

Roger BURCKHARDT; Reinhard HEERKLOSS¹

Konsumtion und Fäkalpelletproduktion bei *Eurytemora affinis* (Poppe) (Calanoida, Copepoda)

Abstract

Rates of feeding and egestion under different conditions were determined for *Eurytemora affinis* (Calanoida, Copepoda), the dominant copepod in the Darss-Zingst estuary. Laboratory experiments with *Chlorella vulgaris* as food source showed that the egestion rate increased with increasing temperature. The highest egestion rates of 52 pellets ind⁻¹ d⁻¹ or 62.2 % of body weight (dry weight) d⁻¹ were measured at 20 °C. Simultaneous measurements of feeding and egestion rates under simulated natural conditions were made on three occasions in spring, and gave feeding rates of between 77 and 187 % body weight d⁻¹, and egestion rates of 8 to 26 % body weight d⁻¹. The highest rates were recorded at the highest water temperatures and highest food concentrations. A comparison of the egestion rates with those measured in the laboratory showed that approximately 50 % of the laboratory values could be reached under simulated field conditions. Calculated assimilation efficiencies from feeding and egestion rates gave values of between 86 % and 89 % on a dry weight basis. A comparison of faecal pellet production rates with the concentration of pellets in the pelagic zone showed that approximately 5 to 10 times more pellets per day were being produced than were actually found in the water column.

1 Einleitung

Über die Funktion des Zooplanktons in der benthisch-pelagischen Kopplung in den flachen Boddengewässern ist bis jetzt wenig bekannt. Zum einen kann das Zooplankton resuspendiertes Material aus dem Sediment konsumieren und somit zum Stofffluß aus dem Sediment in das Pelagial beitragen. Zum anderen kann die Defäkation des Zooplanktons die planktische Aggregatbildung und damit auch indirekt die Sedimentation fördern, womit der Stofffluß gleichzeitig in die umgekehrte Richtung läuft. Im Rahmen des Verbundprojektes ÖKOBOD wurde in diesem Zu-

¹ Diese Arbeit wurde im Rahmen eines Verbundprojektes vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie gefördert (Aktenkennzeichen 03F0162B "ÖKOBOD")

sammenhang an der Station Kirr-Bucht Stationsdaten eine Bilanzierung der Konsumtion und Defäkation für den dort dominierenden Zooplankter *Eurytemora affinis* (Poppe) (Calanoida, Copepoda) durchgeführt. Hierzu wurden unter biotopnahen Bedingungen und im Labor Freßraten und Bildungsraten von Fäkalpellets bestimmt. Außerdem wurden Untersuchungen zum Verbleib der von *E. affinis* freigesetzten Pellets durchgeführt.

2 Material und Methoden

2.1 Fäkalpelletproduktion von *E. affinis* unter verschiedenen Temperaturverhältnissen (Laborversuche)

Copepoditen von *E. affinis* wurden im Zingster Strom mit einem 200 µm Planktonnetz gefangen und für 48 h an die jeweiligen Versuchsbedingungen (5 °C, 10 °C, 15 °C, 20 °C; 5 psu) adaptiert. Als Futteralge diente *Chlorella vulgaris* aus einer Batch-Kultur. Die Algen wurden zentrifugiert (4.500 U./min) und anschließend im filtrierten Biotopwasser (What-man GF/F-Filter) resuspendiert und über eine 20 µm Gaze gegeben zur Entfernung von Aggregationen. Eine Vorfütterung mit den Algen erfolgte 12 h vor Versuchsstart. Kurz vor Versuchsbeginn wurden dann einzelne adulte Tiere (755 - 852 µm Cephalothoraxlänge) mit Hilfe einer Glaspipette in 20 ml fassende Glasvials mit einer definierten Menge an filtriertem Biotopwasser gesetzt. Der Versuchsstart erfolgte dann anschließend durch Zugabe einer bestimmten Algenmenge (Versuchskonzentration: $4,2 \cdot 10^6$ Zellen/ml). Zur Verhinderung der Sedimentation wurden alle Versuchsgefäße im 20 min Rhythmus um 180° gewendet. Nach 6 h erfolgte der Abbruch der einzelnen Versuche durch Zusatz von Glutaraldehyd. Anschließend wurde der Inhalt der einzelnen Gefäße in eine Zooplankton-zählkammer überführt, alle Fäkalpellets gezählt und vermessen sowie auch die Cephalo-thoraxlänge der einzelnen Copepoden bestimmt. Die Berechnung der Biovolumina der Pellets erfolgte unter Annahme einer Zylinderform. Für die Umrechnung in Feuchtgewichte wurde eine Dichte von $1,13 \text{ g/cm}^3$ (URBAN et al., 1993) und ein Feuchtgewicht zu Trocken-gewichtsverhältnis von 4,4 (FOWLER, 1977) verwendet. Zur Berechnung des Copepoden-feuchtgewichts wurde folgende aus Literaturdaten und eigenen Werten empirisch ermittelte Regression genutzt: $W = 4,46 \cdot 10^{-6} \cdot L^{2,33}$, L = Cephalothoraxlänge (µm), W = Feucht-gewicht (µg/Ind.). Die Umrechnung in Trockengewicht erfolgte unter Annahme eines Wasser-gehaltes des Feuchtgewichtes von 83 % (Heerkloss, 1996).

2.2 Konsumtionsraten, Fäkalpelletproduktion und Verbleib der Fäkalpellets in der Kirr- Bucht

2.2.1 Radiotracermessungen der Konsumtion mit ^{51}Cr unter biotopnahen Bedingungen

Ziel dieser Versuche war es, Filtrier- und Freßraten von *E. affinis*-Copepoditen (> 200 µm) unter vergleichbaren Bedingungen wie bei den annähernd parallel verlau-

fenden *in situ* Experimenten (Abschnitt 2.2.2) zur Fäkalpelletproduktion zu messen. Aus diesem Grunde wurde bei den selben Temperaturen und Salinitäten gearbeitet und das gleiche Futter (20 µm vorfiltriertes Seston) einmal markiert verwendet (Konsumtionsmessungen) und einmal unmarkiert (Messungen der Fäkalpelletproduktion). Markiert wurde unter Schütteln über 3 Tage mit ^{51}Cr als Natriumchromat bei Konzentrationen von 400 - 530 µCi/l. Durch die un-spezifische Markierung wird nicht nur das Phytoplankton markiert, sondern alle potentiell verfügbaren Nahrungsbestandteile, wie z.B. auch Detritus.

Der Fang der *Eurytemora*-Copepoditen (> 200 µm) erfolgte wie unter 2.1 beschrieben.

Vorgehältert wurde für 48 h im unfiltrierten Biotopwasser. Kurz vor Versuchsbeginn wurden die Tiere in Gazebecher eingesetzt, die sich in Bechern mit glasfasergefiltrten Bio-topwasser befanden. Die Entfernung des gelösten radioaktiven Chrms erfolgte über Zentri-fugation (15 min bei 4500 U./min). Das Seston wurde dann anschließend entsprechend dem vorherigen Volumen im gefilterten Biotopwasser resuspendiert. Der Start erfolgte durch Einsetzen des Gazebechers mit Tieren in ein Versuchsgefäß, welches 120 ml Futtersusp-ension enthielt. Die Freßzeit betrug bei den Versuchen im März und April 30 min und im Mai 20 min bei Dunkelheit. Nach dem Versuch wurde der Gazebecher mit den Tieren für 2 min in filtriertes Biotopwasser umgesetzt zum Spülen der Mundwerkzeuge von anhaftendem radioaktiven Material. Danach wurden die Tiere in kleine Schälchen mit gefiltertem Biotopwasser (Whatman GF/F) überführt, mit 3 ml Carbonatwasser betäubt und mit einer feinen Pinzette vorsichtig auf Glasfaserfilter sortiert und in die Filter in Vials überführt. Die Messung der Gamma-Strahlung erfolgte mit einem automatischen Gamma-Counter der Firma Wallace (1480 Wizard 3").

Nach dem Experiment wurde die Aktivität der Algen bestimmt und die Futterkonzentration als Seston-Trockengewicht nach GEORGI et al. (1980) auf Whatman GF/F-Filtern bestimmt. Die Aktivitätsbestimmung erfolgte durch Filtration definierter Volumina der Futtersuspension auf Glasfaserfilter (Whatman GF/F). Diese wurden dann auch in Vials überführt und gleichzeitig mit den Tiervials gemessen. Zusätzlich wurden Kontrollexperimente durch-geführt, bei denen die Copepoden nur für 30 s. in die radioaktive Suspension gesetzt wurden, um Fehler durch anhaftende Radioaktivität auszuschließen. Die Berechnung der Filter- und Freßraten erfolgten nach folgenden Formeln (vgl. PETERS, 1984):

$$F_i = (A_T \cdot 60) / (A_F \cdot t)$$

$$F_r = F_i \cdot K_F$$

F_i = Filtrate (ml Ind. $^{-1}$ h $^{-1}$)

A_T = Aktivität pro Tier (CPM Ind. $^{-1}$)

A_F = Aktivität des Futters (CPM ml $^{-1}$)

t = Versuchszeit (min)

F_r = (µg TG Ind. $^{-1}$ h $^{-1}$)

K_F = Futterkonzentration (µgTG ml $^{-1}$).

2.2.2 Fäkalpelletproduktion und Verbleib der Fäkalpellets

Ziel der Untersuchungen war es, Daten über die Produktion von Fäkalpellets als aggregat- bildenden Prozeß und den Verbleib dieser Aggregate im Biotop zu gewinnen. Dazu wurde unter *in situ*-Bedingungen an 3 verschiedenen Terminen (25.03. bis 26.03.1997, 07.04. bis 08.04.1997 und 13.05. bis 14.05.1997) jeweils ein 24 h-Zyklus in der Kurr-Bucht untersucht und folgende Parameter gemessen:

- (1) Fäkalpelletproduktion des Copepodenplanktons ($> 200 \mu\text{m}$)
- (2) Copepodenabundanz
- (3) Fäkalpelletkonzentration im Wasserkörper.

Vor Beginn der Untersuchungen wurden Konzentrationsbestimmungen des Copepoden-planktons und der Fäkalpellets in der Wassersäule vorgenommen, um die erforderlichen Probenvolumina festzulegen. Zur Gewinnung der Copepoden für die Messung der Fäkal-pelletproduktion (1) wurde jeweils eine definierte Wassermenge mit einem 10 l Eimer (20 bis 30 l pro Ansatz, Wassertiefe nur 1,2 m) geschöpft und durch einen 200 μm -Gaze-becher filtriert und die Tiere sofort in ein 1 Liter fassendes Gefäß mit 20 μm -vor-gefilterten und temperierten Biotopwasser überführt. Gleichzeitig erfolgte eine Entnahme von Biotopwasser als Nahrungsquelle für die Versuche, welches dann mit 20 μm -Gaze vor-gefiltert wurde. Im Versuchsmedium wurde die Nahrungskonzentration (Seston-Trocken-gewicht) bestimmt jeweils vor und dann später nach Versuchsende und dieses dann an-schließend in nach oben offene Becher (600 ml Versuchsvolumen, 4 bis 5 Parallelen) gefüllt. Diese Becher wurden in eine Plastewanne gehängt (Standort - direkt neben dem Gewässer, nach oben hin abgedeckt mit einer durchsichtigen Plastefolie) und permanent schwach belüftet, um der Sedimentation der Nahrungspartikel entgegen zu wirken. Ein von einer Pumpe geförderter Strom von Boddenwasser durch die Plastewanne sorgte für die Simulation der Temperaturverhältnisse im Biotop. Der Start der einzelnen Versuche erfolgte durch Einhängen der vorher gewonnenen Copepoden mit einem 200 μm Gazebecher in die nach oben offenen Becher mit Versuchsmedium. Damit konnten die produzierten Fäkalpellets durch die Gaze sinken und waren dem Zugriff der Tiere entzogen. Die vorher erwähnte Be-lüftung erfolgte außerhalb der Gazebecher. Nach 24 h Versuchszeit wurden die einzelnen Versuche durch Abfiltrieren der Copepoden mit einer 200 μm -Gaze abgebrochen und die Tiere in 4,0 % Formalin fixiert. Von der jeweiligen Nahrungssuspension wurden dann die Fäkalpellets mit einer 20 μm -Gaze abfiltriert, in filtriertes Biotopwasser überführt und in Glutaraldehyd fixiert (Endkonzentration 2,5 %).

Die Probenahme für die Copepodenabundanz (2) erfolgte in einer Zeitreihe, alle 6 h über 24 h, mit Hilfe eines 3,3 Liter FRIEDINGER-Schöpfers. Jeweils parallel zur Probenahme für die Copepodenabundanz wurden Proben für die Bestimmung der Fäkalpelletkonzentration (3) mit einem 10 l Eimer geschöpft (10 l pro Probe), die Fäkalpellets mit einer 20 μm -Gaze abfiltriert und mit Glutaraldehyd fixiert (Endkonzentration 2,5 %) Zusätzlich erfolgte eine Entnahme von Biotopwasser für eine Sestonbestimmung.

Bei den Untersuchungen zur Fäkalpelletproduktion wurden die Fäkalpellets aus jedem Versuchsansatz vollständig in einer größeren Zooplanktonzählkammer (vgl.

ARNDT, 1985) ausgezählt und die ersten 50 bis 60 Pellets aus jedem Ansatz vermessen und daraus ein Mittelwert für alle Ansätze berechnet ($n = 200 - 240$). Bei den Proben aus dem Pelagial (3 Teilproben pro Zeitpunkt) wurden mit Hilfe einer Eppendorf-Pipette (Spitze etwas abgeschnitten) unter Umrühren Teilproben entnommen und in einer KOLKWITZ-Kammer ausgezählt und vermessen. Dabei wurden aus jeder Teilprobe minimal 50 Pellets ausgezählt, vermessen und die Werte aus allen Teilproben ebenfalls gemittelt. Die Berechnung der Biovolumina, Feuchtgewichte und Trockengewichte der Fäkalpellets erfolgte wie im Abschnitt 2.1 angegeben.

Die Tiere aus den Ansätzen der Versuche zur Fäkalpelletproduktion wurden in einer größeren Zooplanktonzählkammer vollständig ausgezählt und bei 20 Copepoden pro Größenklasse (Copepodite 1 bis 3, Copepodite 4 bis 5, Männchen und Weibchen) die Cephalothoraxlänge vermessen. Aus den Mittelwerten wurde mit Hilfe der im Abschnitt 2.1 angegebenen Regression dann ein mittleres Feuchtgewicht pro Individuum bestimmt und aus den Anteilen der einzelnen Größengruppen an der Gesamtabundanz das Gesamtgewicht pro Probe bestimmt. Die Verwendung der Regression war möglich, da das Copepodenplankton zu allen 3 Terminen nahezu vollständig aus *E. affinis* bestand (97,7 % der Tiere im März, 100 % im April und 98,6 % im Mai). Aus der Gesamtzahl der Tiere und dem Gesamtgewicht konnte dann auf eine mittlere Biomasse pro Individuum geschlossen werden. Auf die gleiche Art und Weise wurden auch die Biomassewerte für die Copepoden aus dem Pelagial ermittelt. Die wenigen Exemplare von *Acartia tonsa* wurden einzeln vermessen, die Biomasse ebenfalls über eine Regressionsgleichung (vgl. ARNDT, 1985) ermittelt und in die Berechnung der Gesamtbiomasse pro Probe einbezogen.

3 Ergebnisse

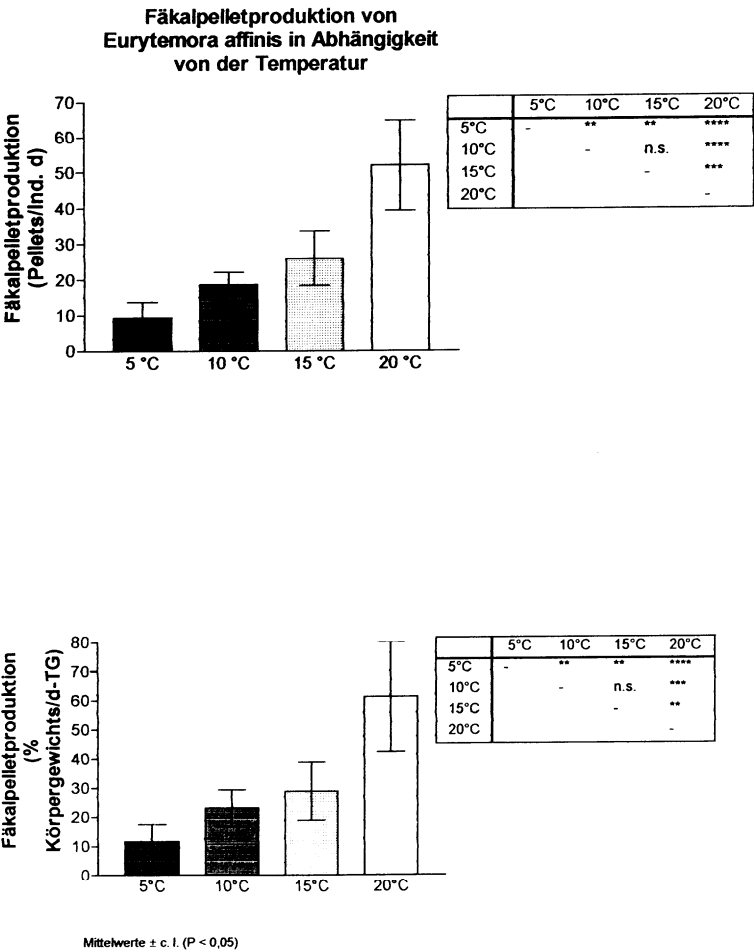
3.1 Fäkalpelletproduktion von *E. affinis* unter verschiedenen Temperaturverhältnissen (Laborversuche)

Zwischen den Ansätzen bei verschiedenen Temperaturen gab es signifikante Unterschiede bei der Fäkalpelletproduktion sowohl in Bezug auf die Anzahl abgegebener Fäkalpellets als auch in Bezug auf das abgegebene Trockengewicht in Relation zum Körpertrockengewicht der Versuchstiere (Einfache Varianzanalyse, $P < 0,0001$ in beiden Fällen).

Die Raten bei 20 °C waren mit 52 Pellets Ind.⁻¹ d⁻¹ bzw. 61,2 % Körpergewicht/d (TG) signifikant höher als bei allen anderen Ansätzen (Abb.1). Bei 5 °C wurden die im Verhältnis zu den anderen Temperaturen niedrigsten Raten gemessen. Zwischen der Fäkalpelletproduktion bei 10 °C und 15 °C waren keine signifikanten Unterschiede festzustellen. Ein Vergleich der Fäkalpelletproduktion bei 5 °C und 15 °C führt zu einem Q_{10} -Wert von 3,0 (Fäkalpellet-anzahl) bzw. 2,5 (% Körpergewicht-TG) und ein Vergleich zwischen 10 °C und 20 °C zu einem Q_{10} -Wert von 2,8 (Fäkalpelletanzahl) und 2,7 (% Körpergewicht). Die gemittelten Biovolumina aller gemessenen Fäkalpellets und Trockengewichte pro Pellet zeigten eine geringe Variabilität beim Vergleich der Ansätze (5 °C: 218.206 $\mu\text{m}^3/0,056 \mu\text{g TG}$; 10 °C:

219.315 $\mu\text{m}^3/0,056 \mu\text{g TG}$; 15 °C: 176.090 $\mu\text{m}^3/0,045 \mu\text{g TG}$; 20 °C: 219.024 $\mu\text{m}^3/0,056 \mu\text{g TG}$).

Abb. 1



Tabellen: t-Test, Signifikanzniveaus zwischen den Ansätzen:
n.s. - nicht signifikant; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$; **** $P < 0,0001$

Abb. 1 Fäkalproduktion von *Eurytemora affinis* in Abhängigkeit von der Temperatur

3.2 Konsumtionsraten, Fäkalpelletproduktion und Verbleib der Fäkalpellets in der Kirr-Bucht

3.2.1 Radiotracermessungen der Konsumtion mit ^{51}Cr unter biotopnahen Bedingungen

Die Ergebnisse der Radiotracermessungen der Konsumtion mit ^{51}Cr unter biotopnahen Bedingungen sind in Tabelle 1 enthalten.

Tabelle 1 Filter- und Freßraten von der Copepoden (> 200 µm) aus der Kirr-Bucht unter biotopnahen Bedingungen; Mittelwerte +/- SD

Datum	Temperatur (°C)	Salinität (psu)	Futterkonz. (mg TG /l)	mittl. Copepodengewicht (µg TG /Ind.)	Filterrate (µl Ind. ⁻¹ h ⁻¹)	Freßrate (µg TG Ind. ⁻¹ h ⁻¹)	Freßrate (µg mg TG ⁻¹ h ⁻¹)	Freßrate (% des Körpergewichts /d)
27.3.1997	4	7,0	20,9	3,11	4,77 +/- 1,08 (n=10)	0,101 +/-0,023	32,406 +/- 7,44	77,75 +/-17,88
10.4.1997	6	7,3	22,0	2,98	4,35 +/- 0,54 (n=10)	0,096 +/-0,012	32,081 +/-4,049	77,00 +/- 9,72
16.5.1997	15	6,5	37,8	2,57	5,30 +/- 0,868 (n=16)	0,200 +/-0,033	77,97 +/- 12,69	187,12 +/-30,45

Die höchsten Freßraten wurden im Untersuchungs-zeitraum bei der höchsten Wassertemperatur und Nahrungskonzentration gemessen (16.05. 1997). Diese Freßraten sind am 16.05.97 signifikant höher (t-Test, $P < 0,0001$) als am 27.03.97 und 10.04.97 (t-Test, $P < 0,0001$). Zwischen den beiden Messungen bei 4 °C und 6 °C gibt es keine Unterschiede bezüglich der Freßraten. Die Filterraten variieren nicht sehr stark zwischen den Messungen, allerdings sind sie am 16.05.97 bei 15 °C signifikant höher als bei 6 °C am 10.04.97 (t-Test, $P < 0,01$).

3.2.2 Fäkalpelletproduktion und Verbleib der Fäkalpellets

3.2.2.1 Fäkalpelletproduktion (Egestion)

Die Ergebnisse der Experimente zur Fäkalpelletproduktion sind aus Tabelle 2 ersichtlich.

Tabelle 2 Fäkalpelletproduktion (Egestion) der Copepoden (> 200 µm) aus der Kurr-Bucht unter *in situ* Bedingungen; Mittelwerte +/- SD

Datum	Temperatur (°C)	Salinität (psu)	Futterkonzentration (mg TG/l)	mittleres Copepodengewicht (µg TG Ind. ⁻¹)	Egestionsrate (Pellets Ind. ⁻¹ d ⁻¹)	Egestionsrate (µg TG Ind. ⁻¹ d ⁻¹)	Egestionsrate (% Körpergewichts/d)
25.3.- 26.3. 1997	3-5	7,0	22,1	3,65	4,12 +/- 2,24 (n=4)	0,322 +/- 0,175	8,96 +/- 5,34
7.4. -8.4. 1997	5-7	7,3	21,1	3,0	5,37 +/- 1,25 (n=4)	0,280 +/- 0,068	9,32 +/- 2,09
13.5.- 14.5. 1997	14-16	6,5	35,7	1,96	13,91 +/- 1,75 (n=5)	0,515 +/- 0,065	26,16 +/- 2,73

Die Vermessung und Berechnung der Fäkalpelletbiovolumina und Fäkalpelletrockengewichte ergab für die einzelnen Experimente unterschiedliche Werte mit dem höchsten Wert im März und niedrigsten Wert im Mai:

25. - 26.03.97 305.286 µm³ (0,078 µgTG),
 07. - 08.04.97 201.219 µm³ (0,052 µgTG),
 13 - 14.05.97 145.356 µm³ (0,037 µgTG).

Die Fäkalpelletproduktion war genau wie die Freßrate im Mai bei der höchsten Wasser-temperatur und Nahrungskonzentration signifikant (t-Test, P < 0,001) höher im Vergleich zu den beiden anderen Messungen. Da das Copepodenplankton zu allen Terminen fast ausschließlich aus *E. affinis* bestand und die Temperaturen in etwa vergleichbar sind, bietet sich eine Gegenüberstellung mit den Laborwerten (vgl. 3.1) an (Tabelle 3 und 4).

Tabelle 3 Vergleich der *in situ* Fäkalpelletproduktion (Egestion) vom 25.3-26.3 und 7.4-8.4 mit den Laborergebnissen bei 5 °C; Mittelwerte der Messungen

Egestionsrate	25.3-26.3	7.4-8.4	Labor	% des Laborwertes
(Pellets Ind. ⁻¹ d ⁻¹)	4,12	5,37	9,33	44,1/57,6
(µgTG Ind. ⁻¹ d ⁻¹)	0,322	0,280	0,529	52,9/60,9
(% des Körpergew./d)	8,96	9,32	11,66	76,8/79,9

Tabelle 4 Vergleich der *in situ* Fäkalpelletproduktion (Egestion) vom 13.-14.5 mit den Laborergebnissen bei 15°C; Mittelwerte der Messungen

Egestionsrate	13.5 - 14.5	Labor	% des Laborwertes
(Pellets Ind. ⁻¹ d ⁻¹)	13,91	28,00	49,7
(µg TG Ind. ⁻¹ d ⁻¹)	0,515	1,269	40,6
(% des Körpergew./d)	26,16	28,81	90,8

Bei den individualspezifischen Raten wurde unter *in situ* Bedingungen etwa die Hälfte der Laborwerte gemessen. Dabei ist aber zu berücksichtigen, daß die Futterkonzentration bei den Laborversuchen höher waren als im Biotopwasser (47,3 mg TG/l, errechnet aus Biovolumen der verwendeten *Chlorella vulgaris*) und daß große, adulte Tiere verwendet wurden (Durchschnittsgewicht 5 °C: 4,55 µg TG/Ind.; 15 °C: 4,52 µg TG/Ind.). Durch die adulten Tiere fallen die gewichtsspezifischen Raten niedriger aus als bei den in den anderen Versuchen verwendeten etwas kleineren Tieren.

Neben dem Vergleich der Fäkalpelletproduktion unter *in situ* Bedingungen und im Labor bietet sich ein Vergleich mit den unter nahezu gleichen Bedingungen gemessenen Fraßraten und die daraus abzuleitende Assimilationseffektivität an. Darauf soll im Rahmen der Gesamt-bilanzierung der Vorgänge im Pelagial eingegangen werden.

3.2.2.2 Verbleib der produzierten Fäkalpellets

Um Aufschluß über den Verbleib der in der Wassersäule produzierten Fäkalpellets zu erhalten, wurde die Konzentration der dort suspendierten Pellets gemessen. Abb. 2 gibt einen Überblick über die gemessenen Fäkalpelletkonzentrationen und Copepodenabundanzen im Verlauf der einzelnen Untersuchungstage. Die tendenziell niedrigsten Fäkalpelletkonzentrationen wurden im März gemessen im Vergleich zu denen im April und Mai. Folgende Tagesmittel wurden registriert:

25. - 26.03.97:	9,5 Pellets/l (0,74 µg TG/l),
07. - 08.04.97:	28,2 Pellets/l (1,55 µgTG/l),
13. - 14.05.97:	47,4 Pellets/l (1,75 µgTG/l).

Bei den Werten vom März und Mai waren erhebliche Schwankungen im Tagesverlauf zu verzeichnen im Gegensatz zu den Daten von April. Die Vermessung und Berechnung der Fäkalpelletbiovolumina und Fäkalpelletrockengewichte ergab nahezu identische Werte wie bei den Pellets aus den Versuchen zur Fäkalpelletproduktion (vgl. Abschnitt: 3.2.2.1):

25. - 26.03.97:	306.596 µm ³ (0,079 µgTG),
07. - 08.04.97:	214.959 µm ³ (0,055 µgTG),
13 - 14.05.97:	144.546 µm ³ (0,037 µgTG).

Ebenfalls waren für die einzelnen Experimente unterschiedliche Werte zu verzeichnen mit dem höchsten Wert im März und niedrigsten Wert im Mai. Die Copepodenabundanz (Tiere > 200 µm) war relativ niedrig zu allen Untersuchungszeitpunkten. Die Tagesmittel für Abundanz und Biomasse betrugen:

25 - 26.03.97:	22,0 Ind./l (70,62 µgTG/l);
07. - 08.04.97:	26,7 Ind./l (92,38 µgTG/l);
13 - 14.05.97:	24,5 Ind./l (48,75 µgTG/l).

Dabei waren die Tiere im Mai deutlich kleiner als zu den anderen beiden Untersuchungszeitpunkten. Die geringen Abundanzwerte waren für *E. affinis* bei den letzten beiden Terminen außergewöhnlich, da zwischen April und Juni normalerweise das Populationsmaximum mit Höchstwerten im Mai erreicht wird (vgl. z. B. ARNDT, 1985). Die Copepodenabundanz wies bei den Messungen im März und Mai ebenfalls erhebliche Schwankungen im Tagesverlauf auf. Im März war gleichzeitig ein starker Anstieg von Fäkalpelletkonzentration und Copepodenabundanz gegen Abend zu beobachten. Ein ähnlicher Trend war im Mai zu verzeichnen, allerdings stieg die Copepodenabundanz bei weitem dabei nicht so schnell an wie die Fäkalpelletkonzentration. Ein Vergleich der Sestontrockenmassen (Tagesmittel) mit der mittleren Fäkalpelletkonzentration (TG) ergab einen sehr geringen Anteil der Fäkalpellets an der Gesamttrockenmasse des Sestons - 0,003 % , 0,007 % im April und 0,005 % im Mai.

3.3 Bilanzierung der Vorgänge im Pelagial

Ziel der Freilanduntersuchungen war es, Aufschlüsse über die Entstehung und den Verbleib der von *E. affinis*, als wichtigste Zooplanktonart in der Kurr-Bucht, produzierten planktischen Aggregate = Fäkalpellets zu bekommen. Dazu sollte die Zeit des Populationsmaximums im Frühjahr genutzt werden. Für die Berechnung der Bilanz wurden Tagesmittel der Copepodenabundanz verwendet, mittlere Copepodenbiomassen im Pelagial und Tagesmittel der Fäkal-pelletbiomasse im Pelagial. Die Berechnung der Freß- und Egestionsraten erfolgte über die körperrgewichtsbewogenen Raten aus den Abschnitten 3.2.2.1 und 3.2.2.2, eingeschlossen eine Korrektur bei auftretenden Differenzen zwischen den Individualgewichten der Versuchstiere und denen der Pelagialtiere über das Verhältnis der Körpergewichte.

Aus dem Vergleich der Freßraten und Egestionsraten lassen sich relativ hohe, aber durchaus für die Tiere realistische, Assimilationseffektivitäten im Bereich zwischen 86 bis 89 % der Konsumtion ableiten (Tab. 5).

Tabelle 5 Bilanzierung der Vorgänge im Pelagial bei der Entstehung und dem Verbleib der von Copepoden produzierten planktischen Fäkalpellets

Datum	Freßrate (mg TG $\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$)	Fäkalpellet- produktion (mgTG m^{-2} d^{-1})	Assimilations- effektivität (% der Freßrate)	Pelletkon- zentration (mgTG/ m^2)	Pelletproduktion/ Pelletkonzentration
25.3.- 26.3. 1997	63,64	8,63	86,44	0,89	9,7
7.4.- 8.4. 1997	73,49	8,96	87,81	1,86	4,8
13.5.- 14.5. 1997	141,31	15,07	89,33	2,11	7,1

Ein Vergleich der Fäkalpelletproduktion mit den Fäkalpelletkonzentrationen im Pelagial zeigt, daß pro Tag das ca. 5 bis 10-fache der im Pelagial schwebenden Pellets produziert wird. Die angegebene Fäkalpelletproduktion ist der Stofffluß, der maximal über die Copepoden zum Benthos gelangen kann.

4 Diskussion

4.1 Fäkalpelletproduktion von *Eurytemora affinis* unter verschiedenen Temperaturverhältnissen (Laborversuche).

Bei *Eurytemora affinis* wurde die maximale Fäkalpelletproduktion bei 20 °C gemessen mit $52 \pm 12,1$ Pellets Ind.⁻¹ d⁻¹. Aus der Literatur sind für die Art durchaus auch wesentlich höhere Werte bekannt. Aus den Daten von HEERKLOSS (1979) lassen sich Raten von 160 Pellets/Ind.⁻¹ d⁻¹ bei vergleichbarer Nahrungskonzentration und der gleichen Futteralge ableiten und aus den Angaben von SELLNER und OLSON (1985) bei Fütterung mit dem Dinoflagellaten *Heterocapsa triquetra* Raten von 168 bis 240 Pellets Ind.⁻¹ d⁻¹ (Futterkonzentration $2,43 \cdot 10^5$ Zellen/ml). Bei adulten *Acartia tonsa*, einer von der Größe vergleichbaren Art, wurden bei 16 °C und differierenden Konzentrationen und Kulturen verschiedenen Alters der Alge *Thalassiosira weissflogii* stark variierende Raten zwischen 10 und 150 Pellets/Ind. d ermittelt (BUTLER and DAM, 1994). Da HEERKLOSS (1979) unter ähnlichen Bedingungen arbeitete (19 bis 23 °C, gleiche Futteralge, *Eurytemora*-Copepodite 4 und 5) sind die Daten besonders für einen Vergleich geeignet. Bei den Fäkalpellets wurden wesentlich geringere Volumina gemessen von durchschnittlich $47.100 \mu\text{m}^3$ im Vergleich zu $219.024 \mu\text{m}^3$ bei 20 °C. Möglicherweise ist dieses Ergebnis durch die Verwendung adulter Tiere mit Fähigkeit zur Bildung größerer Pellets bedingt. Bezieht man das Pelletvolumen in die Berechnung ein, entsprechen die gemessenen 160 Pellets/Ind.⁻¹ d⁻¹ von HEERKLOSS (1979) $34,4$ Pellets Ind.⁻¹ d⁻¹ bei einem Pelletvolumen von $219.024 \mu\text{m}^3$. In Bezug auf das Biovolumen wurden somit 1,5 fach höhere Raten gemessen als von (HEERKLOSS, 1979).

Die Fäkalpelletproduktion zeigte eine deutliche Temperaturabhängigkeit mit einem Maximum bei 20 °C. Da zwischen Freßrate und Pelletfreisetzung normalerweise eine enge Korrelation besteht (PAFFENHÖFER and KNOWLES, 1979; HEERKLOSS, 1979; AYUKAI and NISHIZAWA, 1986), ist es erstaunlich, daß die Freßrate nach den Literaturergebnissen ein anderes Muster zeigt. Nach den Daten von RING (1987), bei Fütterung mit der gleichen Algenart, wurde das Temperaturoptimum der Freßrate bei 10 °C im Winter und 15 °C im Sommer in Abhängigkeit von der Adaptation der Tiere gemessen (Kalt- und Warmadaptation). Bei 20 °C wäre somit bei der Freßrate, im Gegensatz zur Egestionsrate, schon das Temperaturoptimum überschritten. Auch zeigten die adulten Tiere von *Eurytemora affinis* bei 20 °C nach HEERKLOSS et al. (1990) eine verringerte Eibildungsrate und Überlebesrate. Allerdings gab es kein Anzeichen von Stress bei den jüngeren Entwicklungsstadien. KATONA (1970) konnte sogar bei 20 °C höhere Überlebensraten von adulten *Eurytemora affinis* messen als bei den anderen Temperaturen.

Eine befriedigende Erklärung für die unterschiedlichen Verläufe bei Freßrate und Egestionsrate kann bisher nicht gegeben werden. Eine Vermutung wäre, daß der Adaptationszustand der Tiere (warmadaptiert) dieses Ergebnis bedingt, da der Versuch Mitte September stattfand (Biotoptemperatur: 15 °C). Bei der Adaptationszeit gab es keinen Unterschied zu RING (1987). Nach RING (1987) ist *Eurytemora affinis* mittels einer schnell ablaufenden Resistenzadaptation im hohen Maße in der Lage, sich an im Jahresgang wechselnde *in situ* Temperaturen anzupassen. Auch

BRADLEY (1975) beschreibt die gute Adaptationsfähigkeit der Art an die Temperaturverhältnisse und gibt an, daß sich die obere Grenze der Temperaturtoleranz in der Nähe von 30 °C befindet.

4.2 Konsumtionsraten, Fäkalpelletproduktion und Verbleib der Fäkalpellets in der Kirr-Bucht

4.2.1 Radiotracermessungen der Konsumtion mit ^{51}Cr unter biotopnahen Bedingungen

Die Konsumtionsmessungen mit ^{51}Cr haben den Vorteil, daß das im Gegensatz zur ^{14}C -Methode alle potentiellen Nahrungsbestandteile markiert werden, nicht nur das Phytoplankton. Somit spiegeln die gemessenen Raten eher den natürlichen Gegebenheiten im Biotop wider.

Die gemessenen Filtrerraten, sind eher niedrig im Vergleich zu den aus Literatur bekannten maximalen Filterkapazität. ALLAN et al. (1977) ermittelten z.B. bei einem vergleichbaren Gewicht der Tiere ($3\mu\text{g TG/Ind.}$) mittlere Raten von zirka $40\mu\text{l Ind.}^{-1}\text{h}^{-1}$ und maximale Raten von etwa $100\mu\text{l Ind.}^{-1}\text{h}^{-1}$, allerdings bei einer niedrigeren Nahrungskonzentration. Bei vergleichbarer Nahrungskonzentration (2,9 - 5,2 Mill. *Chlorella*/ml - entspricht 20,9 - 37,8 mg TG/l, Umrechnungsfaktoren nach HEERKLOSS and VIETINGHOFF, 1981) konnte HEERKLOSS (1979) Raten von etwa $2 - 8\mu\text{l Ind.}^{-1}\text{h}^{-1}$ messen.

RING (1987) konnte bei vergleichbarem Tiermaterial (Copepoden > 200 μm), aber mit einer Standardnahrung (*Chlorella vulgaris*, 1 Mill. Zellen/ml) maximale Fraßraten von 340 % Körpergewicht (TG-Basis) im Mai 1985 und 283 % Körpergewicht im Mai 1986 unter biotopnahen Bedingungen messen, welche höher sind als die von uns ermittelten Werte. Die *in situ* Messungen von HEERKLOSS et al. (1984) ergaben maximal 55 % und durchschnittlich 29 % Körpergewicht im Jahresgang. Dabei wurde mit Zooplankton > 115 μm gearbeitet und nur die autotrophen Sestonbestandteile mit ^{14}C -markiert. Möglicherweise führt die umfassendere Markierung der potentiellen Nahrung zu den von uns gemessenen höheren Raten. IRIGOEN et al. (1993) konnten für *Eurytemora affinis* im Gironde-Ästuar (ausschließlich Phytoplanktonnahrung, Darmfluoreszenzmessungen bei Adulten und Copepoditstadium 5) nur Raten bis 20 % des Körperkohlenstoffs messen (unsere Daten ergeben 22, 21 und 52 % Körperkohlenstoff bei Umrechnung mit dem Faktor 0,45 für die Copepoden und 0,3 für Seston - HEERKLOSS und VIETINGHOFF, 1981) was als nicht ausreichend für die Nahrungsansprüche der Art eingeschätzt wurde. Im Labor wurden von BARTHEL (1983) auch höhere Raten von 50 - 250 % des Körperkohlenstoff bei Fütterung mit *Nannochloris spec.* gemessen (Nahrungskonzentration bis 750 $\mu\text{gC/l}$, Adulte und Copepoditstadium 5).

4.2.2 Fäkalpelletproduktion und Verbleib der Fäkalpellets

4.2.2.1 Fäkalpelletproduktion

Die Fäkalpelletproduktion zeigt eine enge Korrelation zu den gemessenen Freßraten, was auch aus anderen Arbeiten bekannt ist (PAFFENHÖFER and KNOWLES, 1979; AYUKAI and NISHIZAWA, 1986).

Bei den sicher unter nicht optimalen Bedingungen ablaufenden Messungen zur Fäkalpelletproduktion unter *in situ* Bedingungen im Vergleich zu den Laborversuchen konnten immerhin noch zirka 50 % der Laborwerte bei vergleichbarer Temperatur gemessen werden. LANE et al. (1994) ermittelten bei Inkubation von *Calanus typicus*-Weibchen im unfiltrierten See-wasser Raten, die nur 11 % der Raten bei Zusatzfütterung mit *Thalassiosira weissflogii* entsprachen. In einem weiteren Experiment unter zusätzlicher Einbeziehung von *Pleuromanna spec.* erreichten die Raten durchschnittlich nur 2 % der Laborwerte.

Die Größe und Dichte der produzierten Fäkalpellets hängt von der Größe der Tiere und der Nahrungsquantität und Nahrungsqualität ab (PAFFENHÖFER and KNOWLES, 1979; BEINFANG, 1980; DAGG and WALSER, 1986; MORALES, 1987; URBAN et al. 1993; BUTLER and DAM, 1994; LANE et al., 1994). Die differierenden Pelletgrößen bei den einzelnen Messungen (auch bei Fäkalpellets im Pelagial) stehen vermutlich im Zusammenhang mit der Größe der Tiere. Die kleinsten Tiere traten zusammen mit den kleinsten Pellets im Mai auf.

4.2.2.2 Verbleib der produzierten Fäkalpellets

Der Verbleib der produzierten Fäkalpellets hängt von durch Wind- und Strömung induzierten Transportprozessen, wie Horizontaltransporten und unterschiedlicher vertikaler Bewegung durch Sedimentation und Resuspension ab (vgl. z. B. BATHMANN and LIEBEZEIT, 1986; LANE et al., 1994). Diese Transportprozesse stehen über unterschiedliches Aus-sinkverhalten wiederum im Zusammenhang mit der Größe und Dichte der produzierten Fäkalpellets die wiederum abhängig sind von der Tiergröße und der Nahrungsquantität und Nahrungsqualität. Weiterhin hat die Temperatur und die mikrobiologische Aktivität Einfluß auf die Abbaugeschwindigkeit der produzierten Pellets (HONJO and ROMAN, 1978), wobei die Pellets eine eigene Bakterienflora haben können, deren Aktivität sich von den Bakterien im Freiwasser unterscheidet (DELILLE and RAZOULS, 1994). Weiterhin wird das Schicksal der Fäkalpellets durch Koprophagie, Fragmentierung und Abraspelung der Pellets (Koprorhexy, Koprochaly) beeinflusst (LAMPITT et al. 1990, NOJI et al. 1991, GREEN et al. 1992; GONZALEZ and SMETACEK, 1994).

Die vorgefundenen Pelletkonzentrationen hängen aber auch von der Größe der Fäkalpelletproduktion ab. Diese ist abhängig von der Copepodenabundanz und Konsumtionsrate sowie Assimilationseffektivität (PAFFENHÖFER and KNOWLES, 1979; HEERKLOSS 1979; AYUKAI and NISHIZAWA, 1986).

Die vorgefundenen Trend zu niedrigeren Konzentrationen an suspendierten Pellets im März im Vergleich zum April und Mai ist in Bezug auf April nicht durch nied-

grigere Konsumtions - bzw. Fäkalpelletproduktionsraten erklärbar (vgl. Tab. 1 und 2). Auch ist die Copepoden-abundanz durchschnittlich nicht höher als im März. Es treten aber im Tagesverlauf zeit-weilig sehr niedrige Copepoden-abundanzen auf (22.00 Uhr - 5,7 Ind./l; 14.00 Uhr - 10,3 Ind./l), die eine geringere Fäkalpelletkonzentration zur Folge haben können. Die im Ver-gleich zu März in der Tendenz höhe-ren Fäkalpelletkonzentrationen im Mai sind anscheinend durch höhere Konsumti-ons- und Egestionsraten bedingt (vgl. Tab. 1 und 2).

Die starken tageszeitlichen Schwankungen im März und Mai können durch tages-zeitliche Änderungen der Copepodenabundanz und Freßaktivität als auch durch vertikale und horizon-tale Transportprozesse, ausgelöst durch Strömung und Wind verursacht werden, wobei die Prozesse oft in Zusammenhang stehen. Im März korreliert die Copepodenabundanz gut mit der Fäkalpelletkonzentration (Abb. 2). Auch stimmt der Anstieg der Fäkalpelletkonzentration gegen Abend mit der beobachteten Erhöhung der Freßaktivität in den Abend und Nachtstunden bei *Eurytemora affinis* überein (HAMMER et al 1998): Eine Salzgehaltsänderung (7,4 psu - 22.00 Uhr; 6,3 psu - 6.00 Uhr), zeigt an, daß der Wasserkörper in der Nacht ausgetauscht wird (Wechsel von Einstromlage auf Ausstromlage) - Copepodenabundanz und Fäkal-pellet-konzentration tendieren zu niedrigeren Werten. Im Mai könnte sowohl die Erhöhung der Copepodenabundanz, als auch die Erhöhung der Freßaktivität zur Erhöhung der Fäkalpellet-konzentration gegen Abend beitragen. Inwieweit andere Prozesse (z. B. Resuspension) dabei eine Rolle spielen ist nicht konkret abschätz-bar. Stärkere Salzgehaltsänderungen waren nicht zu verzeichnen, es war windstill bis schwach windig. Im April traten keine starken tageszeitlichen Schwankungen von Copepodenabundanz und Fäkalpelletproduktion auf, auch der Salzgehalt schwankte kaum (7,3 bis 7,7 psu), es war windstill bis schwach windig. Möglicherweise könnte eine erhöhte Sedimentation eine Erhöhung der Freßaktivität der Copepoden in den Abend- und Nachtstunden und in Folge höhere Fäkalpelletkonzentrationen kompen-sieren.

Die Fäkalpellets der Copepoden können eine beträchtliche Komponente des "marine snow" bilden (ALLDREDGE and SILVER, 1988). Es wurden im Mittelmeer Anreicherungsfaktoren bis zum 3800 fachen in Aggregaten im Vergleich zum Umge-bungsmedium gemessen (BOCHDANSKY and HERNDL, 1992). Somit bilden Fäkal-pellets allein als selbstständige Aggregate , als auch gefangen in größeren Aggre-gaten oft ein wichtiges Transportsystem zum Benthos, da größere Partikel schneller aussinken. In marinen Gebieten können auf Fäkal-pellets ein beträchtlicher Teil des C-Flusses zum Benthos entfallen. So ermittelten MIQUEL et al. (1993) im Mittelmeer Anteile bis 62 % des C-Flusses, FOWLER et al. (1991) von 25 bis 23 % und SASAKI and NISHIZAWA (1989) im nordwestlichen Pazifik Werte zwischen 19 und 29 %. Im Gegensatz dazu wurden aber auch nur geringe Anteile gemessen - MAITA et al. (1988) im Funka Bay, Hokkaido - 2 bis 4 % (Winter) oder LANE et al. (1994) auf dem Kontinentalschelf des Mittelatlantik - weniger als 1 % des Flusses zum Benthos und 0,3 % des Kohlenstoffs aus dem Pelagial. Zeitgleiche Messungen mit Sedimentati-onsfallen ergaben bei unseren Untersuchungen, daß der Anteil an Pellets im aufge-fangenen Material im Vergleich zum übrigen aufgefangenen Material sehr gering war. Er betrug 0,03 bis 0,37 %-TG. Dies läßt den Schluß zu, daß die Fäkalpellets im

Vergleich zum Gesamttransport von Material zum Benthos im Untersuchungszeitraum nur eine geringe Rolle spielten.

Abb. 2

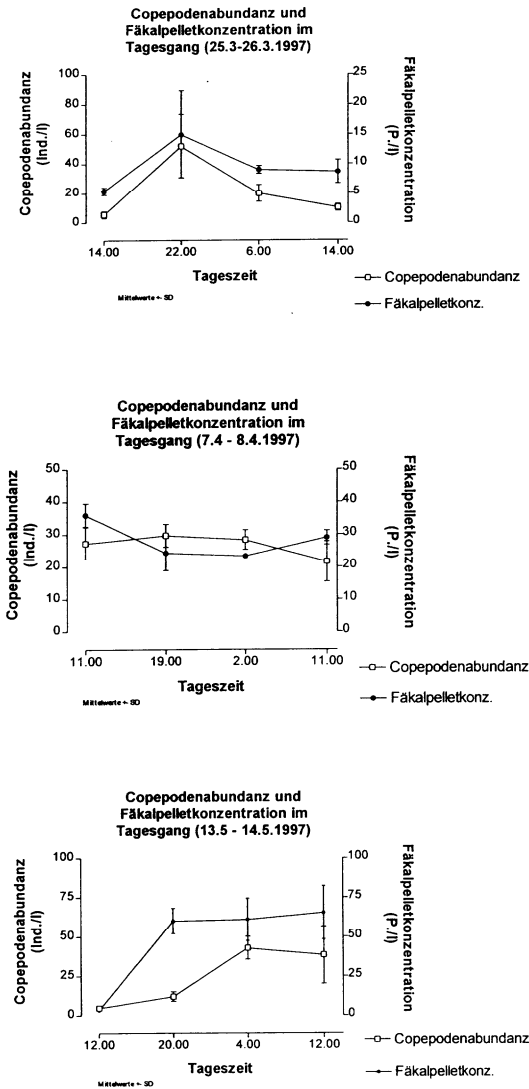


Abb. 2 Copepodenabundanz und Fäkalpelletkonzentration im Tagesgang

Dabei ist aber zu berücksichtigen, daß im April und Mai die Konzentration der Copepoden für die Jahreszeit außergewöhnlich niedrig war. *E. affinis* erreicht sonst das Populationsmaximum zwischen April und Juni mit Maximum im Mai (HEERKLOSS et al., 1994; ARNDT, 1985). Legt man den Höchstwert von ARNDT (1985) zugrunde (888 Ind./l) und läßt alle anderen Daten für Mai unverändert, kommt man auf einen maximalen Anteil an der Fallen-sedimentation von 3,3 % der Pellets an der Sestontrockenmasse, womit die vorher getroffene Aussage zur relativ geringen Bedeutung der Fäkalpellets Bestätigung findet.

4.3 Bilanzierung der Vorgänge im Pelagial

Der Vergleich der Konsumtionsraten mit den Egestionsraten ergab Assimilationseffektivitäten zwischen 86 bis 89 %. Diese Werte sind im Vergleich zu anderen Ergebnissen relativ hoch, aber möglich. HEERKLOSS et al. (1984) ermittelten unter *in situ* Bedingungen im Zingster Strom für das Zooplankton > 115 µm Werte von durchschnittlich 75,7 % bei Fütterung mit natürlichen Phytoplankton. Mit der gleichen Nahrung und *Eurytemora affinis* erhielt KRUMMHAAR (1983) einen Durchschnittswert von 65 %. Bei Fütterung mit Algenkulturen und Bakterien und Algen wurden auch noch höhere Werte bei *Eurytemora affinis* gemessen - durchschnittlich 89 % (BARTHEL, 1983) und nahe 100 % (GYLLENBERG, 1980). Interessant ist, daß die von uns ermittelten Werte für die Assimilationseffektivität sich im Vergleich zu früheren Messungen nicht deutlich reduziert haben, obwohl sich die Nahrungsqualität in den Boddengewässern in der zweiten Hälfte der 80er Jahre möglicherweise zum Nachteil von *Eurytemora affinis* änderte. Das Copepodenmaximum im Frühjahr wurde kleiner (HEERKLOSS und SCHNESE, 1994). Bei der Nahrungsqualität gab es eine Verschiebung beim Mikro- und Nanoplankton (> 2 µm) von Cyanobakterien zu coccalen Grünalgen, auch das Cyano-Picoplankton (< 2µm) konnte wahrscheinlich anteilig zunehmen (WASMUND und SCHIEWER, 1994). Bei den Konsumtionsmessungen ist allerdings zu berücksichtigen, daß es sich um bei Dunkelheit durchgeführte Kurzzeitexperimente handelt. Da *Eurytemora affinis* in den Abend- und Nachtstunden eine erhöhte Freßaktivität zeigte (HAMMER et al. 1998) kann der Tagesdurchschnitt der Freßrate geringer sein als die Ergebnisse aufzeigen, womit sich die Assimilationseffektivität reduzieren würde. Die im Verhältnis zur Produktion geringen Konzentrationen der suspendierten Fäkalpellets im Pelagial zeigt, daß ein Großteil der Pellets Verlustprozessen unterliegt. Dafür kämen Sedimentation, Horizontaltransport, mikrobiologischer Abbau und Koprophagie in Frage. Die gemessene Fäkalpelletproduktion stellt den maximal möglichen Flux von Fäkalpellet-aggregaten zum Sediment dar.

Zusammenfassung

Konsumtions- und Egestionsraten für den in der Darß-Zingster Boddenkette dominierenden Copepoden *Eurytemora affinis* (Calanoida, Copepoda) wurden unter verschiedenen Bedingungen ermittelt. Bei Laboruntersuchungen zeigte die Art bei Fütterung mit *Chlorella vulgaris* eine Zunahme der Egestionsrate mit steigender

Temperatur. Die höchste Rate wurde bei 20° mit 52 Pellets Ind.⁻¹ d⁻¹ bzw. 62,2 % Körpergewicht/d (TG) gemessen. Gleichzeitige Messungen der Konsumtions- und Egestionsraten an 3 Terminen im Frühjahr unter biotopnahen Bedingungen ergaben Freßraten zwischen 77 und 187 % Körpergewicht/d und Egestions-raten zwischen 8 und 26 % Körpergewicht/d. Dabei wurden die höchsten Werte bei der höchsten Wassertemperatur und Nahrungskonzentration gemessen. Ein Vergleich der Egestionsraten mit den Laborwerten zeigte, daß zirka 50 % des Laborwertes unter *in situ* Bedingungen erreicht wurde. Eine Kalkulation der Assimilationseffektivität aus Freßraten und Egestionsraten ergab Werte zwischen 86 und 89 % (TG). Ein Vergleich der Fäkal-pelletproduktion mit der Fäkalpelletkonzentration im Pelagial zeigte, daß ca. das 5 bis 10-fache der im Pelagial schwebenden Pellets pro Tag produziert wird.

Literatur

- ALLAN, J.D.; RICHMAN, S.; HEINLE, D.R. & HUFF, R. (1977). Grazing in juvenile stages of some estuarine calanoid copepods. *Mar. Biol.* **43**: 317-331.
- ALLDREDGE, A.L. & SILVER, M.W. (1988). Characteristics, dynamics and significance of marine snow. *Prog. Oceanogr.* **20**: 41-82.
- ARNDT, H. (1985). Untersuchungen zur Populationsökologie der Zooplankter eines inneren Küstengewässers der Ostsee. Dissertation Univ. Rostock, 170 pp.
- AYUKAI, T. & NISHIZAWA, S. (1986). Defecation rate as a possible measure of ingestion rate of *Calanus pacificus pacificus* (Copepoda: Calanoida). *Bull. Plankton Soc. Japan* **33**: 3-10.
- BARTHEL, K.-G. (1983). Food uptake and growth efficiency of *Eurytemora affinis* (Copepoda, Calanoida). *Mar. Biol.* **74**: 269-274.
- BATHMANN, U. & LIEBEZEIT, G. (1986). Chlorophyll in copepod faecal pellets: changes in pellet numbers and pigment content during a declining Baltic spring bloom. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **7**: 59-73.
- BEINFANG, P.K. (1980). Herbivore diet affects fecal pellet settling. *Can. J. Fish. aquat. Sciences* **37**: 1352-1357.
- BOCHDANSKY, A.B. & HERNDL, G.J. (1992). Ecology of amorphous aggregation (marine snow) in the Northern Adriatic Sea. 5. Role of fecal pellets in marine snow. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* **89**: 297-303.
- BRADLEY, B.P. (1975). The anomalous influence of salinity on temperature tolerances of summer and winter populations of the copepod *Eurytemora affinis*. *Biol. Bull.* **154**: 177-187.
- BUTLER, M. & DAM, H.G. (1994). Produktion rates and characteristics of fecal pellets of the Copepod *Acartia tonsa* under simulated phytoplankton bloom conditions: implications for vertical fluxes. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* **114**: 81-91.
- DAGG, M.J. & WALSER, W.E. (1986). The effect of food concentration on fecal pellet size in marine copepods. *Limnol. Oceanogr.* **31**: 1066-1077.
- DELILLE, D. & RAZOULS, S. (1994). Community structures of heterotrophic bacteria of copepod fecal pellets. *J. Plankton Res.* **16**: 603-615.
- FOWLER, S.W. (1977). Trace elements in zooplankton particulate products. *Nature*, **269**: 51-53.
- FOWLER, S.W.; SMALL, L.F. & ROSA, J.L. (1991). Seasonal particulate carbon flux in the coastal northwestern Mediterranean Sea and the role of zooplankton fecal matter. *Oceanologica Acta* **14**: 77-85.
- GEORGI, F.; SPITTLER, P.; SCHNESE, W. & SCHLUNGBAUM, G., (1980). Untersuchungen zur Quantität und Qualität des Sestons in der Darß-Zingster Boddenkette. *Wiss. Z. Univ. Rostock.* **29**: 27-31.
- GONZÁLEZ, H.E. & SMETACEK, V. (1994). The possible role of cyclopoid copepod Oithona in retarding vertical flux of zooplankton faecal material. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* **113**: 233-246.
- GREEN, E.P.; HARRIS, R.P. & DUNCAN, A. (1992). The production and ingestion of faecal pellets by nauplii of marine calanoid copepods. *J. Plankton Res.* **14**: 1631- 1643.
- GYLLENBERG, G. (1980). Feeding of the copepod *Eurytemora hirundoides* (Crustacea) on different algal cultures. *Ann. Zool. Fennici* **15**: 181-184.

- HAMMER, A.; BURCKHARDT, R. & HEERKLOSS, R. (im Druck). Diurnal feeding rhythms in zooplankton based on measurement of *in situ* ingestion of fluorescent particles. Verh. Internat. Verein. Limnol. 27.
- HEERKLOSS, R. (1979). Selektivität der Nahrungsaufnahme, Ingestionsrate und Faecesabgabe bei *Eurytemora affinis* (Poppe) (Calanoida, Copepoda). Wiss. Z. Univ. Rostock. 28: 525-529.
- HEERKLOSS, R. & VIETINGHOFF, U. (1981). Biomasseäquivalente planktischer und benthischer Organismen in der Darß-Zingster Boddenengewässern. Wiss. Z. Univ. Rostock. 30: 31-36.
- HEERKLOSS, R.; SCHNESE, W. (1994). Jahreszeitliche Variabilität und Langzeitentwicklung des Metazooplanktons im zentralen Teil der Darß - Zingster Boddenengewässer. Rostock. Meeresbiol. Beitr. 2: 85-92.
- HEERKLOSS, R.; ARNDT, H.; HELLWIG, J.; VIETINGHOFF, U.; WESSEL, B. & SCHNESE, W. (1984). Consumption and assimilation by zooplankton related to primary production in the Baltic coastal water inlet Barther Bodden. Limnologica (Berlin) 15: 387-394.
- HONJO, S. & ROMAN, M.R. (1978). Marine copepod fecal pellets: production, preservation and sedimentation. J. Mar. Res. 36: 45-57.
- IRIGOIEN, X.; CASTEL, J. & SAUTOUR, B. (1993). In situ grazing activity of planctonic copepods in the Gironde estuary. Cah. Biol. Mar. 34: 225-237.
- KATONA, S.K. (1970). Growth characteristics of the copepods *Eurytemora affinis* and *Eurytemora herdmanni* in laboratory cultures. Helgoländer wiss. Meeresunters. 20: 373 - 384
- KRUMMHAAR, B. (1983). Untersuchungen zur Nahrungsverwertung an Sekundärproduzenten. Diplomarbeit, Univ. Rostock 50 S.
- LANE, P.V.Z.; SMITH, S.L.; URBAN, J.L. & BISCAYE (1994). Carbon flux and recycling associated with zooplanktonic fecal pellets on the shelf of the Middle Atlantic Bight. Deep-Sea Res. 41: 437-457.
- LAMPITT, R.; NOJI, T. & von BODUNGEN, B. (1990). What happens to zooplankton fecal pellets? Implications for material flux. Mar. Biol. 104: 15-23.
- MAITA, Y.; ODATE, T. & YANADA, M. (1988). Vertical transport of organic carbon by sinking particles and the role of zoo- and phytogetic matters in neritic waters. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 39: 265-274.
- MORALES, C.E. (1987). Carbon and Nitrogen content of faecal pellets: effect of food concentration and feeding behavior. Mar. Ecol. Progr. Ser. 36: 107-114.
- MIQUEL, J.-C.; FOWLER, S.W. & ROSA, J.L. (1993). Vertical particle fluxes in the Ligurian Sea. Ann. Inst. océanogr., Paris. 69: 107-110.
- NOJI, T.T.; ESTEP, K.W.; MACINTYRE, F. & NORRBIN, F. (1991). Image analysis of faecal material grazed upon by three species of copepods: evidence for coprophagy, coprophagy and coprophagy. J. mar. biol. Ass. U. K. 72: 465-480.
- PAFFENHÖFER, G.A. & KNOWLES, S.C. (1979). Ecological implications of fecal pellet size, production and consumption by copepods. J. Mar. Res. 37: 35-49.
- PETERS, R.J. (1984). Methods for the study of feeding, filtering and assimilation by zooplankton. In: Downing, J.A. and F.H. Rigler (eds.), A manual on methods for the assessment for secondary productivity in fresh waters. Blackwell Scientific Publ., Oxford: pp. 336 - 421.
- RING, M. (1987). Autökologische Untersuchungen an *Eurytemora affinis* (Poppe). Dissertation, Univ. Rostock, 148 pp.
- SASAKI, H. & NISHIZAWA, S. (1989). Downward flux of zooplankton fecal pellets in the upper 2000 m water column of the Izu Trench, western North Pacific. J. Oceanogr. Soc. Japan 45: 258-269.
- SELLNER, K.G. & OLSON, M.M. (1985). Copepod grazing in red tides of Chesapeake Bay. In: ANDERSON, D., WHITE, A.W., BADEN, D.G.: Toxic Dinoflagellates: 245-250.
- URBAN, J.L.; DEIBEL, D. & SCHWINGHAMER, P. (1993). Seasonal variations in the densities of fecal pellets produced by *Oikopleura vanhoeffeni* (C. Larvacea) and *Calanus finmarchicus* (C. Copepoda). Mar. Biol. 117: 607-613.
- WASMUND, N. & SCHIEWER, U. (1994). Überblick zur Ökologie und Produktionsbiologie des Phytoplanktons der Darß-Zingster Boddenkette (südliche Ostsee). Rostock. Meeresbiol. Beitr. 2: 41-60.

Verfasser

Dipl.-Biol. Roger Burckhardt
Dr. Reinhard Heerkloss
Fachbereich Biologie der Universität Rostock
Freiligrathstr. 7/8
D-18051 Rostock