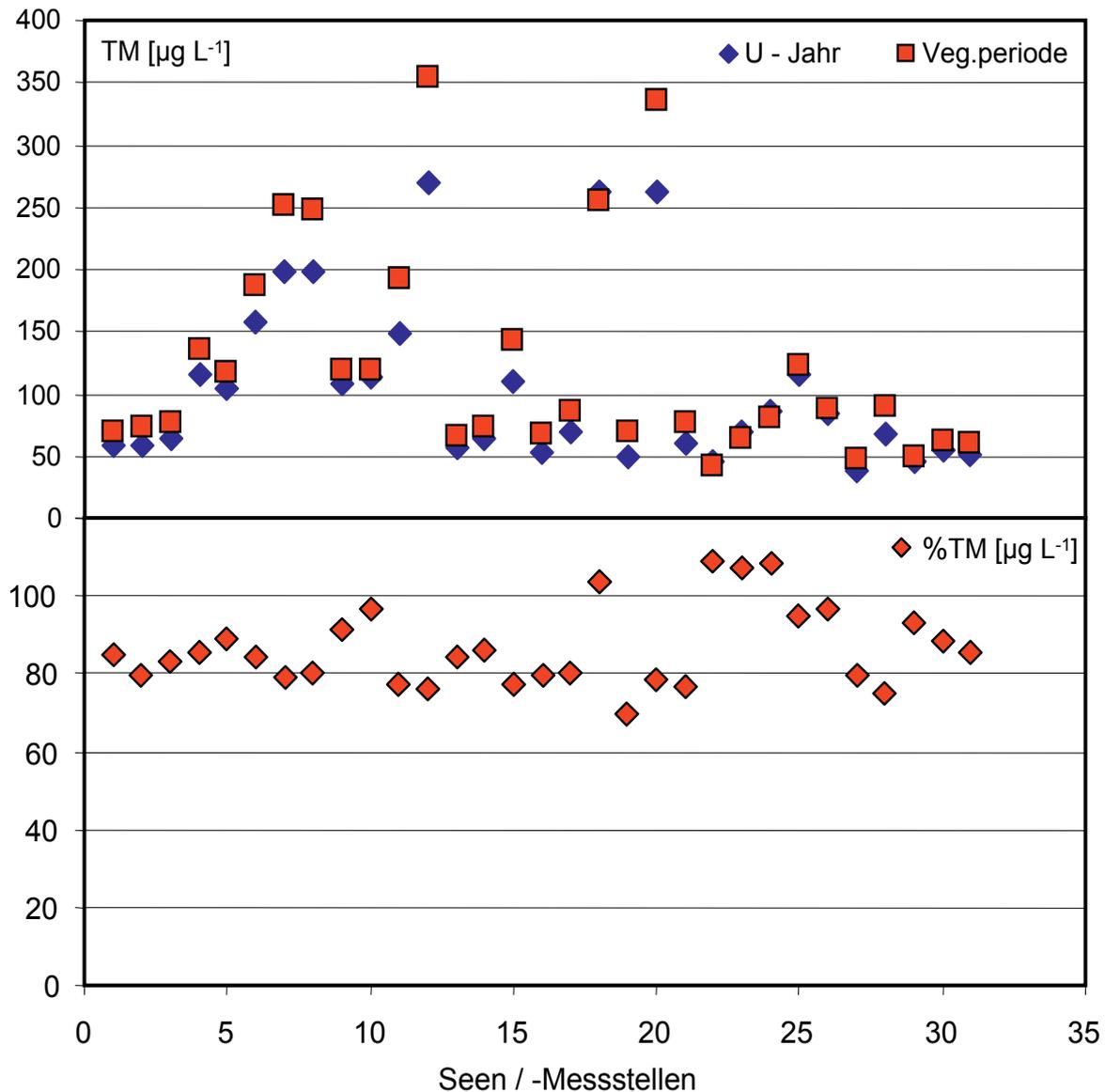
Eine Eichung von Messparametern ist wünschenswert und sollte nicht nur anhand der mittleren Trockenmassen durchgeführt werden. Falls eine Eichung erfolgt, so sollte diese – wie das Beispiel zeigt – nahe liegender Weise für einen definierten / standardisierten Probenahmezeitraum erfolgen. Zu wünschen wäre, dass der Zeitraum für die Probenahme des Zooplanktons an den Zeitraum der Phytoplankton-Probenahme (bisher Vegetationsperiode) angepasst wird (cf. Mischke et al. 2008), obwohl dann evtl. sehr früh bzw. spät im Jahr auftretende Taxa nicht erfasst werden.

Andererseits könnte auch überlegt werden, ob es nicht vernünftiger wäre, den Zeitraum der Phytoplankton-Probenahme (bisher Vegetationsperiode) anzupassen. Der Zeitraum „Vegetationsperiode“ erscheint im Hinblick auf seine geografische Variabilität und die Auswirkungen des

Klimawandels doch eher unglücklich gewählt, zumal nachgewiesen wurde, dass sich jährliche Unterschiede in der Schichtungsstabilität signifikant auf die Bewertung von Seen auswirken (Arp 2011). Natürlich sind einheitliche Termine für die Probenahme begrüßenswert, andererseits ist bislang vollkommen unklar, wie sich das Fehlen von evtl. sehr früh bzw. spät im Jahr auftretende Plankton - Taxa in der Bewertung auswirkte. Die länger anhaltende Temperaturschichtung in Seen, die wahrscheinlich durch den Klimawandel bedingt ist, hat eine verlängerte Vegetationsperiode zur Folge. Bislang ist unbekannt, ob und wenn ja, welche Folgen dies für Ökosysteme hat. Es wäre äußerst bedauerlich, wenn eine „amtlich“ festgelegte Probenahmefrequenz dazu führen würde, dass aktuelle Auswirkungen nicht oder nur mit großer Verzögerung wahrgenommen werden würden.



**Abb. 18:** Hochgerechnete Trockenmasse ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) des gesamten Zooplanktons (blaue Balken) vs. gewogene Trockenmasse (violette Balken) in 3 Abgrabungsseen unterschiedlicher Trophie.

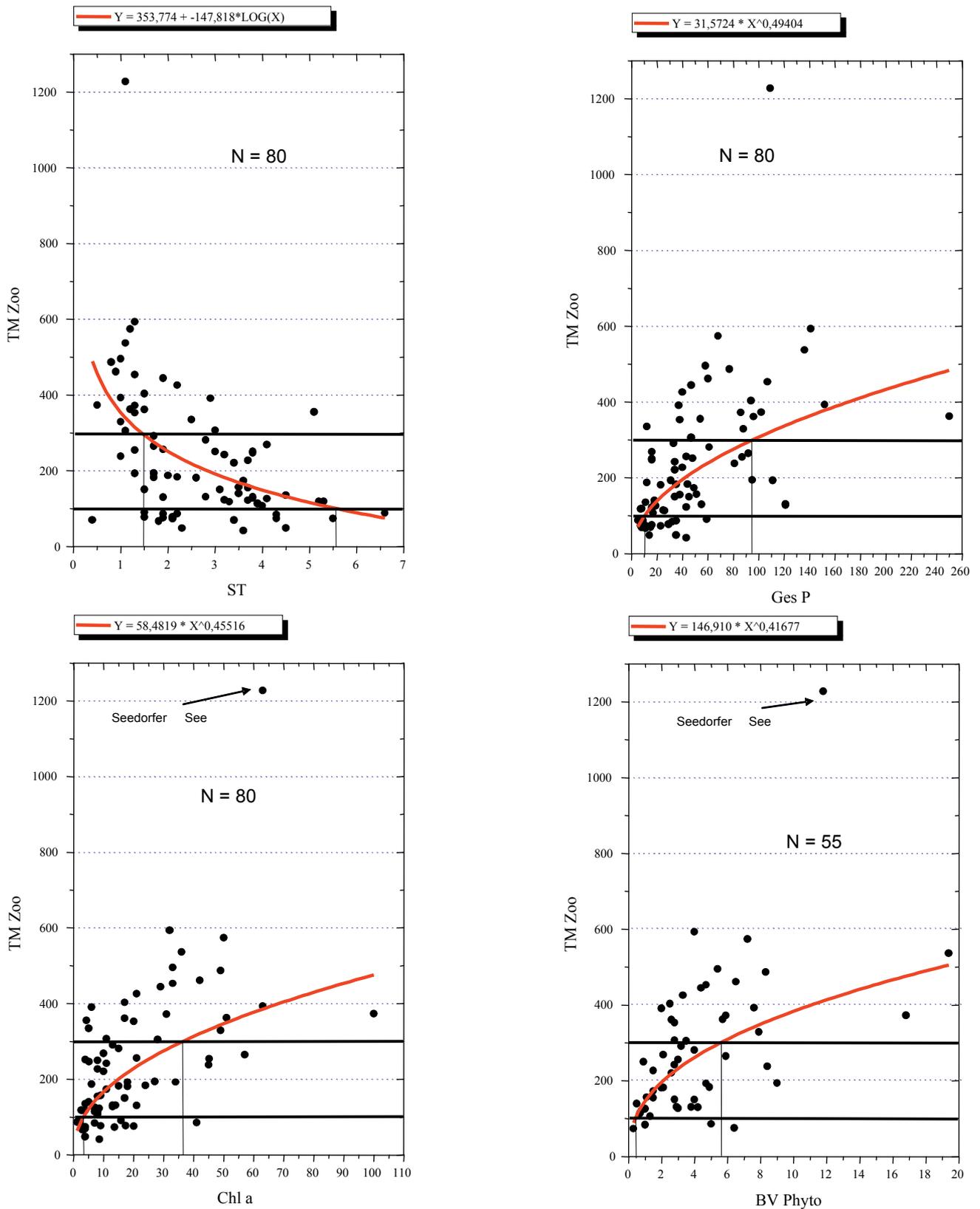


**Abb. 20:** Obere Graphik: Durchschnittliche Trockenmassen im gesamten Untersuchungsjahr (Januar bis Dezember) und während der Vegetationsperiode (April bis September). Untere Graphik: Prozentuale Anteile der Trockenmassen berechnet über das gesamte Untersuchungsjahr an den Trockenmassen gerechnet über die Vegetationsperiode (= 100 %). Die über die Vegetationsperiode gerechneten mittleren Massen sind im Mittel um 14 % höher.

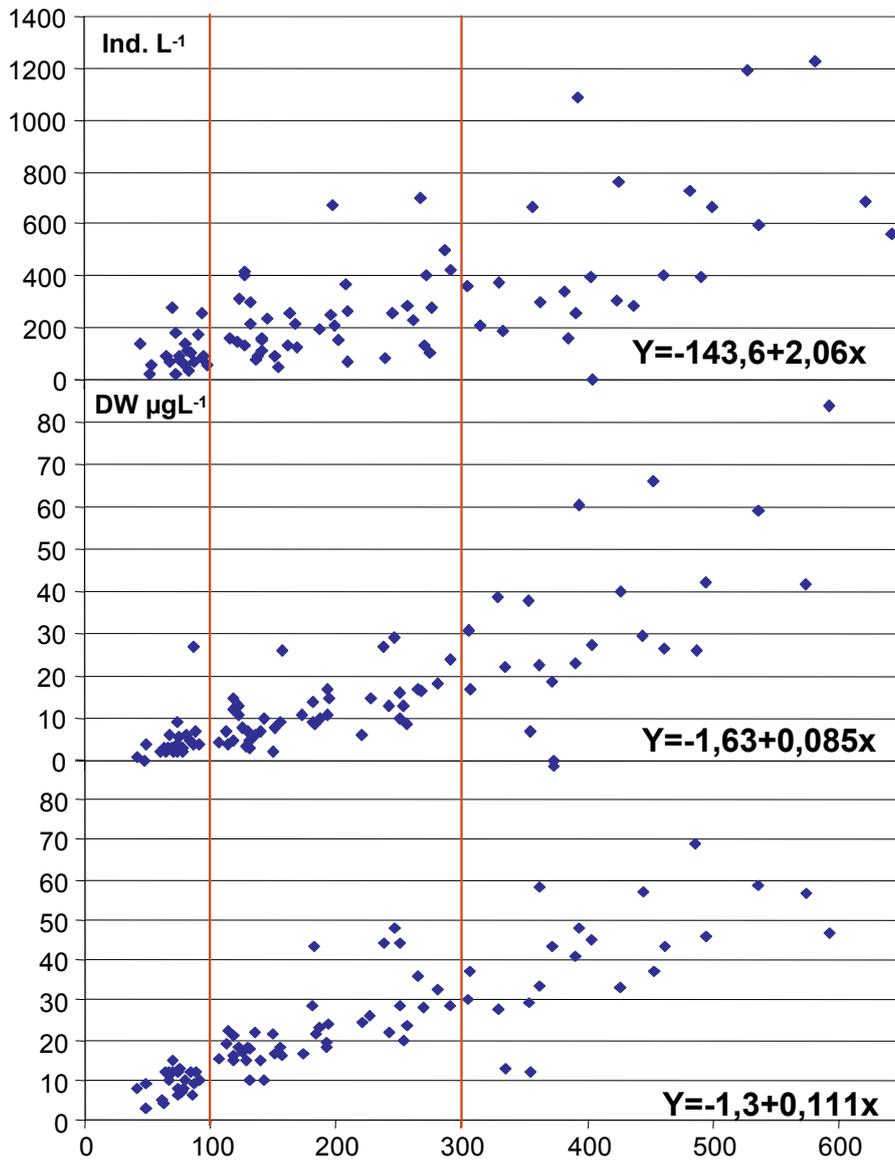
## 10. TGL Schwellen

In **Abb. 21** sind die Trockenmassen des Zooplanktons gegen die Sichttiefen, das Chlorophyll-a, den Gesamtphosphor und das Phytoplankton-Biovolumen aufgetragen. Die Punkteverteilung zeigt starke Schwankungen, z.T. sicherlich auch wegen der heterogenen Datenbasis. Die Schnittpunkte der TGL(27885/01, 1982)-Schwellen mit den jeweiligen Parametern implizieren, dass insbesondere die Trockenmassen-Schwelle zwischen meso- und eutroph evtl. etwas hoch angesetzt ist. Beispielsweise ergäbe sich bei einer Zooplankton Trockenmasse von  $300 \mu\text{g L}^{-1}$  (TGL Schwelle von meso- nach eutroph) ein zugehöriger Ge-

samtphosphorwert von ca.  $95 \mu\text{g L}^{-1}$ . Beim Chlorophyll-a ist die Zuordnung besser. Hier ergibt sich für eine Zooplankton-Trockenmasse von  $100 \mu\text{g L}^{-1}$  (TGL Schwelle zwischen oligo- nach mesotroph) eine zugehöriger Chlorophyll-a Wert von  $3\text{-}4 \mu\text{g L}^{-1}$  und bei einer Zooplankton-Trockenmasse von  $300 \mu\text{g L}^{-1}$  (TGL Schwelle von meso- nach eutroph) ein Chlorophyll-a Wert von ca.  $36 \mu\text{g L}^{-1}$ . Bei Verwendung der TGL Schwellen ist allerdings zu beachten, dass es sich um die „Biomasse im Epilimnion“ handelt. Deshalb zeigt sich auch hier, dass letztlich nur Vergleichbares verglichen werden kann. Heterogene Daten die „annähernd vergleichbar zumindest mit gewissen Einschränkungen“ sind, liefern interpretierbare, aber keine genauen Ergebnisse.



**Abb. 21:** Beziehung zwischen Sichttiefe (m) und Trockenmasse des Zooplanktons ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) sowie zwischen Ges.P ( $\mu\text{g L}^{-1}$  bzw. Chl.-a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) bzw. Phytoplankton-Biovolumen ( $\text{mg L}^{-1}$ ) und Trockenmasse des Zooplanktons in Seen Baden-Württembergs und Schleswig-Holsteins. Die Daten für Sichttiefe, Chl.-a und Biovolumen des Phytoplanktons sind Mittelwerte über die Vegetationsperiode. Die Ges.P. Angaben sind z.T. Mittelwerte aus 1 m Tiefe über die Vegetationsperiode z.T. Werte während der Frühjahrs-Vollzirkulation. Krasser Ausreißer ist der polytrophe Seedorfer See (Schleswig-Holstein). Schwellenwerte nach TGL 27885/01 (1982) sind als Linien eingezeichnet. Daten übernommen aus Berichten der LLUR (Arp & Maier 2009; Arp et al. 2010) sowie aus Katasterblättern (ZeBIS) der LUBW sowie einem Projekt zum Zooplankton in Abgrabungsseen (B.-Nr. 4500074936) der LUBW.



## Rotatoria

Oligotroph: 85 (58-135)  
 Mesotroph: 213 (130-305)  
 Eutroph: 400 (295-696)

## Cladocera

Oligotroph: 4 (2-6)  
 Mesotroph: 10 (7-15)  
 Eutroph: 31 (23 – 59)

## Copepoda

Oligotroph: 10 (7 – 12)  
 Mesotroph: 21 (17 – 27)  
 Eutroph: 44 (33 – 57)

**Abb. 22:** Zusammenhang zwischen mittlerer Trockenmasse der Zooplankton Großgruppen über die Vegetationsperiode und ihrer mittleren Abundanz. Beispiel aus 86 Seen / Jahrgängen in Baden-Württemberg und Schleswig-Holstein. TGL Schwellen als Linien gekennzeichnet. Der zugehörige Median sowie die 25 und 75 % Perzentile (in Klammern) sind rechts neben der Graphik gelistet.

## 11. Trockenmasse vs. Abundanz

Den Zusammenhang zwischen mittlerer Trockenmasse während der Vegetationsperiode und der mittleren Abundanz im selben Zeitraum für die drei taxonomischen Großgruppen des Metazooplanktons zeigt **Abb. 22**.

Die TGL Grenzen als Maß für die Trophiegrenzen sind als vertikale Linien eingezeichnet. In oligotrophen Seen liegen die mittleren Abundanzen der Rotatorien unter 130 Ind. L<sup>-1</sup>, in mesotrophen Seen ca. zwischen 130 und 300 Ind. L<sup>-1</sup> und in eutrophen Seen > 300 Ind. L<sup>-1</sup>. Bei den Crustaceen liegen die mittleren Abundanzen in oligotrophen Seen überwiegend ≤ 10 Ind. L<sup>-1</sup>, in mesotrophen Seen zwischen > 10 und knapp 30 Ind. L<sup>-1</sup> und in eutrophen Seen > 30 Ind. L<sup>-1</sup>.

## 12. Fazit „Bio“masse

Beim Parameter „Bio“masse wird deutlich, dass die berechnete Trockenmasse nur eine Abschätzung des tatsächlichen „Zustandes“ sein kann. Die Individualmassen variieren je nach verwendeter Gleichung z. T. erheblich. In wie weit die gewählte Gleichung für die jeweilige Art bzw. den jeweiligen See passend ist, kann nicht gesagt werden, da nichts über den physiologischen Zustand der Zooplankter bekannt ist. Hinzu kommt, dass sich die Rahmenbedingungen saisonal mit den Futterquantitäten und –qualitäten ändern, was sich auf den Ernährungszustand und das Wachstum und damit auch auf die Masse der Organismen auswirkt. Bei der Auswahl von „passenden“ Gleichungen ist insbesondere auf die der jeweiligen Gleichung zugrunde liegende Messstrecke und den Längenbereich zu achten. Eine Einrechnung der Eimassen halten wir nur bei entsprechender Themenstellung für erforderlich und würde außerdem die Zählung von Eiern voraussetzen, was selten praktiziert wird. Obwohl der Parameter Trockenmasse offensichtlich (zumindest was die Jahresmittel angeht) ein halbwegs „robustes“ Maß darstellt, wird zu seiner Erfassung eine Differenzierung in Größenklassen und / oder Stadien manchmal als absolut wünschenswert bzw. sogar als notwendig erachtet. Hier sei erwähnt, dass einige Zooplankton-Bearbeiter in Größenklassen-Abstufungen von 100 µm (oder sogar niedriger) auswerten, was wahrscheinlich durch eine entsprechende Fragestellung bedingt ist. Angesichts des groben Rasters bei der Probenahme scheint eine derart „genaue“ Vorgehensweise übertrieben. Falls notwendig, sollte die Abstufung in Größenklassen vom Auftraggeber vorgegeben werden und durch eine entsprechende Fragestellung bedingt sein. Eine Differenzierung in Größenklassen könnte grundsätzlich Hinweise auf vertebate bzw. invertebrate Räuber geben. Allerdings resultiert die Größenverteilung aus dem (somatischen und generativen) Wachstum und der Mortalität der Tiere. Das Wachstum ist abhängig von der Temperatur und den verfügbaren Futterquantitäten und –qualitäten. Die Mortalität ist ebenfalls abhängig von der Temperatur sowie von Art und Menge der vertebraten und invertebraten Räuber, deren Beuteselektion durch Art und Menge der vorkommenden Organismen beeinflusst wird. Beides, Wachstum und Mortalität, wird zusätzlich modifiziert durch saison-

ale Änderungen der Faktoren, durch die artspezifischen Unterschiede in den Generationszeiten der Organismen und durch ihre unterschiedlichen räumlichen (vertikalen und horizontalen) Verteilungen. Ob Größenverteilungen, die aus Monitoringproben ermittelt wurden und in ihrer Frequenz womöglich an die Phytoplanktonprobenahme angepasst wurden, tatsächlich Rückschlüsse auf Räuber-Effekte erlauben, wurde noch nicht untersucht. Ob die Biomasse als Biovolumen oder Trockenmasse charakterisiert bzw. erfasst werden soll, bleibt zu diskutieren. In diesem Punkt gibt es unterschiedliche Vorgaben zwischen verschiedenen Bundesländern und eine Einigung ist nicht abzusehen. Wichtig in diesem Zusammenhang sind gute Umrechnungsfaktoren. Zu bedenken ist allerdings, dass das sog. Biovolumen eben nur ein Volumen ist und bestenfalls ein Massenindikator sein kann. Andererseits ist das Biovolumen relativ robust gegenüber Unterschieden im physiologischen Zustand / Ernährungszustand von Individuen. Eine Gleichsetzung des Biovolumens mit der Frischmasse halten wir für problematisch, da Zooplankter als „Schweber“ zwar ein möglichst geringes spezifisches Gewicht anstreben, dass des Wassers aber deutlich überschreiten. (vgl. Sedimentationszeiten Projekt Zooplanktion, Teil 2)

Eine einheitliche Vorgehensweise bei der Massen-Berechnung mit einheitlichen Biomasse-Faktoren ist erforderlich, um die Vergleichbarkeit von Daten zu verschiedenen Seen zu verbessern. Eine Charakterisierung von Seen mittels der Zooplankton-Trockenmasse basiert oft auf der mittleren Trockenmasse über den Untersuchungszeitraum, der dann notwendigerweise ebenfalls vergleichbar sein muss. Erste, gute Vorgaben zur Eichung der Zooplankton Trockenmasse im Hinblick auf die Trophie von Seen gibt die TGL 27885/01 1982 (siehe oben). Wichtig bei dieser Klassifizierung ist aber der dem Mittelwert zugrunde liegende Untersuchungszeitraum (s.o.). Falls Winterproben mit eingerechnet werden, bleibt die mittlere Biomasse sicherlich unter dem TGL Richtwert.

# 13. Schlusswort

Die „Bio“-masse (-volumen) ist in der Regel ein Produkt aus zwei Zahlen: 1) der gezählten bzw. hochgerechneten Anzahl von Individuen und 2) einem Faktor, der entweder der mittleren Trockenmasse oder dem mittleren Volumen eines Individuums entspricht. Beide, Multiplikand und Multiplikator, sind fehlerbehaftet. Der wahrscheinlich größte Fehler „Bestimmung der Individuenzahl“ bleibt, bedingt durch die Art der Probenahme (vgl. Teil 1 „Probenahme“), in der Regel vollkommen unbekannt.

Die Trockenmasse wird über Längenmessungen mit Hilfe von Regressionsformeln berechnet. Das Volumen wird in der Regel über die Vermessung des „ähnlichsten“ geometrischen Körper berechnet. In beiden Fällen werden die für die Berechnung notwendigen Längen bzw. Strecken gemessen. Fehler können aus der Verwendung unterschiedlicher Messvorschriften für Längen und Strecken resultieren. Außerdem sind zweidimensionale Messungen in einem dreidimensionalen Raum oft ungenau. Bei der Volumensmessung werden Höhe, Breite oder Dicke von Organismen zum Teil über die Messung von Hilfs- oder Ersatzlängen bestimmt (vgl. McCauley 1984). Weitere Fehler entstehen durch die Verwendung „unpassender“ Regressionsformeln. Wegen all dieser Fehlerquellen wurde wiederholt darauf hingewiesen, dass die Angaben von Massen oder Volumina nur Abschätzungen sein können, die, bedingt durch die Probenahme, auf „Momentaufnahmen“ beruhen. Diese Zufallsergebnisse erlauben keine fundierten Rückschlüsse auf dynamische Entwicklungen von Masse oder Volumen der Populationen oder auf Energietransfer durch die verschiedenen trophischen Ebenen von Ökosystemen. Dafür sind die Unterschiede zwischen Frequenz der Probenahme einerseits und Wachstumsraten bzw. Generationszeiten der Organismen andererseits zu groß.

Trotzdem ist es legitim, auch diese Schätzwerte zu verbessern. Aber wie? In oligo- und mesotrophen Seen war die Übereinstimmung zwischen simplem Wiegen und Berechnen der Trockenmasse relativ gut. Bei Verwendung einer einfachen Wägung könnte die Frequenz der Probenahme erhöht und dadurch die dynamische Entwicklung genauer erfasst werden. Die schlechte Übereinstimmung in eutrophen Seen könnte durch eine Größentrennung über Siebe unterschiedlicher Maschenweiten, eventuell in Kombina-

tion mit einem Chlorophyll-a Korrekturfaktor verbessert werden. Eine genauere Erfassung der Individuenzahlen würde den Fehler ebenfalls reduzieren, was aber einen höheren Aufwand bei der Probenahme bedeutet (vgl. Teil 1). Auch eine genauere Erfassung der Größen könnte die Bestimmungen von Masse und Volumen verbessern. Geprüft wurde die Einteilung in Größenklassen von 300  $\mu\text{m}$  und erwähnt wurde, dass einige Zooplankton-Bearbeiter in Größenklassen-Abstufungen von 200 oder sogar 100  $\mu\text{m}$  auswerten. Wenn die Bestimmung der Masse durch die Reduzierung von Größenklassen (300  $\mu\text{m}$ , 200  $\mu\text{m}$  oder sogar niedriger) verbessert werden kann, dann wäre es eigentlich konsequent die Organismen direkt zu messen; eine bessere bzw. genauere Abstufung ist nicht möglich. Allerdings wurde auch festgestellt, dass „ungenau“ genau genug ist (Kap.7). Die ungenaue Berechnung (jedem Taxon wurde eine mittlere Masse ohne Berücksichtigung von Größenklassen oder Stadien zugeordnet) und die genaue Berechnung (Differenzierung von 300  $\mu\text{m}$  Größenklassen) ergaben eine sehr ähnliche Seengruppierung hinsichtlich der berechneten Trockenmassen und eine identische Einstufung nach TGL 27885/01. Nachdem das Ergebnis nicht „besser“ ist, lässt sich der höhere Aufwand so nicht rechtfertigen. Auch die aus der Bestimmung von Größenverteilungen potentiell möglichen Rückschlüsse auf Räuber – Beute Beziehungen erscheinen im Hinblick auf die Frequenz der Probenahme und in Anbetracht der komplexen ökosystemaren Wechselbeziehungen fraglich.

Eingangs wurde erwähnt, dass die Anforderungen, Vorgaben und Vorgehensweisen sehr heterogen sind. Weil das bis jetzt so ist, lässt sich auf der Basis vermeintlich vergleichbarer Ergebnisse und Berechnungen über wichtig und richtig trefflich streiten, mit Argumenten, die oft auf subjektiven Erfahrungen, Einschätzungen und Überzeugungen beruhen. Ergebnisse und Berechnungen lassen sich aber mit objektiven Verfahren nachprüfen, sofern sie mit vergleichbaren Methoden erzielt wurden.

Die oben gemachten Aussagen beziehen sich auf die Verwendung „allgemein gültiger Faktoren“ die bei der Auswertung von Monitoring-Ergebnissen oft und ungeprüft („andere Zahlen haben wir nicht“) verwendet werden. Dies bedeutet aber keinesfalls, dass sich die Parameter Masse, Volumen, Länge, Wachstum, Reproduktion und Mortalität von Individuen und Population in gezielten

Untersuchungen und mit geeigneten Methoden nicht genau untersuchen und bestimmen lassen.

Die Frage, was alles machbar, wünschenswert und möglich ist und in Anbetracht der vielfältigen und variablen Fehler tatsächlich sinnvoll bzw. notwendig ist, können und wollen wir hier nicht lösen. Aber wir schlagen folgende Vorgehensweise vor:

Bei der Auszählung von Zooplankton-Proben wird nach Arten (Crustaceen, Rotatorien) und Entwicklungsstadien (Crustaceen) differenziert (vgl. Teil 2); die Zählergebnisse werden in die Datenbank FisGeQua (Fachinformationssystem Gewässerqualität) eingegeben. Für die Auswertung werden diese Ergebnisse nach Arten mit ähnlichen Längenbereichen in der Datenbank gruppiert. In der Datenbank sind für die Entwicklungsstadien jeder Gruppe „Mittelwerte“ für Größe und Trockengewicht hinterlegt, die aus den zahlreichen Messungen dieses Projektes ermittelt wurden. Gruppen sind z.B. große und kleine cyclopoide sowie calanoide Copepoden (insgesamt 21 Größenklassen), bzw. große, mittlere und kleine Daphnien (insgesamt 6 Größenklassen). Ebenfalls hinterlegt sind „potentielle Grazingraten“, die entsprechenden Veröffentlichungen entnommen wurden (Lampert 1978, 1987, Bogdan et al. 1980, Jannicki & Costa 1984, Persson 1985, Zankai & Ponyi 1986, Hessen et al 1989, Lair 1991, 1992, Chow Fraser 1992, Zankai 1991, Stelzer 1998, Descy et al 1999, Sanders et al 1989, Walz 1983, Hlawa & Herrkloss 1994, Armengol et al. 2001, Ciros-Perez et al. 2001, Agasild & Noeges 2005, 2007). Da sie ebenfalls von vielen Faktoren beeinflusst werden, können auch die potentiellen Grazingraten nur Schätzwerte für den Einfluss des herbivoren Zooplanktons auf das Phytoplankton sein. Auch wenn ihr mittlerer Trockenmassenanteil am gesamten Zooplankton (Jahresdurchschnitt) selten über 10 % liegt, wurden die für Rädertiere ermittelten Werte ebenfalls als entsprechende „Mittelwerte“ in FisGeQua hinterlegt. Die durchschnittlichen Massenanteile der Rotatorien werden dadurch automatisch mit erfasst. Sofern notwendig können die für Arten und Entwicklungsstadien hinterlegten „Standardwerte“ direkt in den Eingabemasken von FisGeQua modifiziert werden. Eine Grafikroutine für die Darstellung der berechneten Werte ist in Bearbeitung.

Zum Schluss sei noch bemerkt, dass in zahlreichen, auch neueren Veröffentlichungen die Bewertung von Ökosystemen oft und manchmal auch überwiegend auf der Basis von Masse bzw. Volumen erfolgt. Für deren Berechnung sind Größen und Anzahlen der Organismen ausreichend. Für die Wahl der richtigen Regressionsgleichungen bzw. der richtigen geometrischen Körper sind nur noch rudimentäre Artenkenntnisse notwendig. Deshalb ist es doch eigentlich erstaunlich, dass die Biodiversität immer noch als wichtig und die Erfassung des Artenbestands immer noch als notwendig bezeichnet wird, obwohl die mechanischen Parameter Masse und Volumen für die Charakterisierung und Bewertung von Seen ausreichend zu sein scheinen.

## 14. Danksagung

Bedanken möchten wir uns bei R. Deneke, W. Horn, P. Kasprzak und A. Waldinger für kritische Anmerkungen zu einer früheren Version des Berichtes. Unser besonderer Dank gilt der LLUR Schleswig-Holstein (insbes. Frau M. Bahnwart) dafür, dass wir Daten aus Untersuchungen an schleswig-holsteinischen Seen benutzen durften. Wir bedanken uns auch bei der LUBW Baden-Württemberg, die das Projekt Zooplankton durch die finanzielle Unterstützung ermöglicht hat.

## 15. Literatur

Agasild H. & Noeges T. (2005): Cladoceran and rotifer grazing on bacteria and phytoplankton in two shallow eutrophic lakes: in situ measurement with fluorescent microspheres. *J. Plankton Res.* 27: 1155-1174.

Agasild H., Zingel P., Tönno I., Haberman, J. & Noeges, T. (2007): Contribution of different zooplankton groups in grazing on phytoplankton in shallow eutrophic Lake Võrtsjärvi (Estonia). *Hydrobiologia* 584: 167-177.

- Armengol X., Boronat L., Camacho A. & Wurtsbaugh W. A. (2001): Grazing by a dominant rotifer *Conochilus unicornis* Rousselet in a mountain lake: in situ measurements with synthetic microspheres. *Hydrobiologia* 446/447:107-114.
- Arp W. & Deneke R. (2006): Untersuchungen des Phyto- und Zooplanktons schleswig-holsteinischer Seen 2005. LLUR Bericht: 145 pp (ohne Anhang).
- Arp W. & Deneke R. (2007): Untersuchungen des Phyto- und Zooplanktons schleswig-holsteinischer Seen 2005. LLUR Bericht: 137 pp (ohne Anhang).
- Arp W. & Maier G. (2009): Untersuchungen des Phyto- und Zooplanktons schleswig-holsteinischer Seen 2005. LLUR Bericht: 165 pp (ohne Anhang).
- Arp W., Kasten J. & Maier G. (2010): Untersuchungen des Phyto- und Zooplanktons schleswig-holsteinischer Seen. LLUR Bericht: 183 pp (ohne Anhang).
- Arp W. (2011): Interannuelle Schwankungen im Schichtungsverhalten – Auswirkungen auf die Typisierung eines Sees? Vortrag IGB – Workshop: EU-WRRL – konforme Bewertung von Seen mittels Phytoplankton und zu den aktuellen Anpassungen des Phyto-See-Index, 26-28.11, IGB, Berlin.
- Bogdan K. G., Gilbert J. J., Starkweather P.L. (1980): In situ clearance rates of planktonic rotifers. *Hydrobiologia* 73:73-77.
- Bottrell H.H., Duncan A., Gliwicz Z.M., Grygierek E., Herzig A., Hillbricht-Ilkowska A., Kurasawa H., Larsson P. & Weglenska T. (1976): A review of some problems in zooplankton production studies. *Norwegian Journal of Zoology* 24: 419-456.
- Burgis M.J. (1974): Revised estimates for the biomass and production of zooplankton in Lake George, Uganda. *Freshwater Biology* 4: 535-541.
- Burns C.W. (1969): Relation between filtering rate, temperature, and body size in four species of *Daphnia*. *Limnol. Oceanogr.* 14: 693-700.
- Burkhardt S. (1994): Seasonal size variation in the predatory cladoceran *Bythotrephes cederstroemii* in Lake Michigan. *Freshwat. Biol.* 31: 97-108.
- Chow-Fraser P. & Sprules W. G. (1992): Type-3 functional response in limnetic suspension-feeders, as demonstrated by in situ grazing rates. *Hydrobiologia* 232:175-191.
- Ciros-Pérez J., Carmona M. J. & Serra M. (2001): Resource competition between sympatric sibling rotifer species. *Limnol.Oceanogr.* 46:1511-1523.
- Culver D.A., Boucherle M.M., Bean D.J. & Fletcher J.W. (1985): Biomass of freshwater crustacean zooplankton from length-weight regressions. *Can.J.Fish. Aquat. Sci.* 42: 1380-1390.
- Cummins K.W., Costa R.R., Rowe R.E., Moshiri G.A., Scanlon R.M. & Zajdel K. (1969): Ecological energetics of a natural population of the predaceous zooplankter *Leptodora kindtii* Focke (Cladocera). *Oikos* 20: 189-220.
- Descy J.-P., Frost B. W. & Hurley J. P. (1999): Assessment of grazing by the freshwater copepod *Diatomus minutus* using carotenoid pigments: a caution. *J.Plankton Res.* 21:127-145.
- Dumont H.J., Van der Velde I. & Dumont S. (1975): The dry weight estimate of biomass in a selection of Cladocera, Copepoda and Rotifera from the plankton, periphyton and benthos of continental waters. *Oecologia* 19: 75-97.
- Edmondson W.T. & Winberg G.G. (1971): IBP Handbook Nr. 17. A manual on methods for the assessment of secondary productivity in fresh waters. Blackwell Scientific Publications Oxford and Edinburgh, 358 pp.
- Garton D.W. & Berg D.J. (1990): Occurrence of *Bythotrephes cederstroemi* (Schoedler 1877) in Lake Superior, with evidence of demographic variation within the Great Lakes. *J. Great Lakes Res.* 16: 148-152.
- Hessen D. O., Anderssen T. & Lyche, A. (1989): Differential grazing and resource utilization of zooplankton in humic lake. *Arch. Hydrobiol.* 114:321-347.

- Hlawa S. & Heerkloss R. (1994): Experimental studies into the feeding biology of rotifers in brackish water. *J. Plankton Res.* 16:1021-1036
- Hoehn E., Ketelaars H.A.M. & Ewig B. (1998): Erfassung und Bewertung von Planktonorganismen. *ATT Technische Informationen* Nr. 7; Siegburg 1998. Kommissionsverlag R. Oldenbourg München: 151 pp.
- Hopp U. (2002) Unterschiedlicher Nahrungsbedarf von fünf verschiedenen planktischen cyclopoiden Copepodenarten: Mögliche Ursache für das unterschiedliche saisonale Auftreten? Dissertation Universität Ulm, 153 pp.
- Jannicki A. & DeCosta J. (1984): The filtering rates of four herbivorous crustaceans on nannoplankton and net plankton fractions in an acid lake in West Virginia. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 69:643-652.
- Kasprzak P. (1984): Bestimmung des Körperkohlenstoffgehaltes von Planktoncrustaceen. *Limnologia* 15: 191-194.
- Kasten J. & Michels U. (2008): Untersuchungen des Phyto- und Zooplanktons schleswig-holsteinischer Seen 2005. *LLUR Bericht 2007*: 134 pp (ohne Anhang).
- Kawabata K. & Urabe J. (1998): Length-weight relationships of eight freshwater planktonic crustacean species in Japan. *Freshwater Biology* 39: 199-205.
- Klekowski R. & Shushkina E.A. (1966): Energeticheskij balans *Macrocyclus albidus* (Jur.) v period ego razvitiya. *Ekologiiya Vodnykh Organizmov*, Moskau: 125-135.
- Koste W. (1978): Rotatoria. Die Rädertiere Mitteleuropas begründet von Max Voigt. Bd. 1 und 2. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart. 673 bzw. 234 pp.
- Lair N. (1991): Grazing and assimilation rates of natural populations of planktonic cladocerans in a eutrophic lake. *Hydrobiologia* 215: 51-61.
- Lair N. (1992): *Acanthodiptomus denticornis* another omnivorous calanoid copepod: description of its mouth appendages and feeding experiments on animal prey. *Hydrobiologia* 248:137-142.
- Lampert W. (1978): A field study on the dependency of the fecundity of *Daphnia spec.* on food concentrations. *Oecologia* 36: 363-369.
- Lampert W. (1987): Feeding and nutrition in *Daphnia*. In: Peters R. H. & De Bernardi R. (eds): *Daphnia. Mem. Ist. Ital. di Idrobiol.* 45:143-192
- Lampert W. & Taylor B.E. (1985): Zooplankton grazing in an eutrophic lake: implications of diel vertical migration. *Ecology* 66: 68-82.
- Masundire H.M. (1994): Mean individual dry weight and length-weight regressions of some zooplankton of Lake Kariba. *Hydrobiologia* 272: 231-238.
- McCauley E. (1984): The estimation of the abundance and biomass of zooplankton in samples. 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, pp. 228-265.
- Michaloudi E. (2005): Dry weights of the zooplankton of Lake Mikri Prespa (Macedonia, Greece). *Belg. J. Zool.* 135: 223-227.
- Mischke U. Riedmüller U. Hoehn E. & Nixdorf B. (2008): Bewertung von Seen mittels Phytoplankton zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. *Gewässerreport* Nr. 10. Aktuelle Reihe BTU Cottbus (Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik): 263 pp.
- Nauwerck A. (1963): Die Beziehungen zwischen Phytoplankton und Zooplankton im See Erken. *Symbolae Botanicae Upsaliensis* 17/5: 1-163.
- O'Brien W.J. & DeNoyelles F. (1974): Relationship between nutrient concentration, phytoplankton density and zooplankton density in nutrient enriched experimental ponds. *Hydrobiologia* 44: 105-125.
- Pace M.L. & Orcutt J.D. (1981): The relative importance of protozoans, rotifers, and crustaceans in a freshwater zooplankton community. *Limnol. Oceanogr.* 26: 822-830.

- Padisák J. & Adrian R. (1999): Kapitel Biomasse Bioaktivität. In: W. v. Tümping und G. Friedrich. Methoden der Biologischen Wasseruntersuchung; Bd. 2, Biologische Gewässeruntersuchung. Gustav Fischer, Jena, Stuttgart, Lübeck, Ulm, pp 334-368.
- Pauli H.-R. (1989): A new method to estimate individual dry weights of rotifers. *Hydrobiologia* 186/187: 355-361.
- Pechen G.A. (1965): Produktsiya vetvistousykh rakoo-braznykh ozernogo zooplanktona. *Gidrobiol. Zh.* 1: 19-26.
- Persson G. (1985): Community grazing and the regulation of in situ clearance and feeding rates of planktonic crustaceans in lakes in the Kuokkel area, northern Sweden. *Arch. Hydrobiol./Suppl.* 700:197-238.
- Persson G. & Ekbohm G. (1980): Estimation of dry weight in zooplankton populations: Methods applied to crustacean populations from lakes in the Kuokkel Area, Northern Sweden. *Arch. Hydrobiol.* 89: 225-246.
- Reynolds, C.S. (1989): Physical determinants of phytoplankton successions. In Sommer, U. (ed): *Plankton ecology – Successions in Plankton communities*: 9 - 56. Springer Verlag.
- Rosen (1981): Length-dry weight relationships of some freshwater zooplankton. *J. Freshwater Ecology* 1: 225-229.
- Ruttner-Kolisko A. (1972): Rotatoria. In: *Das Zooplankton der Binnengewässer*, 1. Teil. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Nägele und Obermiller: 99-234.
- Sanders R. W., Porter K. G., Bennett S. J. & DeBiase A.E. (1989): Seasonal patterns of bacterivory by flagellates, ciliates, rotifers, and cladocerans in a freshwater planktonic community. *Limnol.Oceanogr.* 34:673-687.
- Schwoerbel J. (1994): *Methoden der Hydrobiologie*. 4. Auflage. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart, Jena, New York, 368 pp.
- Stelzer C. P. (1998): Feeding behaviour of the rotifer *Ascomorpha ovalis*: functional response, handling time and exploitation of individual *Ceratium* cells. *J.Plankton Res.* 20:1131-1144.
- Stich H.B. & Maier G. (2007): Distribution and abundance of *Daphnia pulicaria*, a large *Daphnia* of the „pulex group“, in Lake Constance (Lower Lake): *Limnologica* 37: 303-310.
- TGL 27885/01 (1982): Fachbereichsstandard. Nutzung und Schutz der Gewässer, stehende Binnengewässer; Klassifizierung. Ministerium für Umweltschutz u. Wasserwirtschaft d. DDR, Berlin: 1-16.
- Tümping v. W. & Friedrich G. (1999): Methoden der Biologischen Wasseruntersuchung; Bd. 2, Biologische Gewässeruntersuchung. Gustav Fischer, Jena, Stuttgart, Lübeck, Ulm: 541 pp.
- Walz N. (1983): Continuous culture of the pelagic rotifers *Keratella cochlearis* and *Brachionus angularis*. *Arch.Hydrobiol.* 98:70-92.
- Walz N., Sarma S.S.S. & Benker U. (1995) Egg size in relation to body size in rotifers: an indication of reproductive strategy? *Hydrobiologia* 313/314: 165-170.
- Wetzel, R.G. (1983): *Limnology*, CBS College Publishing.
- Yan N.D. & Geiling W. (1985) Elevated planktonic rotifer biomass in acidified metal-contaminated lakes near Sudbury, Ontario. *Hydrobiologia* 120: 199-205.
- Zánkai N. (1991): Feeding of nauplius stages of *Eudiaptomus gracilis* on mixed plastic beads. *J.Plankton Res.* 13:437-453.
- Zánkai N. & Ponyi J. E. (1986): Composition, density and feeding of crustacean zooplankton community in a shallow, temperate lake (Lake Balaton, Hungary). *Hydrobiologia* 135:131-147.

