

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Freilanduntersuchungen (Material und Methoden 2.2, S. 13)

Die im Rahmen der Freilanduntersuchungen gesammelten Objekte können in zwei Kategorien unterteilt werden:

1. Einzelne Pflanzen oder Ansammlungen von Makroalgen werden als „ephemere Substrate“ kategorisiert. Diese stellen nicht nur ein Substrat für neustonische Organismen dar, sondern dienen gleichzeitig den auf ihnen lebenden, herbivoren Organismen als Nahrung.

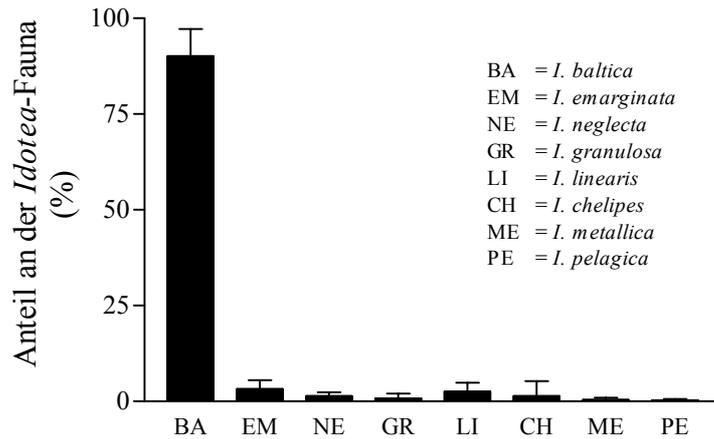
2. Die zweite Kategorie stellen „beständige Substrate“ dar. Sie sind häufig abiotisch und anthropogen. Hierzu gehören zum Beispiel Reste von Fischernetzen, Plastikflaschen oder Bojen. Auch treibendes Holz wird hierzu gezählt. Da dieses nur von wenigen marinen Organismen als Nahrung genutzt werden kann, ist es trotz seiner biotischen Natur relativ beständig gegen biologischen Abbau.

##### 3.1.1 Nordsee (Material und Methoden 2.2.1, S. 13)

In den Jahren 1999 und 2000 konnten jeweils 8 beziehungsweise 3 Treibgutproben genommen werden. Neben verschiedensten beständigen Substraten wurden überwiegend treibende Makroalgen gesammelt. Die dominierenden Arten in der Deutschen Bucht waren *Fucus vesiculosus* und *Ascophyllum nodosum*. Vereinzelt, vor allem nach beständiger Westwindlage, wurden auch *Himanthalia elongata* und *Sargassum muticum* gefunden.

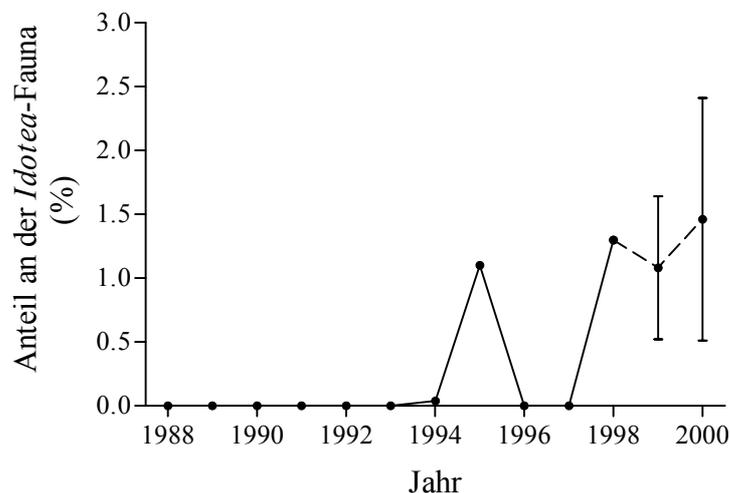
Von den von Franke et al. (1999) gefundenen acht *Idotea*-Arten wurden in den zwei Untersuchungsjahren sieben Arten wiedergefunden, *Idotea chelipes* fehlte. *Idotea baltica* war stets die quantitativ dominierende Art. Während sie von 1988-1998 in allen Proben (100 %) auftrat, wurde sie in den beiden Folgejahren in 9 der 11 Proben (81,8 %) gefunden. Über den Zeitraum von 1988 bis 2000 entspricht dies einem Anteil von 98,2 %. Der Anteil von *I. baltica* an der gesamten *Idotea*-Gemeinschaft auf den treibenden Substraten betrug bei Franke et al. (1999)  $89,1 \pm 7,2$  % (ermittelt aus den Jahresmittelwerten). Für die Jahre 1999 und 2000 betrug dieser Anteil  $89,5 \pm 12,6$  % (ermittelt aus allen Proben). Das entspricht einem langjährigen Mittelwert von  $89,2 \pm 9,7$  % (ermittelt aus den Jahresmittelwerten 1988 - 2000) (Abb. 5).

## Ergebnisse



**Abb. 5:** Anteile der acht gefundenen *Idotea*-Arten an der *Idotea*-Fauna auf treibenden Objekten bei Helgoland für den Zeitraum 1988-2000 (Daten für 1988-1998 aus Franke et al. 1999)

*Idotea metallica* wurde in den Jahren 1999 und 2000 in 5 von 11 Treibgutproben (45,5 %) gefunden. Die Art hatte in diesen Jahren einen Anteil von  $1,1 \pm 1,5$  % (1999) bzw.  $1,5 \pm 1,3$  % (2000) an der gesamten *Idotea*-Fauna (jeweils aus allen Proben ermittelt) (Abb. 6). Das entspricht einem langjährigem Anteil von  $0,4 \pm 0,6$  % (ermittelt aus den Jahresmittelwerten 1988 – 2000) (Abb. 5), wobei bedacht werden muss, dass die Art erst seit 1994 in den Proben vertreten war.



**Abb. 6:** Anteil von *I. metallica* an der *Idotea*-Fauna auf treibenden Objekten bei Helgoland für den Zeitraum 1988-2000 (Fehlerbalken = Standardfehler; Daten für 1988-1998 aus Franke et al. 1999)

### 3.1.2 Mittelmeer und Atlantik (Material und Methoden 2.2.2, S. 14)

Während der Fahrt des Forschungsschiffes „Heincke“ wurden zahlreiche treibende Objekte gesammelt (Tab. 3). Auf vielen dieser Objekte wurden Isopoden gefunden. Im

Ergebnisse

**Tab. 3: Objekte aus Mittelmeer und Atlantik, auf denen *Idotea* gefunden wurde**

Nr.	Position	Substratum	Lokale Populationsstruktur				andere <i>Idotea</i> -Arten
			Anzahl <i>I. metallica</i>	Männchen	Weibchen	Juvenile	
<b>Mittelmeer</b>							
1.	43° 15,23 N 06° 56,36 O	Holzbox	42			42	
2.	41° 02,00 N 03° 38,80 O	Holzbox	55			55	
3.	40° 30,70 N 02° 56,48 O	Plastikflasche	13	2	7	4	
4.	40° 19,70 N 02° 42,71 O	Plastikdeckel	1	1			
5.	40° 14,29 N 02° 37,83 O	Plastikkanister	27			27	
6.	40° 02,50 N 02° 22,74 O	Plastiktüte	2		1	1	
7.	37° 44,00 N 00° 15,97 O	a) Boje mit Garnelennetze	10		1	9	
		b) Fischernetz (ca. 3 m <sup>2</sup> )	1			1	
8.	37° 39,25 N 00° 21,31 W	Holzbox	10			10	
9.	37° 26,97 N 00° 41,66 W	Holzplatte	12		1	11	
10.	37° 23,11 N 00° 47,70 W	a) Plastikflasche	3	1		2	
		b) Tetrapak	16	5	9	2	
11.	36° 14,64 N 04° 10,49 W	a) Holzplatte	2		2		
		b) Makroalge	8		1	7	
12.	36° 14,36 N 04° 11,65 W	Ast	3			3	
<b>Atlantik</b>							
13.	37° 19,98 N 09° 13,71 W	a) Holzbrett	0				3 <i>I. baltica</i>
		b) Makroalgen	0				4 <i>I. baltica</i>
14.	41° 45,78 N 09° 44,17 W	Makroalgen	0				2 <i>I. baltica</i> 1 <i>I. emarginata</i>
15.	44° 37,64 N 08° 34,13 W	a) Boje	1			1	2 <i>I. baltica</i>
		b) 2 Bojen	2			2	div. <i>I. baltica</i>
16.	44° 42,00 N 08° 31,00 W	Schulp von <i>Sepia sp.</i>	1			1	
17.	44° 51,07 N 08° 23,50 W	Boje	3			3	1 <i>I. baltica</i>
18.	45° 07,22 N 08° 08,55 W	Plastikeimer	1			1	
19.	45° 19,56 N 07° 58,54 W	Fischernetz (ca. 10 m <sup>2</sup> )	1			1	
20.	47° 53,89 N 05° 48,32 W	Makrolagen (ca. 100 kg)	0				250 <i>I. baltica</i> 80 <i>I. emarginata</i> 13 <i>I. neglecta</i>
21.	50° 06,56 N 00° 59,92 W	Boje mit Fischernetz	0				50 <i>I. baltica</i> 1 <i>I. emarginata</i>

Mittelmeer war *I. metallica* die einzige *Idotea*-Art auf treibenden Substraten. Die Art wurde sowohl auf beständigen Substraten als auch auf Makroalgen gefunden. Die durchschnittliche Dichte der Tiere betrug  $13,7 \pm 16,0$  pro Objekt (min.: 1; max.: 55). Alle Entwicklungsstadien (adulte Männchen, adulte Weibchen und Juvenile) waren in den Proben enthalten.

Vor der europäischen Atlantikküste war *I. baltica* die dominierende Art auf Treibgut. Große Ansammlungen von Makroalgen von über 100 kg Gewicht enthielten zum Teil mehrere hundert *I. baltica*. *Idotea metallica* trat hier nur in sehr geringer Zahl auf. Dabei handelte es sich ausschließlich um juvenile Tiere.

### 3.2 Experimenteller Teil (Material und Methoden 2.3, S. 14)

#### 3.2.1 Der Einfluss von Umweltparametern auf die Populationsdynamik (Material und Methoden 2.3.1, S. 14)

##### 3.2.1.1 Nahrungsqualität (Material und Methoden 2.3.1.1, S. 15)

Die Versuchsbedingungen, in denen den Tieren Mischfutter angeboten wurde, wurden für die Besprechung der Ergebnisse als Kontrolle definiert, da die Tiere, unabhängig davon, ob sie karnivor oder herbivor sind, in der Mischfutterbehandlung stets optimalen Futterbedingungen ausgesetzt waren. In den anderen Behandlungen hingegen wurde ihnen jeweils eine Nahrungskomponente entzogen.

Um der altersspezifischen Mortalität Standardabweichungen zuordnen zu können, wurde hier ebenfalls die unter 2.3.1 beschriebene Einteilung der Laborpopulation in drei Untergruppen vorgenommen.

#### *Idotea metallica*

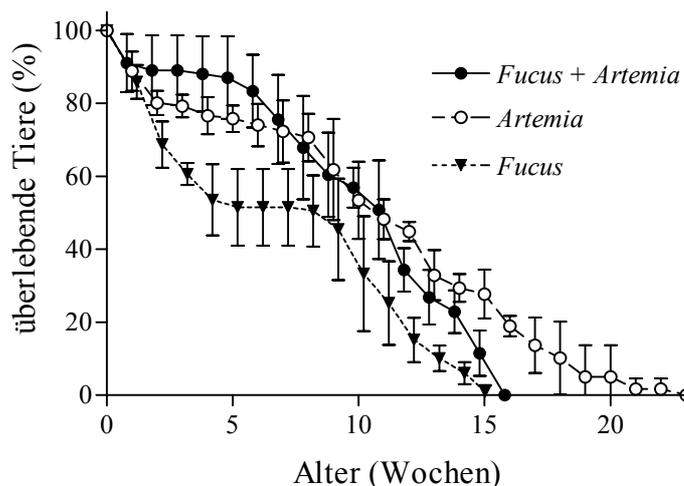
*Mortalität* - In Abwesenheit tierischer Nahrung wurden weibliche *I. metallica* nicht geschlechtsreif. Da somit hier eine Unterscheidung der Geschlechter nicht möglich war, werden Männchen und Weibchen zur Beschreibung der Mortalität bei herbivorer Ernährung zusammengefasst.

Charakteristisch für weibliche *I. metallica* war eine anfänglich erhöhte Mortalität, bevor die Juvenilen eine stabile Phase erreichten, in der kaum Mortalität zu verzeichnen war (Abb. 7). Unter Mischfutterbedingungen (Kontrolle) war die Juvenilmortalität am geringsten. In der ersten Woche starben ca. 10 % der Tiere, bevor die Anzahl der Tiere

bis zur 6. Woche stabil blieb. Die anschließende Mortalitätsrate betrug ca. 8 % pro Woche.

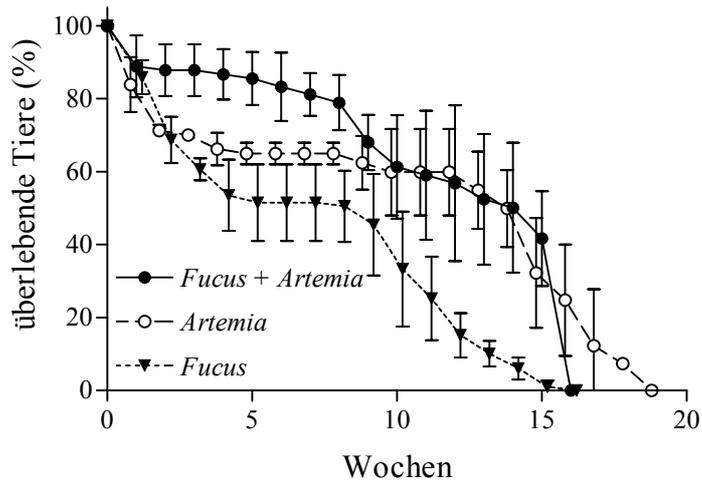
Bei reiner *Artemia*-Ernährung starben in den ersten zwei Wochen ca. 20 % der Jungtiere. Danach war die Zahl der Tiere bis zur 8. Woche konstant, bevor die Adultmortalität mit einer Rate von etwa 6 % pro Woche einsetzte. Somit war die Adultmortalität in Abwesenheit von pflanzlicher Nahrung niedriger als in den Kontrollen.

Bei rein pflanzlicher Ernährung erlitt *I. metallica* die stärkste anfängliche Mortalität. In den ersten vier Wochen sank die Anzahl der Tiere auf ca. 50 % ab, bevor sie bis zur 8. Woche stabil blieb. Die anschließende Mortalität betrug ca. 8 % pro Woche. Die mittlere Lebenserwartung war in den Kontrollen nur geringfügig höher als bei rein karnivorer Ernährung. Bei rein pflanzlicher Ernährung starben die Tiere durchschnittlich früher als in der Kontrolle (Tab. 4).



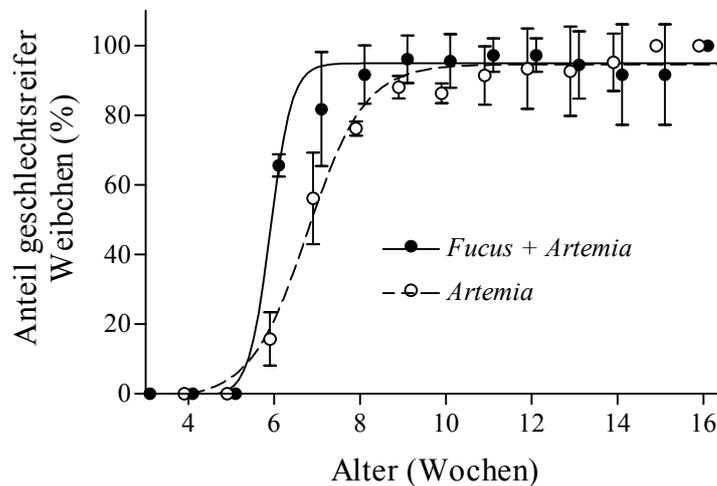
**Abb. 7: Überlebenskurven weiblicher *I. metallica* in Abhängigkeit von der Nahrungsqualität (in der Kurve für rein pflanzliche Ernährung wurden Männchen und Weibchen gepoolt)**

Männliche *I. metallica* zeigten einen ähnlichen Verlauf der Mortalität wie die weiblichen (Abb. 8). Die durchschnittlichen Lebenserwartungen unter dem Einfluss von Mischnahrung ( $9,9 \pm 5,9$  Wochen) und rein tierischer Nahrung ( $8,2 \pm 7,1$  Wochen) unterschieden sich nicht deutlich voneinander ( $P > 0,05$ ). Das Fehlen tierischer Nahrung hingegen verminderte die Lebenserwartung ( $6,7 \pm 5,0$  Wochen) gegenüber den Kontrollen deutlich ( $P < 0,05$ ).



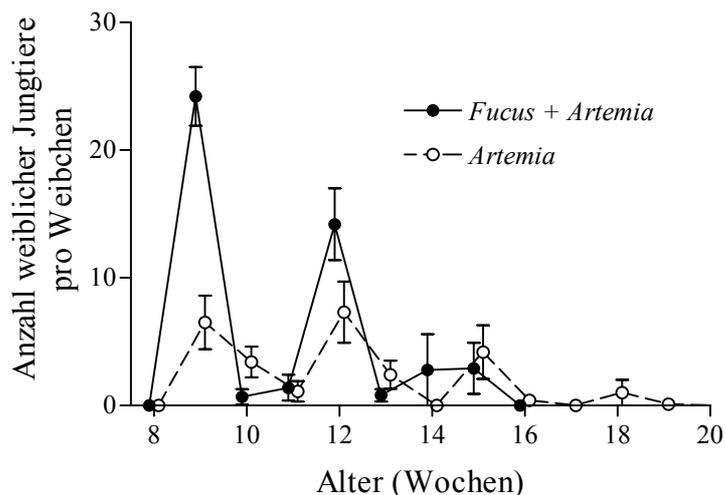
**Abb. 8:** Überlebenskurven männlicher *I. metallica* in Abhängigkeit von der Nahrungsqualität (in der Kurve für rein pflanzliche Ernährung wurden Männchen und Weibchen gepoolt)

*Reproduktion* - Entgegen nur ca. 20 % bei reiner *Artemia*-Fütterung wiesen bei Mischnahrung bereits ca. 60 % der Weibchen in der 6. Woche ein fertiges Marsupium auf (Abb. 9). Diese Beschleunigung der Entwicklung durch zusätzliche pflanzliche Nahrung hatte zur Folge, daß die Tiere in den Kontrollen durchschnittlich fast eine Woche früher geschlechtsreif wurden ( $P < 0,0001$ ) (Tab. 4).



**Abb. 9:** Altersspezifischer Anteil geschlechtsreifer *I. metallica* in Abhängigkeit von der Nahrungsqualität

*I. metallica* durchlief bei ausschließlich karnivorer Ernährung bis zu vier Reproduktionszyklen (Abb. 10). Aufgrund höherer Adultmortalität schafften die Tiere in den Kontrollen nur maximal drei Zyklen. Jedoch produzierten sie aufgrund höherer Fertilität über die gesamte Lebensdauer mehr Jungtiere ( $P = 0,012$ ) (Tab. 4).



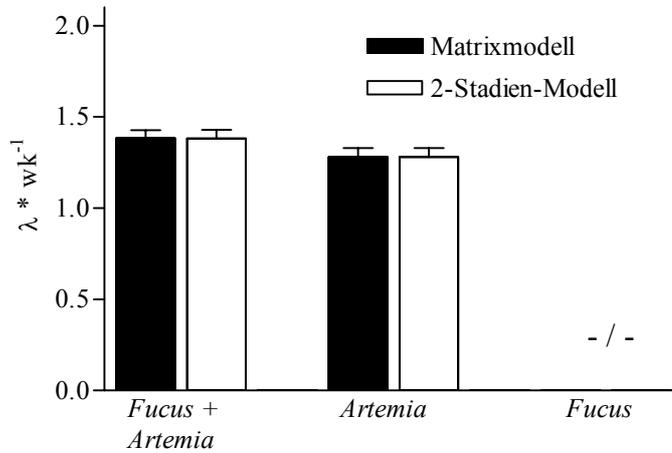
**Abb. 10: Altersspezifische Fertilität von *I. metallica* in Abhängigkeit von der Nahrungsqualität (Fehlerbalken = Standardfehler)**

**Tab. 4: Vitalparameter von *I. metallica* in Abhängigkeit von der Nahrungsqualität (statistisch signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet)**

Nahrung	<i>Fucus + Artemia</i> (Kontrolle)	<i>Artemia</i>	<i>Fucus</i>
Anzahl der Weibchen	60	72	99
Durchschnittliche Lebenserwartung (Wochen)	8,9 ± 4,9 <sup>a</sup>	8,5 ± 6,4 <sup>ab</sup>	6,7 ± 5,0 <sup>b</sup>
Alter bei Erreichen der Geschlechtsreife (Wochen)	6,0 ± 0,5 <sup>a</sup>	6,8 ± 0,9 <sup>b</sup>	- / -
Anzahl weiblicher Nachkommen pro Weibchen	23,8 ± 25,3 <sup>a</sup>	13,4 ± 24,3 <sup>b</sup>	0,0 ± 0,0

*Populationswachstum* - Aufgrund ausbleibender Reproduktion konnte für *I. metallica*, die nur mit *Fucus* gefüttert wurden, keine Populationswachstumsrate ermittelt werden. Unter Mischfutterbedingungen hatte  $\lambda$  für *I. metallica* den höchsten Wert (Abb. 11). Jedoch wurde die Wachstumsrate durch den Entzug pflanzlicher Nahrung nur geringfügig vermindert (Tab. 5). Die anhand der beiden unterschiedlichen Modelle (Matrixmodell und 2-Stadien-Modell) ermittelten Populationswachstumsraten deckten sich innerhalb der Behandlungen sehr gut. Der Unterschied in  $\lambda$  war stets geringer als 0,2 %. Somit ist die gleichzeitige Verwendung beider Verfahren gerechtfertigt. Die mittlere Nettofortpflanzungsrate  $R_0$  war zwar durch den Entzug pflanzlicher Nahrung um 60 % herabgesetzt, allerdings war dieser Effekt aufgrund hoher Streuung statistisch

nicht belegbar. Deutlicher wurde der Effekt fehlender pflanzlicher Nahrung durch eine Erhöhung der Generationsdauer um ca. 0,75 Wochen.



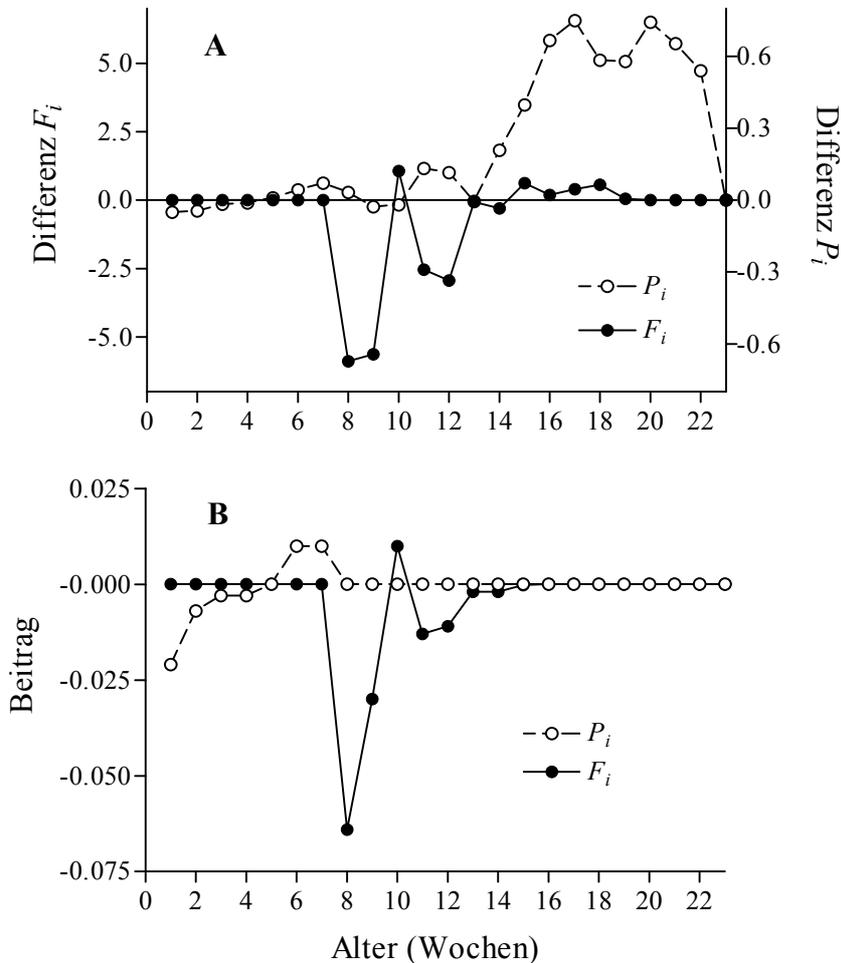
**Abb. 11: Populationswachstumsraten von *I. metallica* in Abhängigkeit von der Nahrungsqualität**

**Tab. 5: Ergebnisse der demographischen Analyse des Einflusses der Nahrungsqualität auf *I. metallica***

Nahrung	<i>Fucus</i> + <i>Artemia</i> (Kontrolle)	<i>Artemia</i>	<i>Fucus</i>	P = Wert (t-Test)
Anzahl der Weibchen (pro Parallelansatz)	60 (20/20/20)	72 (24/24/24)	99 (33/33/33)	
Populationswachstumsrate ( $\lambda * Woche^{-1}$ )				
Matrixmodell	1,383 ± 0,044	1,280 ± 0,049	-/-	P = 0,053
2-Stadien-Modell	1,381 ± 0,047	1,280 ± 0,048	-/-	P = 0,061
Nettoreproduktionsrate ( $R_0$ )	20,786 ± 5,736	12,457 ± 4,257	-/-	P = 0,119
Generationsdauer ( $T$ in Wochen)	9,297 ± 0,209 <sup>a</sup>	10,053 ± 0,252 <sup>b</sup>	-/-	P = 0,016

Die deutlich geringere Fertilität in den Altersklassen 8, 9, 11 und 12 (Abb. 12 A) trug am stärksten zur Verminderung der Populationswachstumsrate bei Fehlen pflanzlicher Nahrung bei (Abb. 12 B). Zusätzlich hatte die geringere Überlebenswahrscheinlichkeit der Jungtiere in den ersten vier Wochen einen wichtigen negativen Einfluss auf  $\lambda$ , obwohl diese Unterschiede nur gering waren. Geringfügig höhere  $P_i$ -Werte im Alter

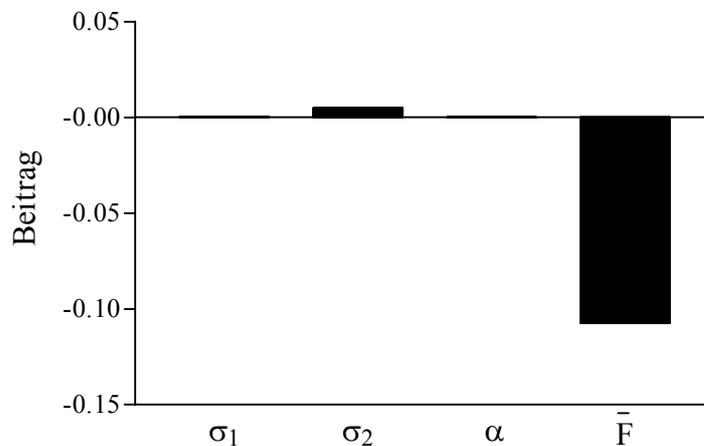
von sechs und sieben Wochen verhinderten ein weiteres Absinken der Populationswachstumsrate gegenüber der Kontrolle. Die deutlich höhere Überlebenswahrscheinlichkeit der alten Tiere (Woche 14-23) hatte keinen Einfluss auf  $\lambda$ . Die Populationswachstumsrate war gegenüber diesen Veränderungen nicht sensibel (Sensibilitäten siehe Anhang S. X, Abb. VIII).



**Abb. 12:** Abweichung der altersspezifischen  $P_i$ - und  $F_i$ -Werte bei rein tierischer Ernährung von den Kontrollwerten (A) und die Beiträge dieser Abweichungen zum Unterschied in  $\lambda$  (B) bei *I. metallica*.  $\lambda$  wird durch negative Beiträge relativ zur Kontrolle vermindert und durch positive erhöht.

Das 2-Stadien-Modell belegt ebenfalls, dass bei fehlender pflanzlicher Nahrung der entscheidende Faktor zur Reduzierung der Populationswachstumsrate die verminderte Reproduktion war (Abb. 13). Der höheren Juvenilmortalität in den ersten vier Lebenswochen kam hier jedoch keine Bedeutung zu. Obwohl *I. metallica* unter Mischfutterbedingungen durchschnittlich früher geschlechtsreif wurde als bei rein tierischer Ernährung, traten unter beiden Behandlungen die ersten Jungtiere in der siebten Woche auf ( $\alpha$  jeweils = 7) (Parameterwerte für das 2-Stadien-Modell siehe Anhang S. XII, Tab.

V). Der Unterschied im Alter bei Erreichen der Geschlechtsreife war somit trotz seiner statistischen Signifikanz zu gering, als dass sein Einfluss auf die Populationswachstumsrate mit diesem Modell erfasst wird.

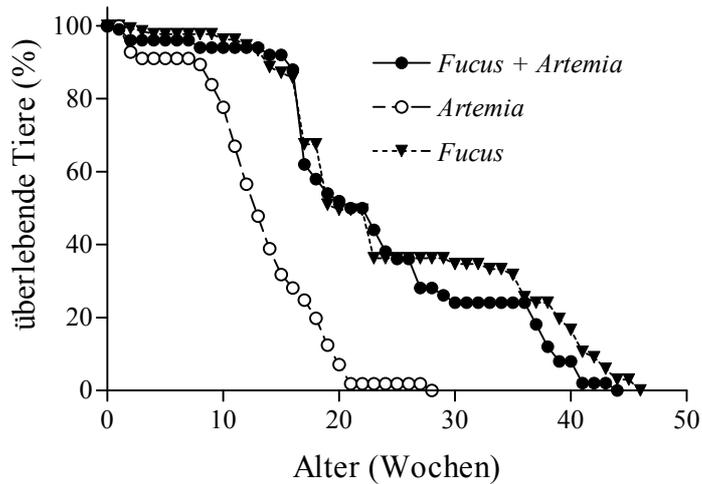


**Abb. 13: Beiträge der Unterschiede in den stadienspezifischen Parametern zum Unterschied in  $\lambda$  bei rein tierischer Nahrung relativ zur Kontrolle.  $\lambda$  wird durch negative Beiträge relativ zur Kontrolle vermindert und durch positive erhöht.**

### *Idotea baltica*

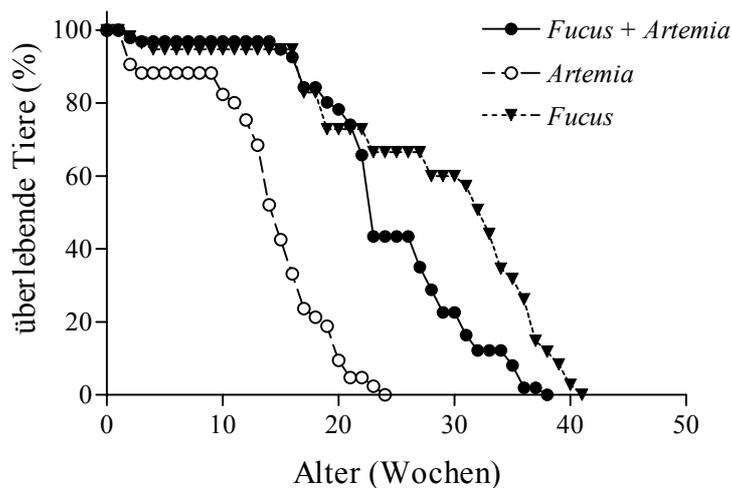
**Mortalität** - Stand weiblichen *I. baltica* pflanzliche Nahrung zur Verfügung, so hatten die juvenilen Tiere eine hohe Überlebenswahrscheinlichkeit (Abb. 14). Ungefähr bis zur 15. Woche starben weniger als 10 % der Tiere. Danach setzte eine Phase stärkerer Mortalität ein, die ungefähr bis zur 25. Lebenswoche anhielt. Für ältere Tiere war die Mortalitätsrate dann wieder geringer. Die Mortalität war durch das zusätzliche Angebot tierischer Nahrung in den Kontrollen nicht deutlich beeinflusst. Folglich unterschieden sich die Lebenserwartungen der Tiere dieser beiden Behandlungen nicht signifikant voneinander (Tab. 6). Das Fehlen pflanzlicher Nahrung verminderte die Lebenserwartungen von *I. baltica* deutlich. Bereits in den ersten zwei Wochen starben ca. 10 % der Tiere. Ab der 8. Woche setzte eine hohe Mortalität ein, die dazu führte, dass die Versuchstiere nur maximal 28 Wochen alt wurden.

## Ergebnisse



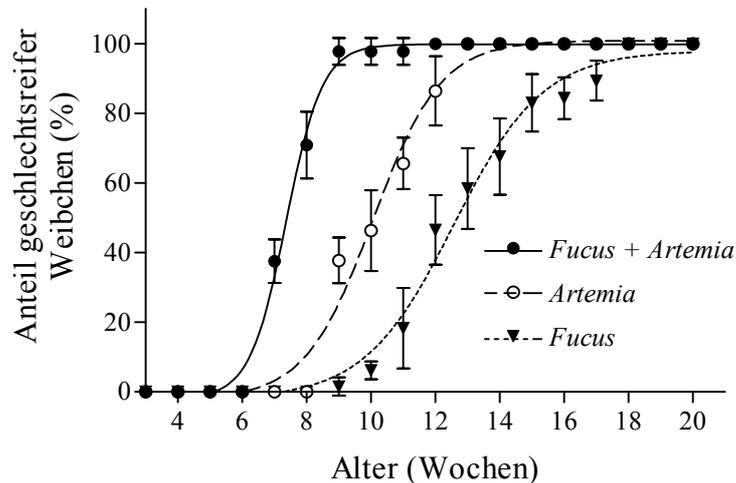
**Abb. 14:** Überlebenskurven weiblicher *I. baltica* in Abhängigkeit von der Nahrungsqualität (Zur besseren Übersichtlichkeit wurde auf die Darstellung von Fehlerbalken verzichtet. Siehe hierfür Anhang S. V, Abb. I)

Männliche *I. baltica* wiesen einen ähnlichen Verlauf der Mortalität auf wie die weiblichen (Abb. 15). Die Adultmortalität setzte etwas später ein und war bei Anwesenheit von *Artemia* in den Kontrollen etwas höher ( $4,7 \pm 0,2$  % pro Woche) als bei rein pflanzlicher Ernährung ( $4,2 \pm 0,5$  % pro Woche). Das verminderte die durchschnittliche Lebenserwartung unter dem Einfluss von Mischnahrung ( $22,2 \pm 9,9$  Wochen gegenüber  $28,1 \pm 8,9$  Wochen bei reiner *Fucus*-Fütterung;  $P < 0,01$ ). Auch hier war die Lebenserwartung bei rein tierischer Ernährung am geringsten ( $28,1 \pm 8,9$  Wochen).



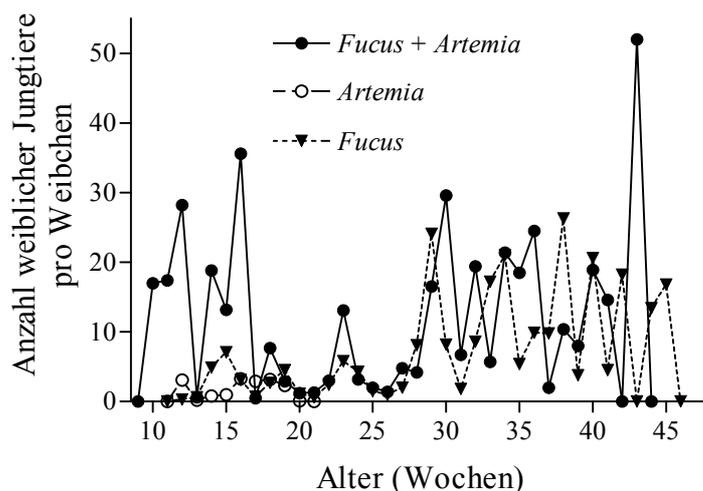
**Abb. 15:** Überlebenskurven männlicher *I. baltica* in Abhängigkeit von der Nahrungsqualität (Für Fehlerbalken siehe Anhang S. V, Abb. I)

*Reproduktion* - Bei Mischfütterernährung wurde *I. baltica* am schnellsten geschlechtsreif (Abb. 16). Die Verzögerung der Geschlechtsreife durch das Fehlen entweder der tierischen oder der pflanzlichen Komponente der Nahrung war statistisch signifikant (Tab. 6). Am stärksten war die Entwicklung bei rein pflanzlicher Ernährung verzögert.



**Abb. 16: Altersspezifischer Anteil geschlechtsreifer *I. baltica* in Abhängigkeit von der Nahrungsqualität**

Die Fertilität von *I. baltica* war durch das Fehlen pflanzlicher Nahrung stark herabgesetzt. Die Tiere produzierten in nur wenigen Reproduktionszyklen eine geringe Anzahl von Jungtieren (Abb. 17). Bei pflanzlicher Ernährung durchlief die Art zahlreiche Reproduktionszyklen und brachte deutlich mehr Jungtiere hervor. Die schnellere Geschlechtsreife bei zusätzlichem Angebot von *Artemia* in den Kontrollen ermöglichte es *I. baltica*, bereits früher eine große Anzahl von Jungtieren zu produzieren. Somit war die Fertilität bei Mischfütterernährung mehr als doppelt so hoch wie bei reiner *Fucus*-Ernährung und über 30 Mal so hoch wie bei reiner *Artemia*-Ernährung (Tab. 6).



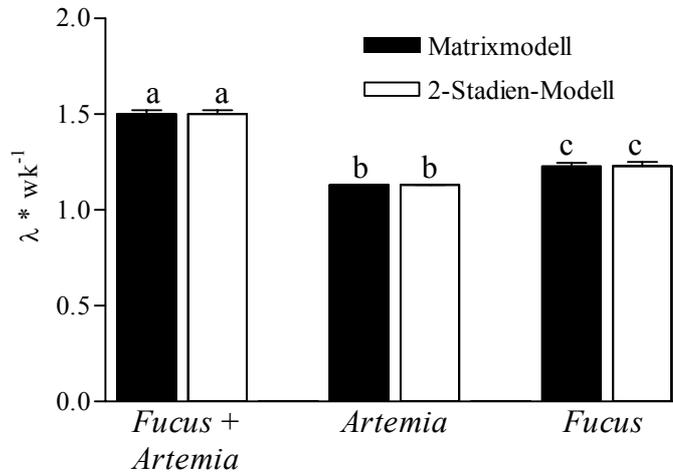
**Abb. 17: Altersspezifische Fertilität von *I. baltica* in Abhängigkeit von der Nahrungsqualität (Für Fehlerbalken siehe Anhang S. V, Abb. II)**

**Tab. 6: Vitalparameter von *I. baltica* in Abhängigkeit von der Nahrungsqualität (statistisch signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet)**

Nahrung	<i>Fucus + Artemia</i> (Kontrolle)	<i>Artemia</i>	<i>Fucus</i>
Anzahl der Weibchen	52	62	68
Durchschnittliche Lebenserwartung (Wochen)	22,8 ± 10,8 <sup>a</sup>	12,2 ± 6,0 <sup>b</sup>	24,7 ± 11,7 <sup>a</sup>
Alter bei Erreichen der Geschlechtsreife (Wochen)	7,6 ± 0,9 <sup>a</sup>	9,6 ± 1,2 <sup>b</sup>	12,2 ± 1,9 <sup>c</sup>
Anzahl weiblicher Nachkommen pro Weibchen	180,7 ± 123,7 <sup>a</sup>	5,7 ± 12,1 <sup>b</sup>	75,7 ± 89,4 <sup>c</sup>

*Populationswachstum* - Auch bei *I. baltica* deckten sich innerhalb der Behandlungen die Populationswachstumsraten, die anhand der beiden unterschiedlichen Populationsmodelle berechnet wurden, mit einem Unterschied von jeweils < 0,2 % sehr gut.  $\lambda$  variierte deutlich mit der Nahrungsqualität (Abb. 18). Die höchste Wachstumsrate war auch für *I. baltica* unter Mischfutterbedingungen zu verzeichnen. Am stärksten war  $\lambda$  durch das Fehlen pflanzlicher Nahrung herabgesetzt. Alle drei Populationswachstumsraten unterschieden sich statistisch signifikant voneinander. Die gleichen Verhältnisse zeigten die Nettoerproduktionsraten. Auch diese waren unter Mischfutterbedingungen am höchsten und bei rein tierischer Ernährung am niedrigsten. Die Generationsdauer

von *I. baltica* war in den Kontrollen am kürzesten, bei rein tierischer Ernährung am höchsten.



**Abb. 18: Populationswachstumsraten von *I. baltica* in Abhängigkeit von der Nahrungsqualität (statistisch signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet)**

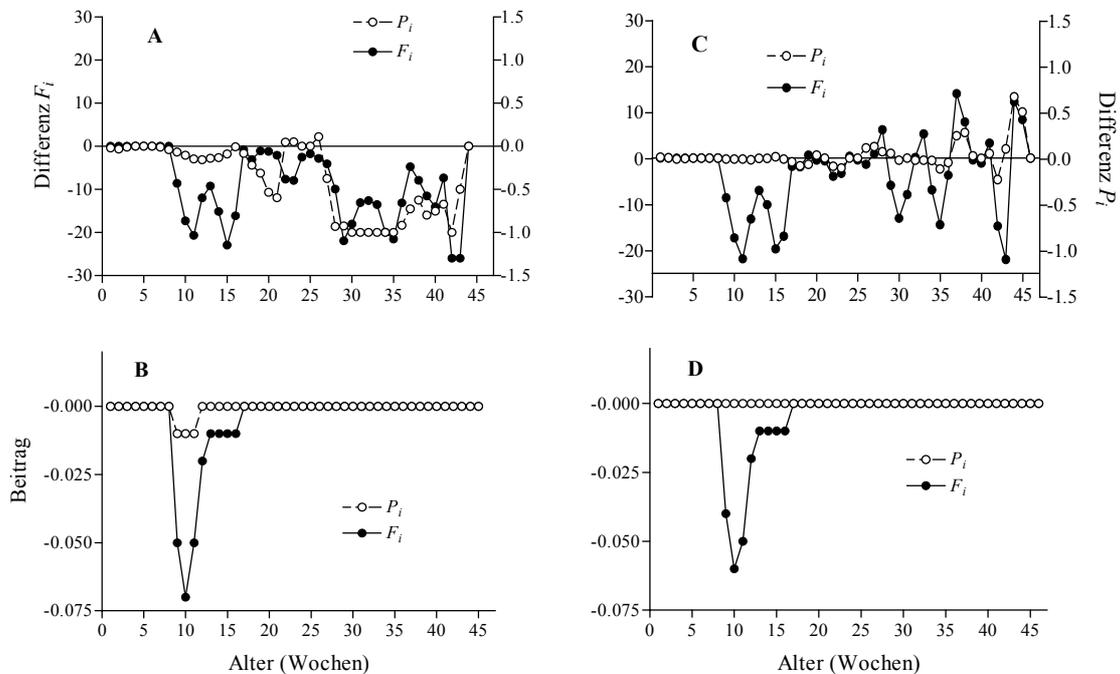
**Tab. 7: Ergebnisse der demographischen Analyse des Einflusses der Nahrungsqualität auf *I. baltica***

Nahrung	<i>Fucus</i> + <i>Artemia</i> (Kontrolle)	<i>Artemia</i>	<i>Fucus</i>	P = Wert (ANOVA)
Anzahl der Weibchen (pro Parallelansatz)	52 (18/17/17)	62 (21/21/20)	68 (23/23/22)	
Populationswachstumsrate (λ * Woche <sup>-1</sup> )				
Matrixmodell	1,500 ± 0,021 <sup>a</sup>	1,131 ± 0,001 <sup>b</sup>	1,227 ± 0,020 <sup>c</sup>	P < 0,0001
2-Stadien-Modell	1,500 ± 0,021 <sup>a</sup>	1,130 ± 0,001 <sup>b</sup>	1,229 ± 0,022 <sup>c</sup>	P < 0,0001
Nettoreproduktionsrate ( <i>R</i> <sub>0</sub> )	182,321 ± 28,132 <sup>a</sup>	5,654 ± 0,615 <sup>b</sup>	79,216 ± 16,695 <sup>c</sup>	P < 0,0001
Generationsdauer ( <i>T</i> in Wochen)	12,818 ± 0,336 <sup>a</sup>	14,078 ± 0,819 <sup>a</sup>	21,433 ± 2,034 <sup>b</sup>	P = 0,0003

Obwohl *I. baltica* bei Fehlen pflanzlicher Nahrung eine deutlich geringere durchschnittliche Lebenserwartung hatte (kein Tier wurde älter als 28 Wochen), führt das längere Überleben der Tiere und die Reproduktion bis ins hohe Alter unter Mischfutterbedingungen nicht zu einem stärkeren Populationswachstum (Abb. 19 B). Entscheidend

für die Verminderung von  $\lambda$  bei rein karnivorer Ernährung ist die geringere Fertilität der Tiere in den Wochen 9-16 und die höhere Mortalität in den Wochen 9-11.

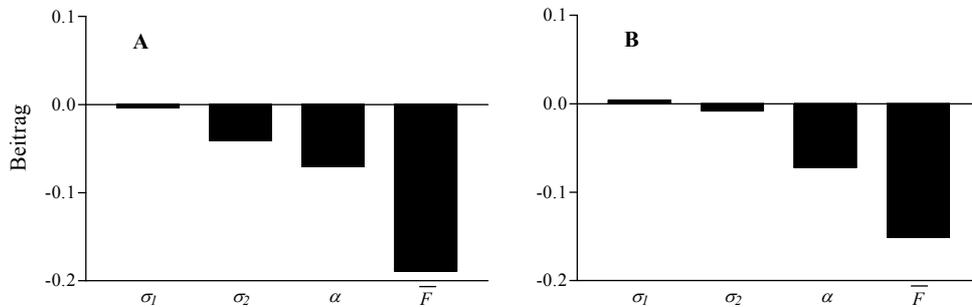
Anders als bei rein tierischer Ernährung hatten bei rein herbivorer Ernährung Unterschiede in den Überlebenswahrscheinlichkeiten, die erst in hohen Altersklassen auftraten (ca. ab Woche 35) (Abb. 19 C), keinen Einfluss auf die Populationswachstumsrate. Die deutlich geringere Fertilität in den Lebenswochen 9-16, hervorgerufen durch die verzögerte Geschlechtsreife ohne tierische Nahrung, war der entscheidende Faktor für die Verminderung von  $\lambda$  bei reiner *Fucus*-Ernährung (Abb. 19 D). Die zum Teil deutlichen Unterschiede in der wöchentlichen Fertilität zwischen Mischnahrung und rein pflanzlicher Nahrung, die bei älteren Tieren auftraten, hoben sich zum Teil gegenseitig auf. Vor allem aber war  $\lambda$  gegenüber diesen Veränderungen nicht sensibel (Sensibilitäten siehe Anhang S. XI, Abb. IX)



**Abb. 19:** Abweichung der altersspezifischen  $P_i$ - und  $F_i$ -Werte bei rein tierischer (A) und rein pflanzlicher (C) Ernährung von den Kontrollwerten und die Beiträge dieser Abweichungen zum Unterschied in  $\lambda$  bei rein tierischer (B) und rein pflanzlicher (D) Ernährung bei *I. baltica*.

Auch das 2-Stadien-Modell zeigt, dass das Populationswachstum vor allem durch die stark verminderte Fertilität in Abwesenheit pflanzlicher Nahrung beeinträchtigt wurde (Abb. 20 A). Auch beeinflusste das spätere Erreichen der Geschlechtsreife das Populationswachstum deutlich negativ. Die geringere Überlebenswahrscheinlichkeit der Juvenilen hatte bei rein tierischer Ernährung den geringsten Einfluss auf  $\lambda$ , da die Unterschiede in der Juvenilmortalität nicht sehr groß waren.

Auch bei rein herbivorer Ernährung war die geringere Fertilität der entscheidende Faktor für die Verminderung von  $\lambda$  (Abb. 20 B). Zusätzlich war jedoch die verzögerte Geschlechtsreife in Abwesenheit von tierischer Nahrung von großer Bedeutung für die Reduzierung des Populationswachstum. Die Bedeutung der Unterschiede in den Überlebenswahrscheinlichkeiten von Juvenilen und Adulten war nur gering.



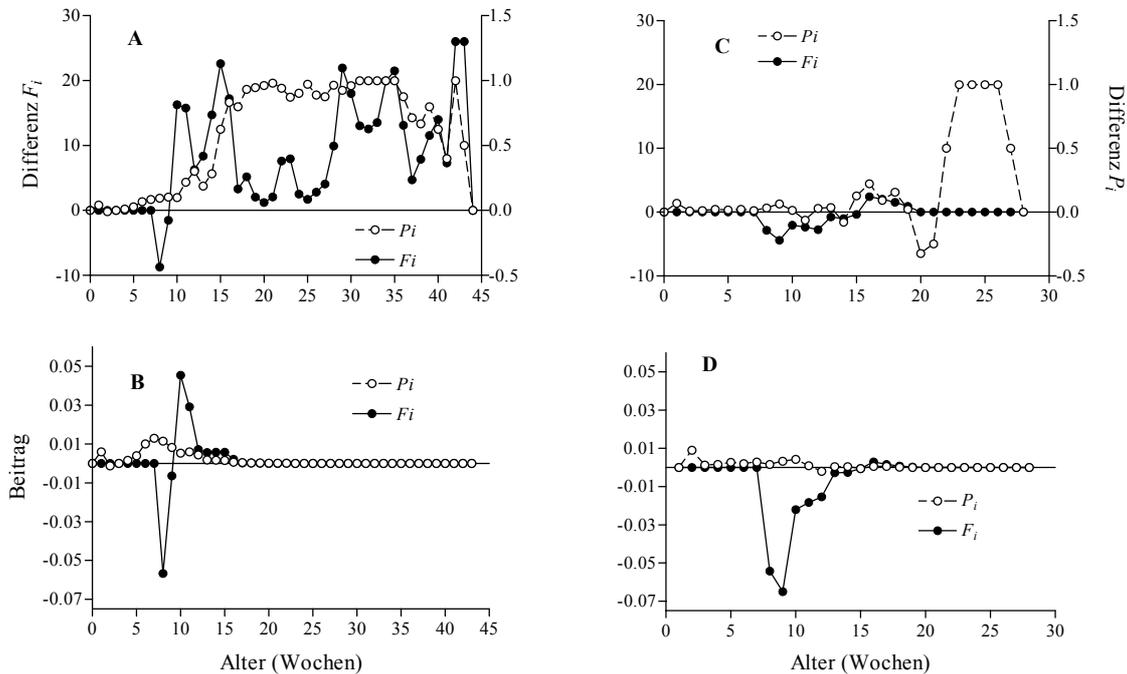
**Abb. 20: Beiträge der Unterschiede in den stadienspezifischen Parametern zum Unterschied in  $\lambda$  bei rein tierischer (A) und rein pflanzlicher (B) Nahrung relativ zur Kontrolle.**

### *Interspezifischer Vergleich*

Der Vergleich der beiden Arten zeigte, dass *I. baltica* unter Mischfutterbedingungen eine deutlich höhere Populationswachstumsrate aufwies als *I. metallica* ( $P = 0,016$ ). Dieses änderte sich jedoch durch den Entzug pflanzlicher Nahrung. Hier war  $\lambda$  für *I. metallica* höher ( $P = 0,006$ ). Da sich *I. metallica* bei rein herbivorer Ernährung nicht reproduzierte, erübrigt sich hier ein Vergleich.  $R_0$  war für *I. baltica* in den Kontrollen höher als für *I. metallica* ( $P = 0,001$ ). Auch dieses verhielt sich bei rein tierischer Ernährung entgegengesetzt, allerdings war dieser Unterschied statistisch nicht signifikant ( $P = 0,052$ ). In den Kontrollen und bei reiner *Artemia*-Fütterung wies *I. metallica* eine kürzere Generationsdauer auf ( $P$  jeweils  $< 0,01$ ).

Für den Unterschied in den Populationswachstumsraten bei Mischnahrung war vor allem die höhere Fertilität von *I. baltica* in den Wochen 10-16 und die geringere Mortalität in den Wochen 5-14 verantwortlich (Abb. 21 B). Die deutlich höhere durchschnittliche Lebenserwartung von *I. baltica* und die damit einhergehende hohe Produktion von Jungtieren (Abb. 21 A) wirkten sich auf  $\lambda$  nicht aus. *Idotea metallica* profitierte vor allem durch die frühere Geschlechtsreife, was zu einer für  $\lambda$  bedeutenden Reproduktion in den Wochen acht und neun führte. Bei rein tierischer Ernährung war die höhere Fertilität von *I. metallica* in den Altersklassen 8-14 (Abb. 21 C) für das schnellere Populationswachstum gegenüber *I. baltica* verantwortlich (Abb. 21 D). Höhere Reproduktionsraten in den Wochen 16-19 trugen für *I. baltica* nur noch

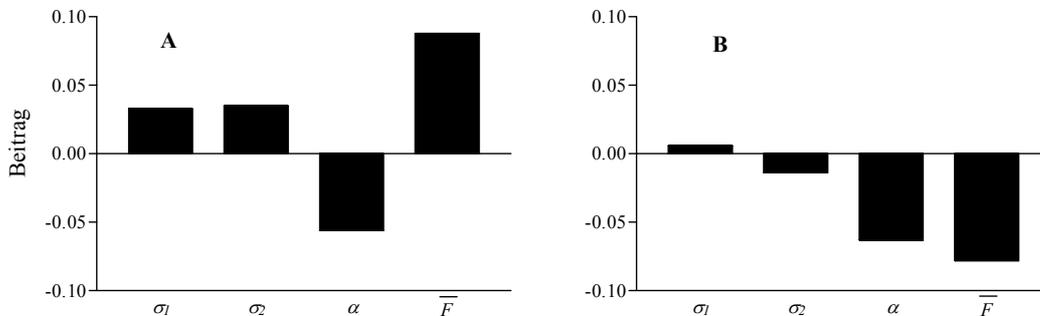
geringfügig zum Anstieg von  $\lambda$  bei. Die altersspezifischen Überlebenswahrscheinlichkeiten hatten keinen entscheidenden Anteil am Unterschied in den Wachstumsraten.



**Abb. 21:** Abweichung der altersspezifischen  $P_i$ - und  $F_i$ -Werte von *I. baltica* bei Mischnahrung (A) und rein tierischer Ernährung (C) relativ zu *I. metallica* und die Beiträge dieser Abweichungen zum Unterschied in  $\lambda$  bei Mischnahrung (B) und rein tierischer (D) Ernährung.

Das 2-Stadien-Modell zeigt auf, dass sowohl unter Mischfutterbedingungen als auch bei rein tierischer Ernährung die frühere Geschlechtsreife von *I. metallica* deutlich zur Erhöhung von  $\lambda$  gegenüber *I. baltica* beiträgt (Abb. 22). Unter Mischfutterbedingungen verminderten eine höhere Mortalität in Juvenil- und Adultstadium sowie eine geringere Produktion von Jungtieren das Populationswachstum von *I. metallica* gegenüber *I. baltica* (Abb. 22 A). Bei rein tierischer Ernährung ist die höhere Reproduktion von *I. metallica* der entscheidende Grund für den Unterschied in  $\lambda$  (Abb. 22 B). Einen leichten Nachteil hat *I. metallica* hier durch eine geringere Überlebenswahrscheinlichkeit der Juvenilen. Trotz einer höheren Lebenserwartung ist das Populationswachstum von *I. baltica* im Vergleich zu *I. metallica* durch die Überlebenswahrscheinlichkeit der adulten Tiere negativ beeinflusst. Auch das ist indirekt auf die frühere Geschlechtsreife von *I. metallica* zurückzuführen.  $\sigma_2$  errechnet sich anhand der gewichteten Mittelwerte der  $P_i$ -Werte der adulten Altersklassen. Diese Gewichtung erfolgt entsprechend der Anteile dieser Altersklassen an der stabilen Altersverteilung. Da *I. metallica* früher geschlechtsreif wurde, fließen mehr jüngere Altersklassen, die eine höhere Überlebenswahrscheinlichkeit aufweisen und einen höheren Anteil der Population ausmachen, mit

in die Berechnung ein. Auf diese Weise war die durchschnittliche Überlebenswahrscheinlichkeit über das gesamte Adultstadium für *I. metallica* höher als für *I. baltica*.



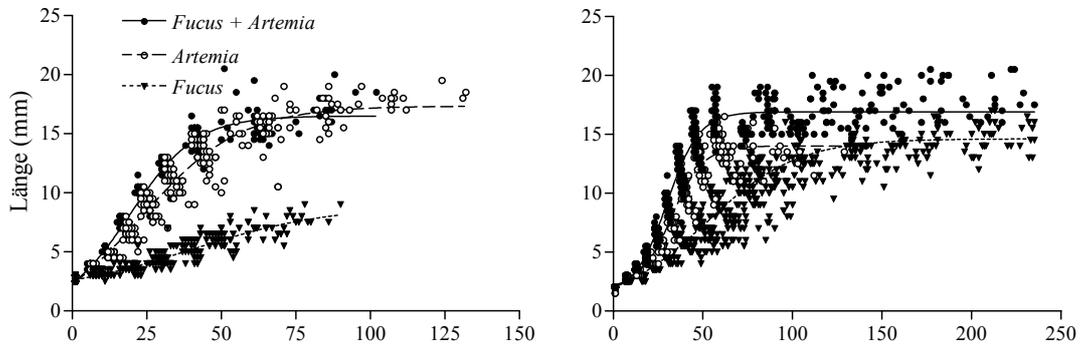
**Abb. 22:** Beiträge der Unterschiede in den stadienspezifischen Parametern bei *I. baltica* zum Unterschied in  $\lambda$  relativ zu *I. metallica* bei Mischnahrung (A) und rein tierischer Nahrung (B)

*Wachstum* - Auch für die Beschreibung des Wachstums wurden männliche und weibliche *I. metallica*, denen rein pflanzliche Nahrung angeboten wurde, zusammengefasst. Durch das Fehlen tierischer Nahrung war die durchschnittliche Maximalgröße von *I. metallica* deutlich herabgesetzt (Abb. 23). Weibchen wurden bei einem Angebot von tierischer Nahrung zweimal, Männchen ungefähr dreimal so groß wie bei rein pflanzlicher Ernährung. Das Fehlen pflanzlicher Nahrung verminderte die Maximalgröße der Männchen nicht entscheidend (Tab. 8). Bei Mischfutterernährung wuchsen männliche *I. metallica* am schnellsten. Die halbmaximale Größe wurde früher erreicht als bei Fehlen einer der Nahrungskomponenten. Die Männchen erreichten bei rein tierischer Ernährung die halbmaximale Größe nicht deutlich schneller als bei rein pflanzlicher Ernährung. Da die Tiere aber größer wurden, erfolgte das durchschnittliche Wachstum dennoch schneller.

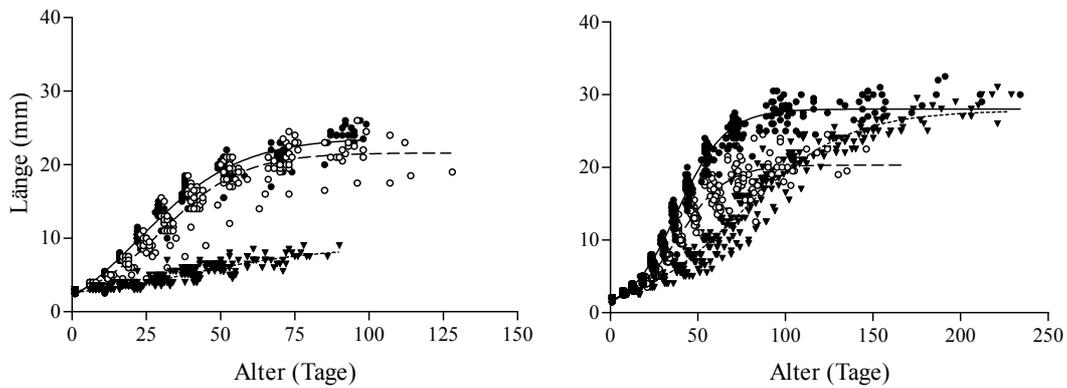
Weibchen erreichten die halbmaximale Größe etwas früher als die Männchen. Die Maximalgröße der Tiere wurde durch das Fehlen pflanzlicher Nahrung nicht herabgesetzt, jedoch wuchsen die Tiere bei rein tierischer Ernährung langsamer als in den Kontrollen. Bei rein pflanzlicher Ernährung waren die Weibchen nicht nur am kleinsten, sondern sie erreichten die halbmaximale Größe auch deutlich später.

*I. metallica**I. baltica*

## Weibchen



## Männchen



**Abb. 23: Wachstum weiblicher (oben) und männlicher (unten) *I. metallica* (links) und *I. baltica* (rechts) in Abhängigkeit von der Nahrungsqualität (männliche und weibliche *I. metallica* bei rein pflanzlicher Ernährung gepoolt)**

Bei weiblichen *I. baltica* hatte die Nahrungsqualität keinen Einfluss auf die Maximalgröße der Tiere (Abb. 23). Die halbmaximale Größe wurde in Abwesenheit tierischer Nahrung sowohl von den Weibchen als auch von den Männchen später erreicht als bei *I. metallica*. Die maximale Größe der Männchen war bei Fehlen pflanzlicher Nahrung deutlich herabgesetzt. Bei reiner *Fucus*-Ernährung wurden die Männchen etwas größer als in den Kontrollen, jedoch war dieser Effekt statistisch nicht signifikant. Die Werte für die Maximalgröße streuten bei rein pflanzlicher Ernährung sowohl bei männlichen als auch bei weiblichen *I. baltica* relativ stark (Tab. 8).

**Tab. 8: Ergebnisse der Regressionsanalyse zum Einfluss der Nahrungsqualität auf das Wachstum von *I. metallica* und *I. baltica* (statistisch signifikante Unterschiede innerhalb eines Geschlechts einer Art sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet)**

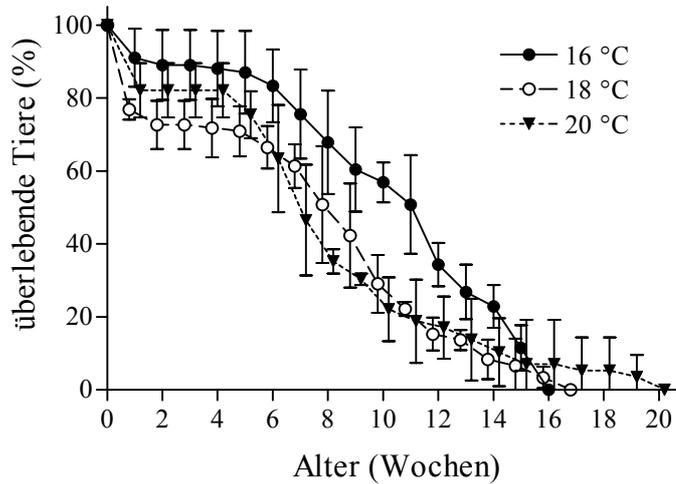
	$L_{max}$ (mm)	$V_{50}$ (Tage)	Korrelationskoeffizient $R^2$
<i>I. metallica</i>			
Weibchen			
<i>Fucus + Artemia</i>	16,0 ± 1,7 <sup>a</sup>	19,5 ± 3,3 <sup>a</sup>	0,966
<i>Artemia</i>	17,3 ± 3,1 <sup>a</sup>	25,4 ± 6,2 <sup>b</sup>	0,947
<i>Fucus</i> (♂♂ + ♀♀)	8,8 ± 4,8 <sup>b</sup>	34,7 ± 9,0 <sup>c</sup>	0,885
Männchen			
<i>Fucus + Artemia</i>	22,4 ± 3,4 <sup>a</sup>	22,7 ± 4,5 <sup>a</sup>	0,975
<i>Artemia</i>	22,2 ± 2,0 <sup>a</sup>	31,2 ± 5,1 <sup>b</sup>	0,943
<i>Fucus</i> (♂♂ + ♀♀)	8,8 ± 4,8 <sup>b</sup>	34,7 ± 9,0 <sup>b</sup>	0,885
<i>I. baltica</i>			
Weibchen			
<i>Fucus + Artemia</i>	16,9 ± 1,4	29,7 ± 2,3 <sup>a</sup>	0,961
<i>Artemia</i>	14,8 ± 1,7	33,9 ± 3,9 <sup>a</sup>	0,944
<i>Fucus</i>	15,7 ± 9,0	55,5 ± 23,2 <sup>b</sup>	0,403
Männchen			
<i>Fucus + Artemia</i>	27,8 ± 1,5 <sup>a</sup>	38,3 ± 2,5 <sup>a</sup>	0,984
<i>Artemia</i>	20,1 ± 2,7 <sup>b</sup>	39,4 ± 3,3 <sup>a</sup>	0,954
<i>Fucus</i>	30,2 ± 13,7 <sup>a</sup>	77,0 ± 22,1 <sup>b</sup>	0,961

### 3.2.1.2 Temperatur (Material und Methoden 2.3.1.2, S. 16)

#### *Idotea metallica*

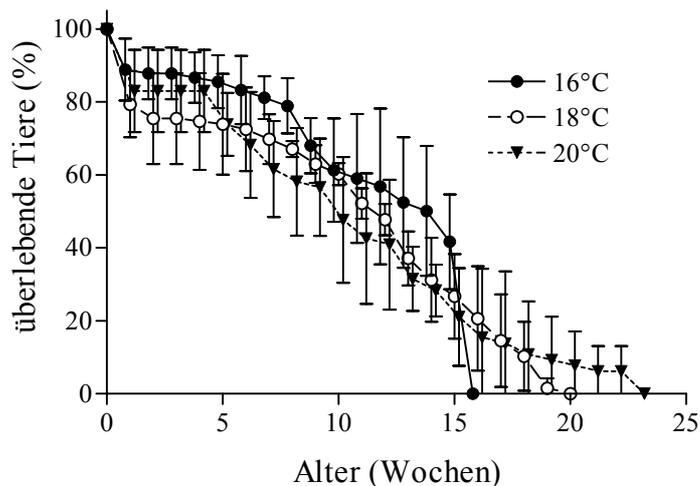
**Mortalität** – Der Verlauf der Mortalität von *I. metallica* bei 16°C ist bereits im Abschnitt 3.2.1.1 beschrieben worden. Bei 18°C war die anfängliche Juvenilmortalität weiblicher *I. metallica* am höchsten (Abb. 24). In den ersten zwei Wochen starben fast 30 % der Tiere, bevor die Anzahl bis zur fünften Woche stabil blieb. Danach starben die Tiere mit einer Rate von ungefähr 6,5 % pro Woche. Damit war die Adultmortalität bei 18°C geringer als bei 16°C. Dennoch war die durchschnittliche Lebenserwartung bei 18°C deutlich niedriger als bei 16°C (Tab. 9).

Die Juvenilmortalität war bei 20°C geringer als bei 18°C, aber höher als bei 16°C. In der ersten Woche starben ca. 20 % der Tiere. Danach blieb die Anzahl der Tiere bis zur vierten Woche konstant. Die anschließende Mortalität betrug ca. 7,5 % pro Woche und war somit geringer als bei 16 und 18°C. Die durchschnittliche Lebenserwartung war bei 20°C die gleiche wie bei 18°C und somit deutlich niedriger als bei 16°C.



**Abb. 24:** Überlebenskurven weiblicher *I. metallica* in Abhängigkeit von der Temperatur

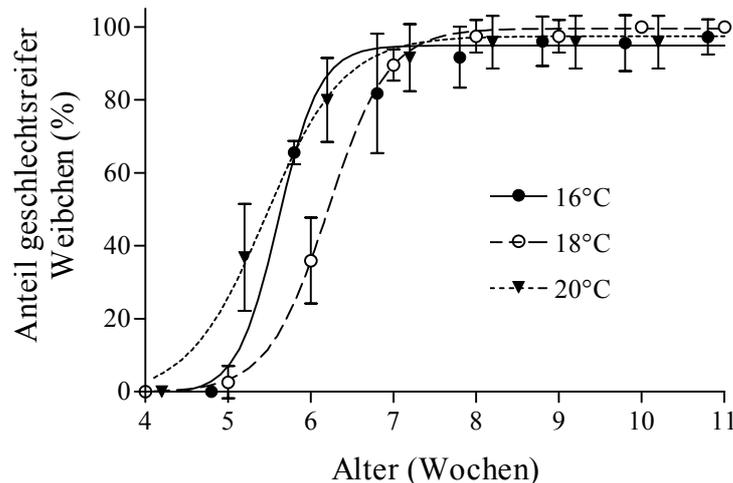
Der Verlauf der Mortalität männlicher *I. metallica* entsprach weitgehend dem der Weibchen (Abb. 25). Die höchste Lebenserwartung hatten die Tiere bei 16°C ( $9,9 \pm 5,9$  Wochen). Diese unterschied sich allerdings statistisch nicht signifikant von der Lebenserwartung bei 18°C ( $8,2 \pm 6,8$  Wochen) und 20°C ( $8,6 \pm 6,7$  Wochen) ( $P = 0,346$ ).



**Abb. 25:** Überlebenskurven männlicher *I. metallica* in Abhängigkeit von der Temperatur

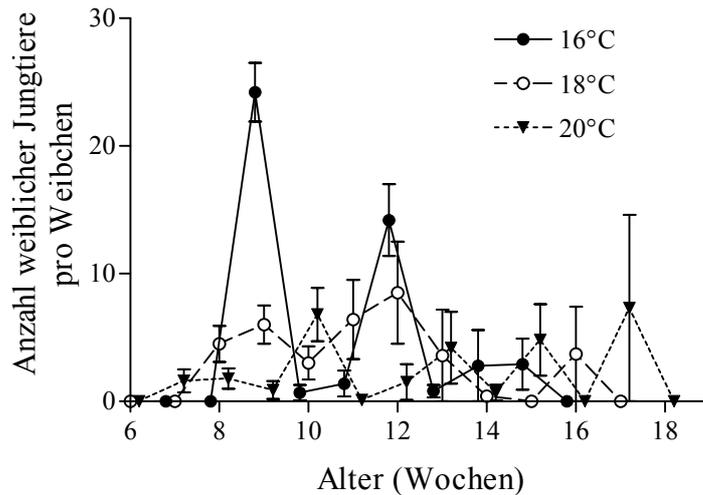
*Reproduktion* – Während bei 16°C die ersten Weibchen von *I. metallica* erst in der sechsten Woche geschlechtsreif wurden, bildeten bei 18 und 20°C einzelne Tiere bereits

in der fünften Woche ein vollständiges Marsupium aus (Abb. 26). Bei 18°C betrug der Anteil geschlechtsreifer Weibchen an der Gesamtheit der Weibchen in der fünften Woche nur 2-3 %. Bei 20°C hingegen waren es bereits ca. 35 %. Ab der achten Woche waren bei allen drei Versuchstemperaturen nahezu alle Tiere geschlechtsreif.



**Abb. 26: Altersspezifischer Anteil geschlechtsreifer Weibchen von *I. metallica* in Abhängigkeit von der Temperatur**

Bei 16°C produzierte *I. metallica* mehr Jungtiere als bei 18 und 20°C, was jedoch aufgrund sehr hoher Standardabweichungen nur gegenüber 20°C statistisch belegt werden konnte (Tab. 9). Diese hohe Streuung ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass sich bei allen Versuchstemperaturen einige Weibchen nicht reproduzierten. Bei 18°C konnten wie bei 16°C drei Reproduktionszyklen identifiziert werden (Abb. 27). Die ersten Jungtiere traten in der achten und damit eine Woche früher als bei 16°C auf. Die Anzahl an Nachkommen pro Zyklus war bei 18°C fast stets niedriger als bei 16°C. Bei 20°C traten die ersten Jungtiere in der siebten Woche auf. Es wurden bis zu fünf Reproduktionszyklen durchlaufen. Die Anzahl der Jungtiere pro Reproduktionszyklus war stets gering.



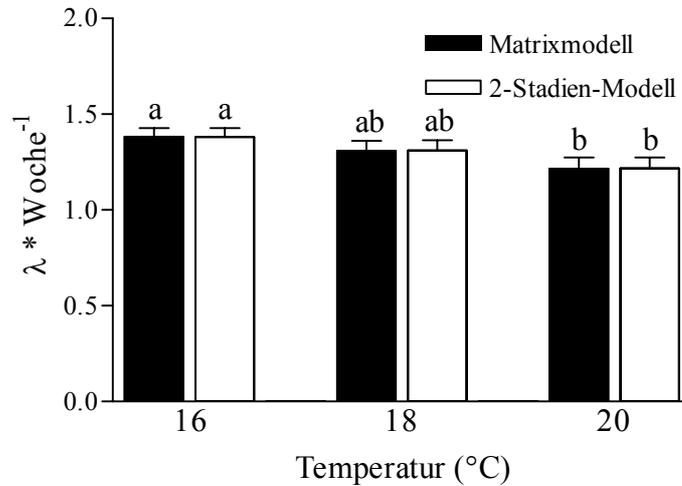
**Abb. 27: Altersspezifische Fertilität von *I. metallica* in Abhängigkeit von der Temperatur (Fehlerbalken = Standardfehler)**

**Tab. 9: Vitalparameter von *I. metallica* in Abhängigkeit von der Temperatur (statistisch signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet)**

Nahrung	16°C	18°C	20°C
Anzahl der Weibchen	60	77	71
Durchschnittliche Lebenserwartung (Wochen)	8,9 ± 4,9 <sup>a</sup>	6,0 ± 5,0 <sup>b</sup>	6,6 ± 5,0 <sup>b</sup>
Alter bei Erreichen der Geschlechtsreife (Wochen)	6,0 ± 0,5 <sup>a</sup>	6,2 ± 0,9 <sup>a</sup>	5,1 ± 0,5 <sup>b</sup>
Anzahl weiblicher Nachkommen pro Weibchen	23,8 ± 25,3 <sup>a</sup>	11,3 ± 18,2 <sup>ab</sup>	6,5 ± 13,9 <sup>b</sup>

Wie bereits bei den Untersuchungen zur Nahrungsqualität deckten sich auch hier die Werte für die Populationswachstumsraten, die mit den beiden unterschiedlichen Modellen berechnet wurden, sehr gut. In dem untersuchten Temperaturbereich sank die Populationswachstumsrate bei *I. metallica* mit steigender Temperatur (Abb. 28). Statistisch signifikant waren die Unterschiede in  $\lambda$  jedoch nur zwischen 16 und 20°C. Die Nettofortpflanzungsrate war für *I. metallica* ebenfalls bei 16°C am höchsten (Tab. 10). Auch  $R_0$  sank mit steigender Temperatur, so dass deutliche Unterschiede in diesem Parameter zwischen 16 und 20°C auftraten. Obwohl *I. metallica* bei 20°C früher geschlechtsreif wurde, wiesen die Tiere bei dieser Temperatur aufgrund der geringen Reproduktion in den jungen Altersklassen die längste Generationsdauer (definiert nach

Caswell 2001, siehe Material und Methoden) auf. Allerdings waren diese Unterschiede nur geringfügig.



**Abb. 28: Populationswachstumsraten von *I. metallica* in Abhängigkeit von der Temperatur (statistisch signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet)**

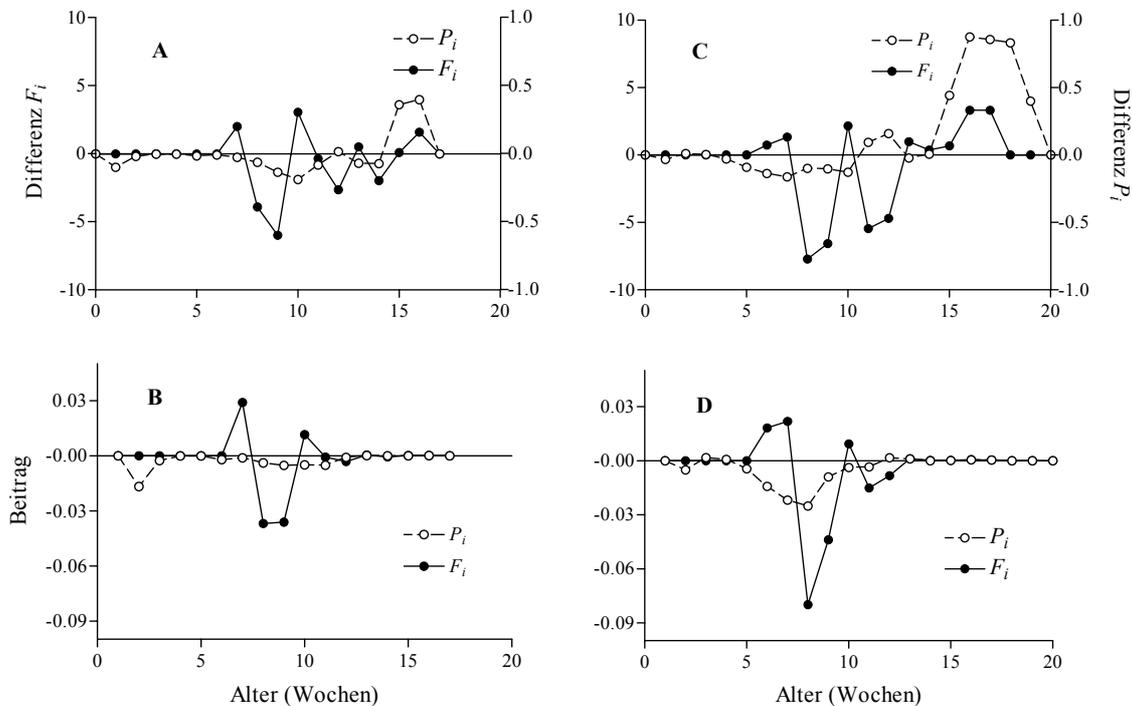
**Tab. 10: Ergebnisse der demographischen Analyse des Einflusses der Temperatur auf *I. metallica* (statistisch signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet)**

Temperatur	16°C	18°C	20°C	P = Wert (ANOVA)
Anzahl der Weibchen (pro Parallelansatz)	60 (20/20/20)	77 (26/26/25)	71 (24/24/23)	
Populationswachstumsrate (λ * Woche <sup>-1</sup> )				
Matrixmodell	1,383 ± 0,044 <sup>a</sup>	1,308 ± 0,053 <sup>ab</sup>	1,215 ± 0,058 <sup>b</sup>	P = 0,021
2-Stadien-Modell	1,381 ± 0,047 <sup>a</sup>	1,311 ± 0,053 <sup>ab</sup>	1,217 ± 0,057 <sup>b</sup>	P = 0,024
Nettoreproduktionsrate (R <sub>0</sub> )	20,786 ± 5,736 <sup>a</sup>	11,487 ± 3,412 <sup>ab</sup>	6,252 ± 1,559 <sup>b</sup>	P = 0,011
Generationsdauer (T in Wochen)	9,297 ± 0,209	9,012 ± 0,547	9,482 ± 1,225	P = 0,770

Um die Beiträge der temperaturbedingten Unterschiede in  $P_i$  und  $F_i$  zu den Unterschieden in  $\lambda$  zu ermitteln, wurde die Versuchstemperatur 16°C als Kontrollbehandlung definiert.

Die geringere Reproduktion in den Altersklassen 8 und 9 trug am stärksten zur Verminderung der Populationswachstumsrate bei 18°C bei (Abb. 29 B). Zusätzlich hatte die höhere Mortalität in der zweiten Lebenswoche einen negativen Einfluss auf  $\lambda$ . Positiv gegenüber 16°C wirkte sich die höhere Reproduktion in den Wochen 7 und 10 auf das Populationswachstum aus.

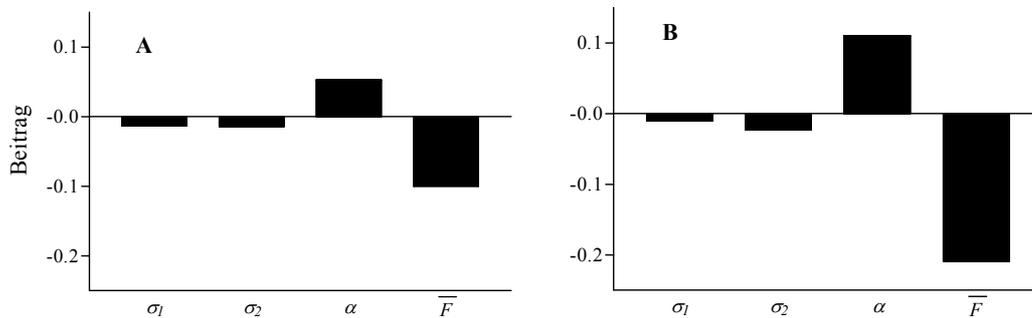
Auch bei 20°C war die geringere Reproduktion in den Wochen 8 und 9 der bedeutendste Faktor, der  $\lambda$  gegenüber 16°C verminderte (Abb. 29 D). Zusätzlich hatte jedoch auch die höhere Mortalität in den Wochen 5 bis 11 einen deutlichen negativen Einfluss auf das Populationswachstum. Positiv wirkte sich bei 20°C die frühe Reproduktion in den Wochen 6 und 7 auf  $\lambda$  aus. Die höhere Überlebenswahrscheinlichkeit und die Reproduktion im hohen Alter (Wochen 15-20) hatten keinen Einfluss auf den Unterschied im Populationswachstum.



**Abb. 29:** Abweichung der altersspezifischen  $P_i$ - und  $F_i$ -Werte bei *I. metallica* bei 18 (A) und 20°C (C) relativ zu 16°C und die Beiträge dieser Abweichungen zu den Unterschieden in  $\lambda$  bei 18 (B) und 20°C (D)

Das 2-Stadien-Modell zeigt auf, dass die frühere Geschlechtsreife der einzige Faktor war, der sich bei Erhöhung der Temperatur positiv auf das Populationswachstum auswirkte (Abb. 30). Entscheidend für die Verminderung von  $\lambda$  war die mit zunehmender Temperatur sinkende Fertilität der Tiere. Obwohl die Tiere bei 20°C im hohen Alter eine höhere Überlebenswahrscheinlichkeit hatten als bei 16°C, wirkte sich die Überlebenswahrscheinlichkeit über das gesamte Adultstadium negativ auf das

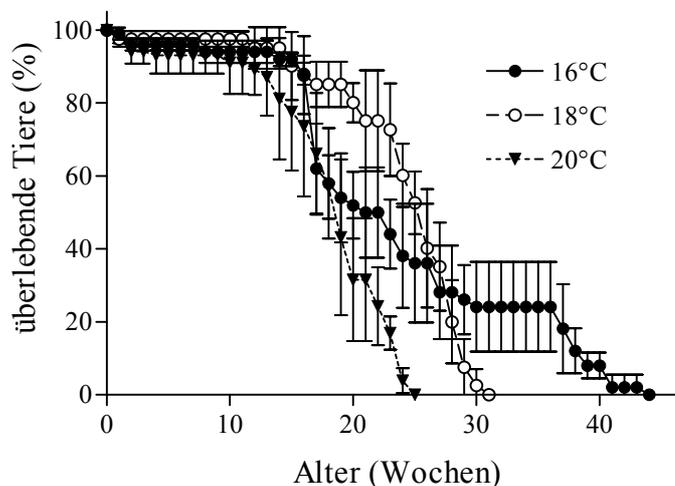
Populationswachstum aus. Das lag an der höheren Mortalität in den frühen Adultstadien, die aufgrund ihres größeren Anteils an der Population stärker in die Berechnung von  $\sigma_2$  einfließen.



**Abb. 30: Beiträge der Unterschiede in den stadienspezifischen Parametern bei 18 (A) und 20°C (B) bei *I. metallica* zum Unterschied in  $\lambda$  bei 16°C**

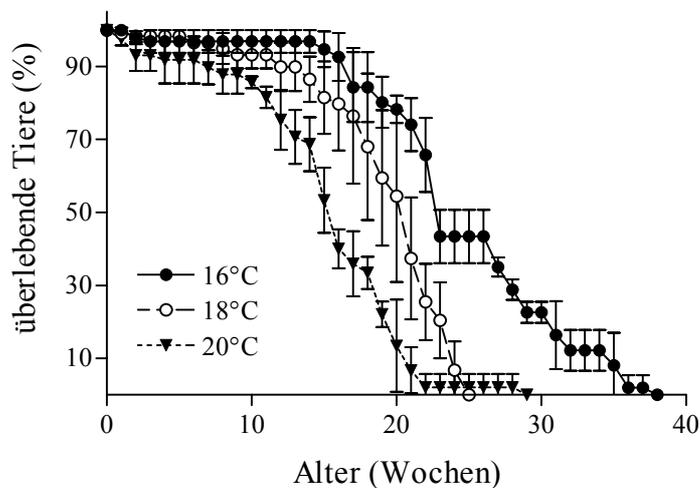
### *Idotea baltica*

**Mortalität** – Die anfängliche Juvenilmortalität von weiblichen *I. baltica* war in dem untersuchten Temperaturbereich kaum beeinflusst. Bei allen Temperaturen starben in der ersten Woche nur ungefähr 5 % der Tiere (Abb. 31). Die Adultmortalität setzte bei 20°C mit der zehnten Woche etwas früher ein als bei 16 bzw. 18°C. Mit einer Rate von ca. 7 % pro Woche starben die Tiere bei 20°C bis zur 25. Woche aus. Die durchschnittliche Lebenserwartung war hier deutlich geringer als bei den anderen Temperaturen (Tab. 11). Bei 18°C war die Adultmortalität anfangs am geringsten. Bei einer wöchentlichen Mortalität von ungefähr 6 % pro Woche, beginnend in der 14. Woche, starb das letzte Tier nach 30 Wochen. Weibliche *I. baltica* hatten bei 18°C die höchste durchschnittliche Lebenserwartung. Bei 16°C war die Lebenserwartung allerdings nur geringfügig niedriger.



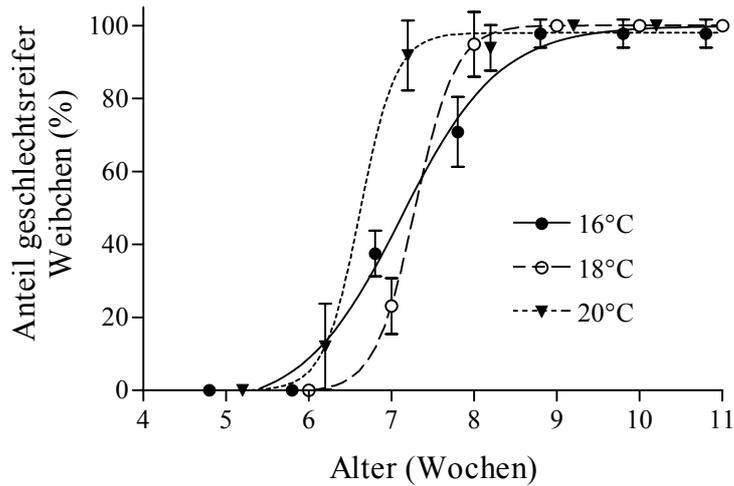
**Abb. 31: Überlebenskurven weiblicher *I. baltica* in Abhängigkeit von der Temperatur**

Die Adultmortalität männlicher *I. baltica* setzte mit steigender Temperatur früher ein (Abb. 32). Während bei 16°C bis zur 15. Woche kaum Verluste zu verzeichnen waren, setzte die Mortalität bei 18°C bereits ab der elften und bei 20°C ab der siebten Woche ein. Auch die Mortalitätsrate war bei 18 und 20°C mit ungefähr 5,5 % pro Woche etwas höher als bei 16°C (ca. 4,5 % pro Woche). Somit war auch die durchschnittliche Lebenserwartung bei 16°C ( $22,2 \pm 9,9$  Wochen) deutlich höher als bei 18 ( $18,6 \pm 5,4$  Wochen) und 20°C ( $13,9 \pm 6,3$  Wochen) ( $P < 0,0001$ ).



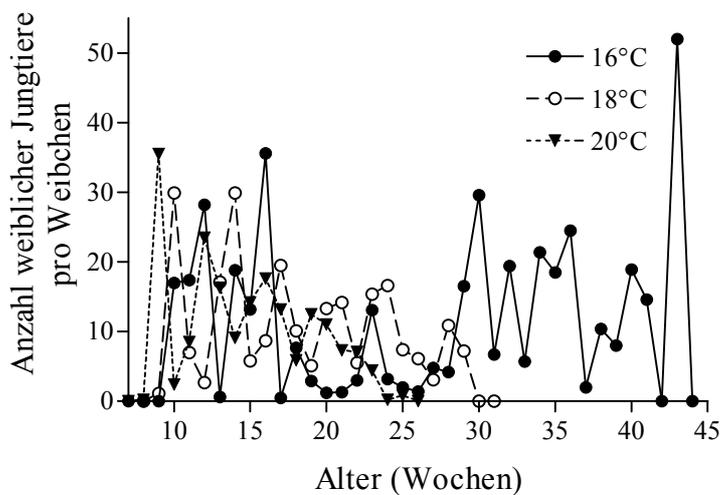
**Abb. 32: Überlebenskurven männlicher *I. baltica* in Abhängigkeit von der Temperatur**

*Reproduktion* - Bei 20°C waren die ersten Weibchen in der sechsten Woche geschlechtsreif. In der siebten Woche wiesen bei dieser Temperatur nahezu alle Weibchen ein vollständig ausgebildetes Marsupium auf (Abb. 33). Die Tiere wurden durchschnittlich früher geschlechtsreif als bei 16 und 18°C. Hier waren die ersten Weibchen in der siebten Woche geschlechtsreif. Bei 18°C hatten mit der achten Woche fast alle Tiere die Geschlechtsreife erreicht. Bei 16°C dauerte die Entwicklung der Weibchen nur geringfügig länger als bei 18°C.



**Abb. 33: Altersspezifischer Anteil geschlechtsreifer Weibchen von *I. baltica* in Abhängigkeit von der Temperatur**

Entsprechend der früheren Geschlechtsreife der Weibchen traten auch die ersten Jungtiere bei höheren Temperaturen früher auf. Bei 20°C schlüpften wenige Jungtiere bereits in der achten Woche (Abb. 34). In der neunten Woche brachten die Weibchen bereits eine große Zahl von Nachkommen hervor. Die Reproduktion endete in der 25. Woche. Die durchschnittliche Fertilität war bei 20°C geringer als bei 16 bzw. 18°C. Der Einfluss der Temperatur auf die Fertilität war statistisch jedoch nicht belegbar, da die Zahl der Jungtiere pro Weibchen sehr stark schwankte. Bei 18°C setzte die Reproduktion eine Woche später ein als bei 20°C und endete in der 30. Woche. Im Vergleich zu 18 und 20°C dauerte die reproduktive Phase bei 16°C deutlich länger.

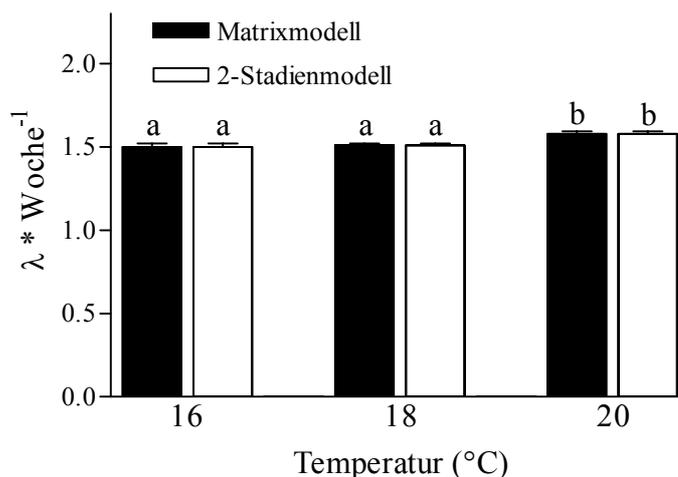


**Abb. 34: Altersspezifische Fertilität von *I. baltica* in Abhängigkeit von der Temperatur**

**Tab. 11: Vitalparameter von *I. baltica* in Abhängigkeit von der Temperatur (statistisch signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet)**

Nahrung	16°C	18°C	20°C
Anzahl der Weibchen	52	41	56
Durchschnittliche Lebenserwartung (Wochen)	22,8 ± 10,8 <sup>a</sup>	23,4 ± 6,9 <sup>a</sup>	16,7 ± 6,8 <sup>b</sup>
Alter bei Erreichen der Geschlechtsreife (Wochen)	7,6 ± 0,9 <sup>a</sup>	7,3 ± 0,4 <sup>a</sup>	6,5 ± 0,6 <sup>b</sup>
Anzahl weiblicher Nachkommen pro Weibchen	179,6 ± 117,2	192,9 ± 106,1	142,5 ± 93,1

Die Populationswachstumsraten, die anhand der beiden Modelle errechnet wurden, waren bei gleicher Temperatur identisch. Eine Erhöhung der Temperatur hatte in dem untersuchten Temperaturbereich bei *I. baltica* eine Erhöhung der Populationswachstumsrate zur Folge (Abb. 35). Die Wachstumsraten bei 16 und 18°C unterschieden sich nur geringfügig voneinander. Bei 20°C war  $\lambda$  deutlich erhöht. Der Einfluss der Temperatur auf die Nettofortpflanzungsrate war statistisch nicht signifikant (Tab. 12).  $R_0$  war bei 18°C am höchsten und bei 20°C am niedrigsten. Die Generationsdauer war bei 18°C nur geringfügig kürzer als bei 16°C. Eine Erhöhung der Temperatur auf 20°C hatte eine deutliche Verkürzung der Generationsdauer zur Folge.



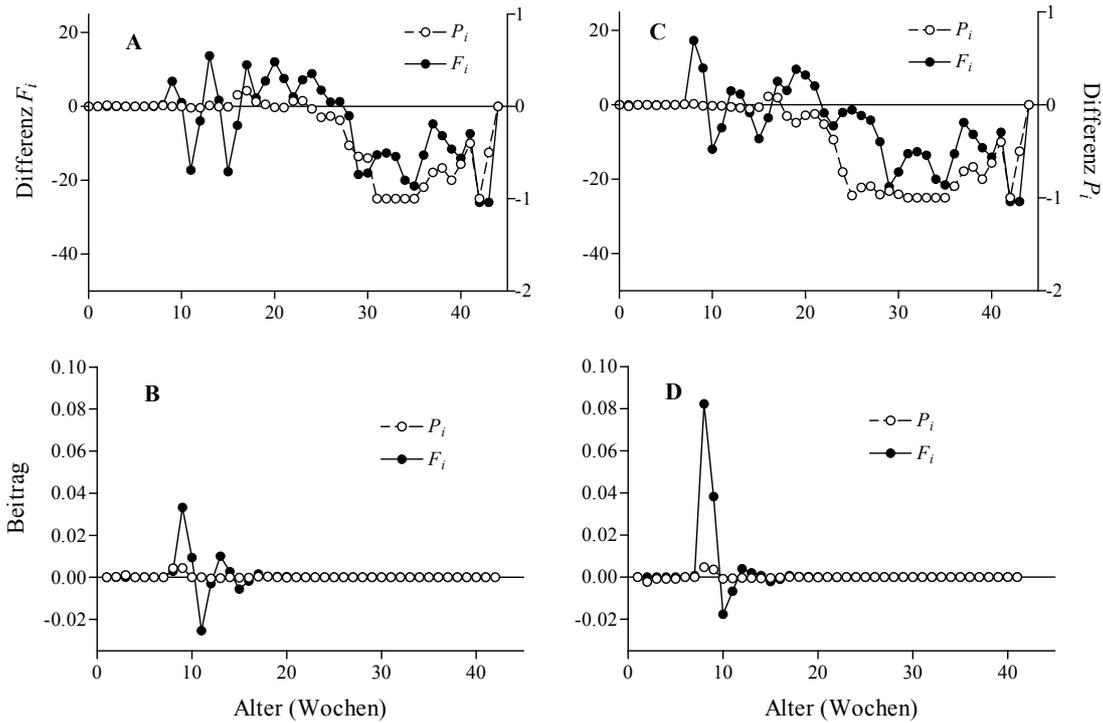
**Abb. 35: Populationswachstumsraten von *I. baltica* in Abhängigkeit von der Temperatur (statistisch signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet)**

**Tab. 12: Ergebnisse der demographischen Analyse des Einflusses der Temperatur auf *I. baltica* (statistisch signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet)**

Temperatur	16°C	18°C	20°C	P = Wert (ANOVA)
Anzahl der Weibchen (pro Parallelansatz)	52 (18/17/17)	41 (14/14/13)	56 (19/19/18)	
Populationswachstumsrate ( $\lambda$ * Woche <sup>-1</sup> )				
Matrixmodell	1,500 ± 0,021 <sup>a</sup>	1,510 ± 0,010 <sup>a</sup>	1,578 ± 0,017 <sup>b</sup>	P = 0,002
2-Stadien-Modell	1,500 ± 0,021 <sup>a</sup>	1,510 ± 0,010 <sup>a</sup>	1,578 ± 0,017 <sup>b</sup>	P = 0,002
Nettoreproduktionsrate ( $R_0$ )	182,321 ± 28,132	193,219 ± 16,385	141,629 ± 23,953	P = 0,076
Generationsdauer ( $T$ in Wochen)	12,818 ± 0,336 <sup>a</sup>	12,759 ± 0,113 <sup>a</sup>	10,838 ± 0,241 <sup>b</sup>	P < 0,001

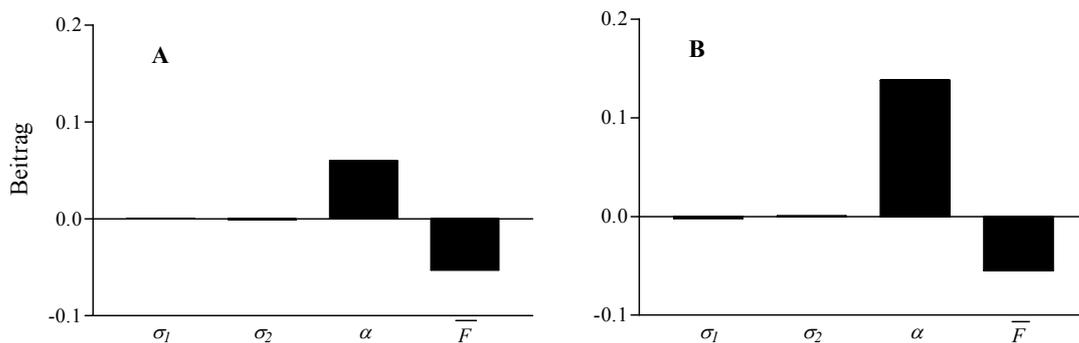
Wie bereits für *I. metallica* wurde auch für *I. baltica* 16°C als Kontrolltemperatur definiert. Sowohl bei 18°C als auch bei 20°C trug die frühere Reproduktion am stärksten zur Erhöhung der Populationswachstumsrate gegenüber 16°C bei (Abb. 36). Da sich die Tiere bei 20°C noch eine Woche früher (ab Woche 8) als bei 18°C (ab Woche 9) reproduzierten, war der Beitrag der Reproduktion in diesen Wochen zum Populationswachstum aufgrund der hohen Sensibilität von  $\lambda$  gegenüber früherer Reproduktion sehr hoch. Sobald die Tiere bei 16°C Jungtiere hervorbrachten, hatten sie aufgrund der höheren Fertilität in den Wochen zehn und elf einen Vorteil gegenüber Tieren bei höheren Temperaturen. Die längere Lebensdauer bei 16°C und die damit verbundene Reproduktion im hohen Alter hatte keinen Einfluss auf  $\lambda$ .

## Ergebnisse



**Abb. 36:** Abweichung der altersspezifischen  $P_i$ - und  $F_i$ -Werte bei *I. baltica* bei 18 (A) und 20°C (C) relativ zu 16°C und die Beiträge dieser Abweichungen zu den Unterschieden in  $\lambda$  bei 18 (B) und 20°C (D)

Das 2-Stadienmodell misst der Reproduktion im hohen Alter offenbar eine größere Bedeutung bei. Unterschiede in der Fertilität der Tiere tragen hier zu einer Erhöhung von  $\lambda$  bei 16°C bei (Abb. 37). Das frühere Erreichen der Geschlechtsreife wurde hier eindeutig als der entscheidende Faktor für das höhere Wachstum bei höheren Temperaturen identifiziert. Unterschiede in den Überlebenswahrscheinlichkeiten hatten kaum Einfluss auf  $\lambda$ .



**Abb. 37:** Beiträge der Unterschiede in den stadienspezifischen Parametern bei 18 (A) und 20°C (B) bei *I. baltica* zum Unterschied in  $\lambda$  bei 16°C

### Interspezifischer Vergleich

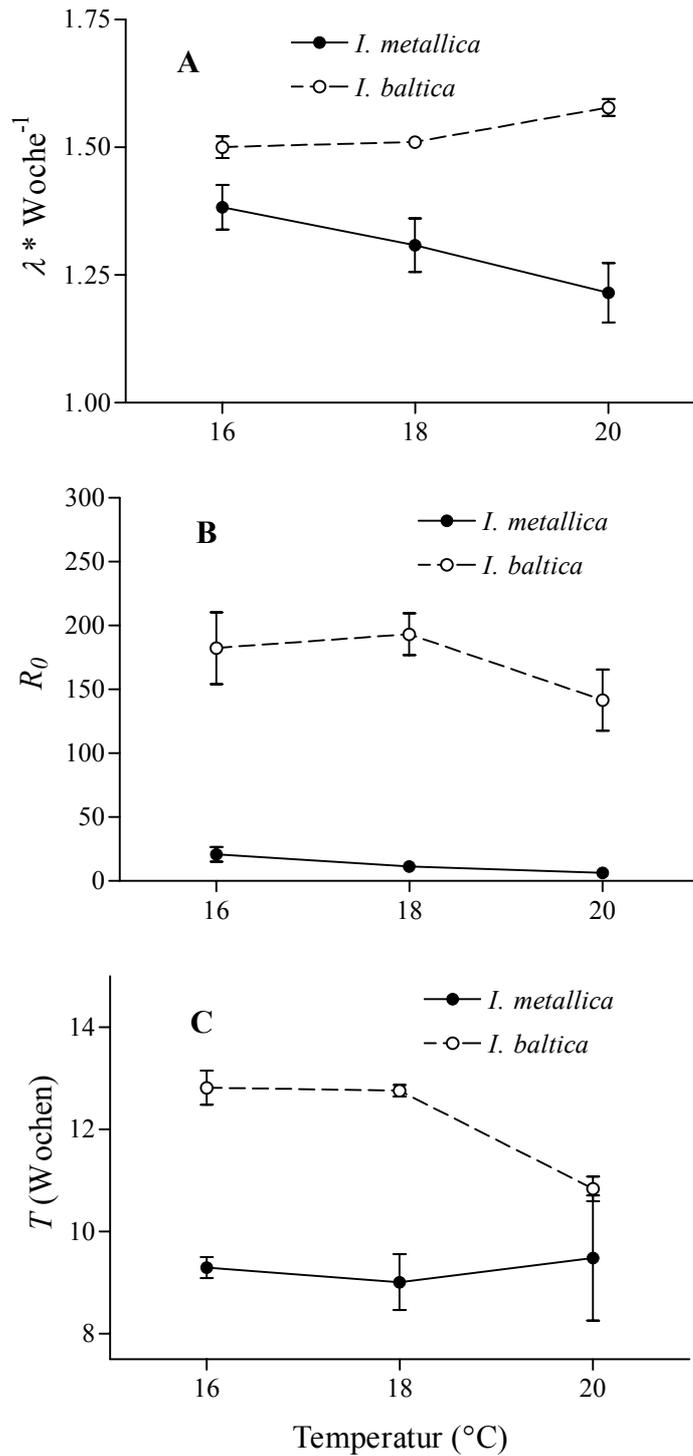
Bei allen Temperaturen wies *I. baltica* eine höhere Populationswachstumsrate als *I. metallica* auf. Beide Arten reagierten unterschiedlich auf die Veränderung der

Temperatur. Während  $\lambda$  bei *I. metallica* mit zunehmender Temperatur sank, stieg bei *I. baltica* in dem untersuchten Temperaturbereich das Populationswachstum mit der Temperatur an (Abb. 38 A). Somit lag hier eine statistisch signifikante Interaktion zwischen den Arten und der Temperatur vor (Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalysen siehe Anhang S. XIII Tab. VI). Auch die Nettofortpflanzungsrate war bei *I. metallica* stets deutlich niedriger als bei *I. baltica* (Abb. 38 B).  $R_0$  reagierte bei beiden Arten ähnlich auf Temperaturveränderungen. Daher war eine Interaktion der Faktoren „Art“ und „Temperatur“ für  $R_0$  nicht nachweisbar. Bei allen Temperaturen wies *I. metallica* eine kürzere Generationsdauer als *I. baltica* auf. Eine Interaktion der Faktoren „Art“ und „Temperatur“ spiegelte sich in unterschiedlicher Abhängigkeit der Generationsdauer von der Temperatur wider. Während  $T$  bei *I. metallica* nur geringfügig auf die Temperatur reagierte, zeigte *I. baltica* eine deutliche Verkürzung der Generationsdauer bei 20°C (Abb. 38 C).

Die Ursachenanalyse für den interspezifischen Unterschied in  $\lambda$  bei 16°C wurde bereits unter 3.2.1.1 (S. 45) (interspezifischer Vergleich unter Mischfutterbedingungen) durchgeführt und wird daher hier nicht wiederholt.

*Idotea metallica* wies bei 18°C in nahezu allen Stadien eine geringere Überlebenswahrscheinlichkeit als *I. baltica* auf (Abb. 39 A). Vor allem in den Wochen 2 und 6-13 trug dies deutlich zum Unterschied in den Populationswachstumsraten bei (Abb. 39 B). Zusätzlich profitierte *I. baltica* von einer höheren Fertilität in den Wochen 9 und 10 und 12-14. Die längere Lebensdauer von *I. baltica* und die in dieser Phase (ab Woche 17) stattfindende Reproduktion hatten keinen Einfluss auf den Unterschied in  $\lambda$ . Die frühere Geschlechtsreife von *I. metallica* und die damit einhergehende frühere Reproduktion in den Wochen 7 und 8 verringerte den Unterschied in den Populationswachstumsraten zwischen den Arten.

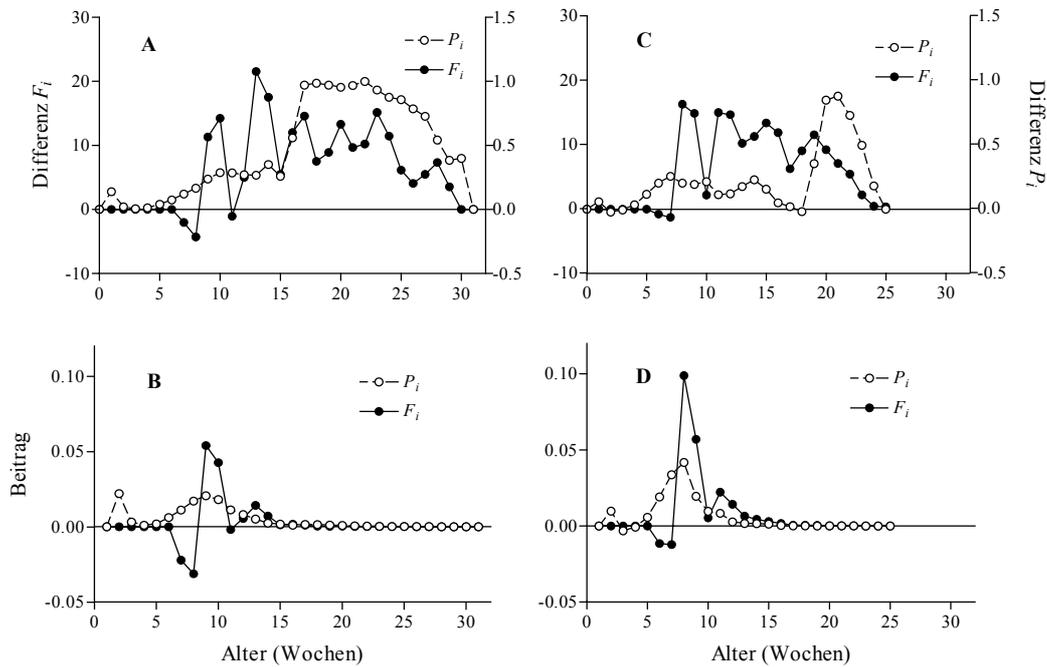
Ergebnisse



**Abb. 38: Interspezifischer Vergleich des Einflusses der Temperatur auf  $\lambda$  (A),  $R_0$  (B) und  $T$  (C)**

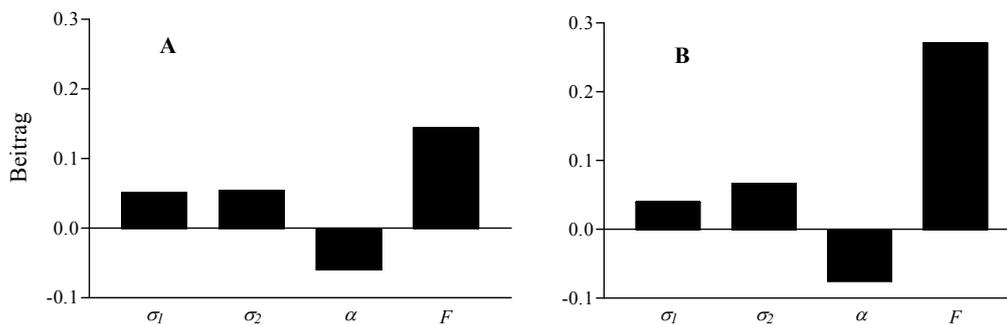
Die gleichen Mechanismen waren für den Unterschied in  $\lambda$  bei 20°C verantwortlich (Abb. 39 D). Eine geringere Mortalität vor allem in den Wochen 5 bis 11 und eine höhere Reproduktion in den Wochen 8-13 erhöhten die Populationswachstumsrate von *I. baltica* gegenüber *I. metallica*. Auch hier trug die längere Lebensdauer nicht zum

Unterschied in  $\lambda$  bei. Die frühere Geschlechtsreife von *I. metallica* verringerte den Unterschied in den Populationswachstumsraten beider Arten.



**Abb. 39:** Abweichung der altersspezifischen  $P_i$ - und  $F_i$ -Werte bei *I. baltica* bei 18 (A) und 20°C (C) relativ zu *I. metallica* und die Beiträge dieser Abweichungen zu den Unterschieden in  $\lambda$  bei 18°C (B) und bei 20°C (D)

Das 2-Stadienmodell bestätigt, dass die geringere Mortalität der adulten und juvenilen *I. baltica* und die höhere Reproduktion dieser Art für den Unterschied in der Populationswachstumsrate bei 18 und 20°C gegenüber *I. metallica* verantwortlich waren (Abb. 40). Bei beiden Temperaturen verringerte die frühere Reproduktion von *I. metallica* einen noch größeren Unterschied gegenüber *I. baltica* in  $\lambda$ .



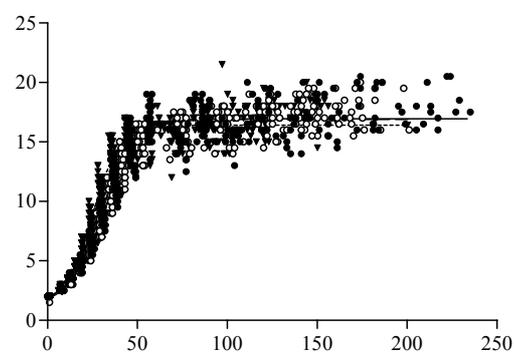
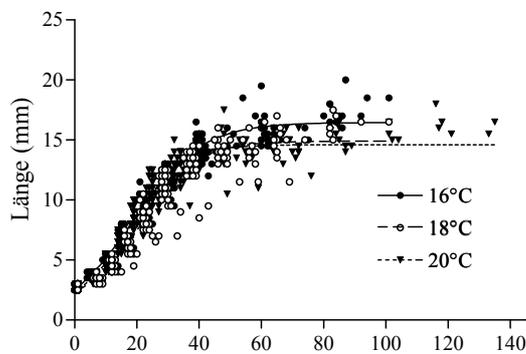
**Abb. 40:** Beiträge der Unterschiede in den stadienspezifischen Parametern bei 18 (A) und 20°C (B) bei *I. baltica* zu dem Unterschied in  $\lambda$  gegenüber *I. metallica*

**Wachstum** – Die beiden Arten unterschieden sich statistisch signifikant in der maximalen Länge ( $L_{max}$ ), die von den Tieren erreicht wurde (Abb. 41, Tab. 13 und 14). Während *I. metallica* durchschnittlich  $17,7 \pm 3,8$  mm lang wurde, erreichte *I. baltica* eine Länge von  $21,3 \pm 4,9$  mm. Männliche Tiere ( $23,0 \pm 4,0$  mm) wurden deutlich

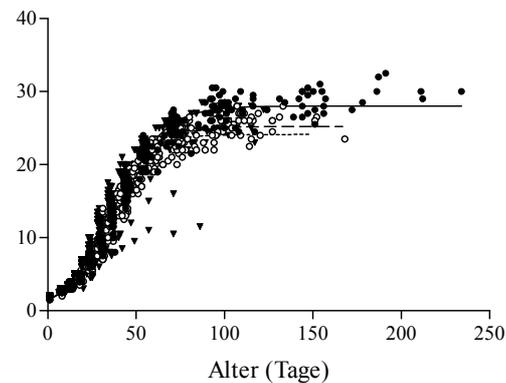
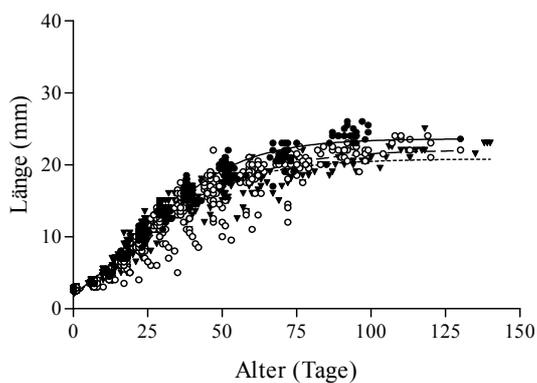
länger als weibliche ( $15,8 \pm 1,7$  mm). Die durchschnittliche Länge der Tiere nahm mit steigender Temperatur von  $20,7 \pm 5,3$  mm bei  $16^\circ\text{C}$  über  $19,7 \pm 4,5$  mm bei  $18^\circ\text{C}$  bis auf  $18,2 \pm 4,1$  mm bei  $20^\circ\text{C}$  ab. Der Faktor „Geschlecht“ interagierte statistisch signifikant mit den Faktoren „Art“ und „Temperatur“. Die Faktoren „Art“ und „Temperatur“ interagierten nicht, was zeigt, dass beide Arten hinsichtlich  $L_{max}$  in gleicher Weise auf die Temperaturveränderung reagierten. Eine Interaktion 2. Ordnung konnte nicht ermittelt werden.

*I. metallica**I. baltica*

## Weibchen



## Männchen



**Abb. 41: Wachstum weiblicher (oben) und männlicher (unten) *I. metallica* (links) und *I. baltica* (rechts) in Abhängigkeit von der Temperatur**

Die halbmaximale Körperlänge ( $V_{50}$ ) wurde von *I. metallica* ( $20,7 \pm 4,8$  Tage) früher erreicht als von *I. baltica* ( $32,3 \pm 5,6$  Tage), wobei die Weibchen ( $15,8 \pm 1,7$  Tage) relativ schneller wuchsen als die Männchen ( $23,0 \pm 4,0$  Tage) (Tab. 13 und 15). Bei  $16^\circ\text{C}$  ( $27,9 \pm 7,9$  Tage) erreichten die Tiere  $V_{50}$  schneller als bei  $18^\circ\text{C}$  ( $29,1 \pm 7,9$ ). Bei einer Erhöhung der Temperatur auf  $20^\circ\text{C}$  wurde das Wachstum schneller abgeschlossen

( $V_{50} = 22,7 \pm 5,8$  Tage). Alle Interaktionen 1. Ordnung waren statistisch signifikant, während eine Interaktion 2. Ordnung nicht festgestellt werden konnte.

**Tab. 13: Ergebnisse der Regressionsanalyse zum Einfluss der Temperatur auf das Wachstum von *I. metallica* und *I. baltica* [statistisch nicht signifikante Unterschiede innerhalb eines Parameters (Student-Newman-Keuls Posttest) sind durch gleiche Buchstaben gekennzeichnet]**

	$L_{max}$ (mm)	$V_{50}$ (Tage)	Korrelationskoeffizient $R^2$
<i>I. metallica</i>			
Weibchen			
16°C	$16,0 \pm 1,7^a$	$23,0 \pm 4,2^a$	0,966
18°C	$14,7 \pm 1,2^b$	$21,7 \pm 3,1^b$	0,949
20°C	$14,3 \pm 1,6^b$	$18,8 \pm 3,0^c$	0,956
Männchen			
16°C	$22,4 \pm 3,4$	$22,7 \pm 4,5^{bd}$	0,977
18°C	$19,9 \pm 3,6$	$23,6 \pm 6,7^{dc}$	0,930
20°C	$18,8 \pm 2,7$	$13,8 \pm 16,9^{ac}$	0,958
<i>I. baltica</i>			
Weibchen			
16°C	$16,9 \pm 1,4^a$	$29,7 \pm 2,3^f$	0,961
18°C	$16,8 \pm 1,2^a$	$30,7 \pm 1,6^f$	0,973
20°C	$16,2 \pm 1,3^a$	$24,9 \pm 1,8^c$	0,966
Männchen			
16°C	$27,8 \pm 1,5$	$38,3 \pm 2,5^g$	0,984
18°C	$24,8 \pm 1,8^c$	$38,1 \pm 2,9^g$	0,981
20°C	$24,4 \pm 2,1^c$	$30,3 \pm 3,4^f$	0,941

**Tab. 14: Ergebnisse der 3-faktoriellen Varianzanalyse zum Einfluss des Geschlechts und der Temperatur auf die maximale Körperlänge ( $L_{max}$ ) von *I. metallica* und *I. baltica***

Behandlung	FG	SS	MS	F	P-Wert
a) Haupteffekte					
Faktor 1 (Isopodenart)	1	1577,267	1577,267	352,721	< 0,0001
Faktor 2 (Geschlecht)	1	6889,800	6889,800	1540,751	< 0,0001
Faktor 3 (Temperatur)	2	518,590	259,295	57,986	< 0,0001
b) Interaktionen 1. Ordnung					
Faktoren 1 x 2	1	442,710	442,710	99,002	< 0,0001
Faktoren 1 x 3	2	7,686	3,843	0,859	0,424
Faktoren 2 x 3	2	138,994	69,497	15,542	< 0,0001
c) Interaktionen 2. Ordnung					
Faktoren 1 x 2 x 3	2	17,552	8,776	1,962	0,142
Residuen (Fehler)	525	4,472	0,009		
Gesamt	536	9597,071	17,905		

**Tab. 15: Ergebnisse der 3-faktoriellen Varianzanalyse zum Einfluss des Geschlechts und der Temperatur auf die Wachstumsgeschwindigkeit ( $V_{50}$ ) von *I. metallica* und *I. baltica***

Behandlung	FG	SS	MS	F	P-Wert
a) Haupteffekte					
Faktor 1 (Isopodenart)	1	16754,443	16754,443	1422,964	< 0,0001
Faktor 2 (Geschlecht)	1	2809,121	2809,121	238,580	< 0,0001
Faktor 3 (Temperatur)	2	3206,522	1603,261	136,166	< 0,0001
b) Interaktionen 1. Ordnung					
Faktoren 1 x 2	1	746,475	746,475	63,399	< 0,0001
Faktoren 1 x 3	2	244,132	122,066	10,367	0,0004
Faktoren 2 x 3	2	149,508	74,754	6,349	0,002
c) Interaktionen 2. Ordnung					
Faktoren 1 x 2 x 3	2	13,108	6,554	0,557	0,574
Residuen (Fehler)	517	11,774	0,023		
Gesamt	528	23935,083	45,332		

### 3.2.2 Der Einfluss von Umweltparametern auf die Konkurrenz zwischen *I. metallica* und *I. baltica* (Material und Methoden 2.3.2, S. 21)

#### 3.2.2.1 Nahrungsqualität (Material und Methoden 2.3.2.1, S. 22)

Die im Folgenden dargestellten Populationsdichten sind (bis auf die Anfangsdichte von jeweils 20 Tieren) als Mittelwerte aus drei aufeinanderfolgenden Zählungen (3-point running mean) dargestellt. Auf diese Weise müssen die Abundanzen nicht als Momentaufnahmen angesehen werden sondern als Resultat dynamischer Prozesse, die jeweils über einen Zeitraum von sechs Wochen wirksam waren. Alle demographischen Parameter wurden auf der Basis dieser in den Abbildungen dargestellten Mittelwerte errechnet. Vor allem bei der Bestimmung der anfänglichen Populationswachstumsrate ( $r$ ) wurde auf diese Weise nicht nur die Fertilität der zu Beginn der Versuche in die Kulturen gegebenen Tiere ermittelt, sondern es konnte zusätzlich die antagonistische Wirkung der Mortalität über einen angemessenen Zeitraum berücksichtigt werden.

Sowohl unter Mischfutterbedingungen als auch bei rein tierischer Ernährung waren beide Arten in Reinkulturen in der Lage, über die Versuchsdauer von 24 Wochen stabile Populationen in den Mikrokosmen zu etablieren (Abb. 42). Dabei zeigten sie die für sich kontinuierlich reproduzierende Arten charakteristische Populationsdynamik: Aufgrund dichteabhängiger Regulationsmechanismen sank die Populationsdichte nach einem anfänglichen Überschuss ab und oszillierte um den Wert der Kapazität der jeweiligen Art. Die Populationswachstumsrate  $r$  war für *I. metallica* deutlich niedriger als für *I. baltica* (Tab. 16 und 17). Das starke Populationswachstum von *I. baltica* unter Mischfutterbedingungen verhinderte, dass sich die Populationsdichte auf dem Wert der Kapazität stabilisierte. Das anfängliche Wachstum erfolgte bis zur Woche acht. Die dichteabhängigen Regulationsmechanismen waren somit ab der dritten bis vierten Woche wirksam. Die Multiplikation von  $r$  ( $0,654 \cdot \text{Woche}^{-1}$ ) mit dem Wert für die Zeitverzögerung des Wirkens der Regulationsmechanismen (3 bzw. 4 Wochen) ergab einen Wert von 1,962 bzw. 2,616. Populationen, bei denen dieses Produkt höher ist als  $\pi/2$  (ca. 1,571) weisen ungedämpfte Schwingungen der Populationsdichte um  $K$  auf. Daher wurde  $K$  für *I. baltica* unter Mischfutterbedingungen als Mittelwert aus allen Populationsdichten zwischen dem Dichtemaximum (Woche 8) und dem darauffolgendem Dichteminimum (Woche 20) ermittelt. *Idotea baltica* wies eine deutlich höhere Kapazität als *I. metallica* auf ( $P < 0,0001$ ). Die Oszillationen (die

Variabilität) der Populationsdichte waren aufgrund der beschriebenen Populationsdynamik für *I. baltica* höher als für *I. metallica* ( $P = 0,016$ ).

Auch bei rein tierischer Ernährung bildeten beide Arten in Reinkulturen über die gesamte Versuchsdauer stabile Populationen aus (Abb. 42). Obwohl der direkte Vergleich innerhalb der Arten (Student-Newman-Keuls Test) keine deutlichen Unterschiede zwischen den Populationswachstumsraten der Reinkulturen aufzeigte (Tab. 16), war der Einfluss der Nahrungsqualität auf die Populationswachstumsraten statistisch signifikant (3-faktorielle Varianzanalyse; Tab. 16 und 17).

Bei *I. metallica* war die Kapazität in Abwesenheit pflanzlicher Nahrung höher. Dieser Unterschied war jedoch aufgrund der höheren Variabilität in der Populationsdichte ( $P < 0,05$ ) bei rein tierischer Ernährung statistisch nicht nachweisbar ( $P = 0,255$ ). Bei *I. baltica* führte das verminderte Populationswachstum bei fehlender pflanzlicher Nahrung dazu, dass sich die Populationsdichte ab der 14. Woche auf dem Wert der Kapazität einstellte, der deutlich niedriger war als bei Mischfütterernährung ( $P = 0,029$ ). Obwohl die Oszillationen nicht mehr ungedämpft waren, variierte die Populationsdichte stärker als bei Vorhandensein von pflanzlicher Nahrung. Allerdings waren diese Unterschiede statistisch nicht belegbar ( $P = 0,652$ ).

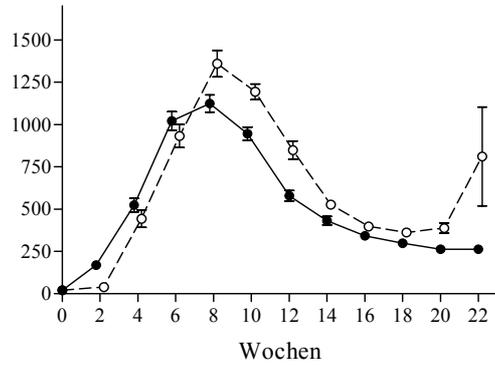
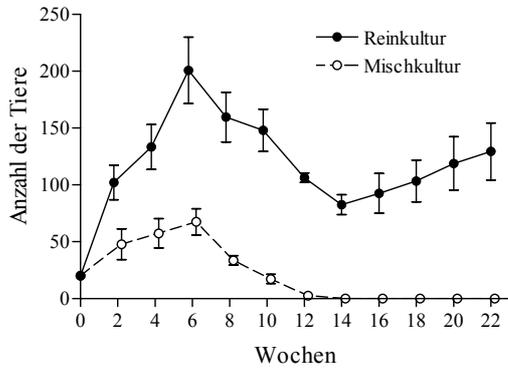
Konkurrenz verminderte die anfängliche Populationswachstumsrate (Tab. 16) für beide Arten. Beim direkten Vergleich erwies sich die Verminderung von  $r$  jedoch nur für *I. metallica* bei rein tierischer Ernährung als statistisch signifikant (Tab. 16). Somit lag hier eine statistische Interaktion zwischen den Faktoren „Isopodenart“ und „Konkurrenz“ vor (Tab. 17). Unter Mischfütterbedingungen wurde *I. metallica* in den Mischkulturen ab der 12. Woche nicht mehr nachgewiesen. Die Kapazität von *I. baltica* hingegen war in den Mischkulturen höher als in den Reinkulturen ( $P < 0,001$ ). Die Amplitude der Oszillationen blieb bei *I. baltica* unbeeinflusst ( $P = 0,974$ ).

Bei rein tierischer Ernährung konnten ab der 20. Wochen keine *I. metallica* mehr in den Mischkulturen nachgewiesen werden. Zeitgleich mit dem Aussterben von *I. metallica* stieg die Populationsdichte von *I. baltica* ab der 14. Woche deutlich über die Kapazität in den Reinkulturen an. Die ermittelten Werte für Kapazität und Dichteveriabilität sind hierbei kritisch zu betrachten, da die Populationen im Vergleich zu den Reinkulturen nicht stabilisiert erschienen.

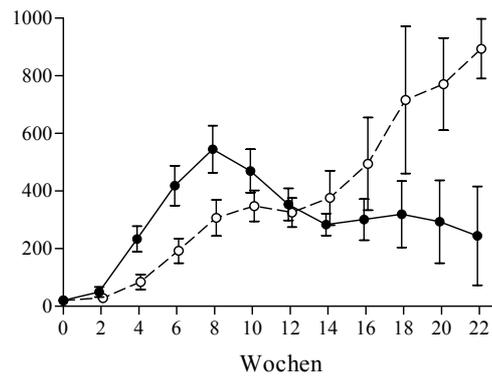
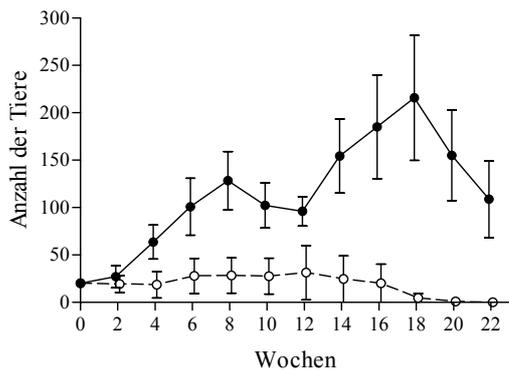
**I. metallica**

**I. baltica**

**Mischfutter**



**rein tierische Nahrung**



**Abb. 42: Populationsdynamik von *I. metallica* (links) und *I. baltica* (rechts) in Rein- und Mischkultur unter Mischfutterbedingungen (oben) und bei rein tierischer Ernährung (unten) (Anzahl der Tiere ist jeweils als Mittelwert aus drei aufeinanderfolgenden Zählungen wiedergegeben; Fehlerbalken = Standardfehler; n = jeweils 5)**

**Tab. 16: Demographische Parameter von *I. metallica* und *I. baltica* in Rein- und Mischkulturen bei Mischfutter und rein tierischer Ernährung [Werte in Klammern geben die Versuchswochen wieder, über die die jeweiligen Parameter berechnet wurden. Statistisch nicht signifikant unterschiedliche Populationswachstumsraten (Student-Newman-Keuls Posttest) sind mit einem gleichen Buchstaben gekennzeichnet]**

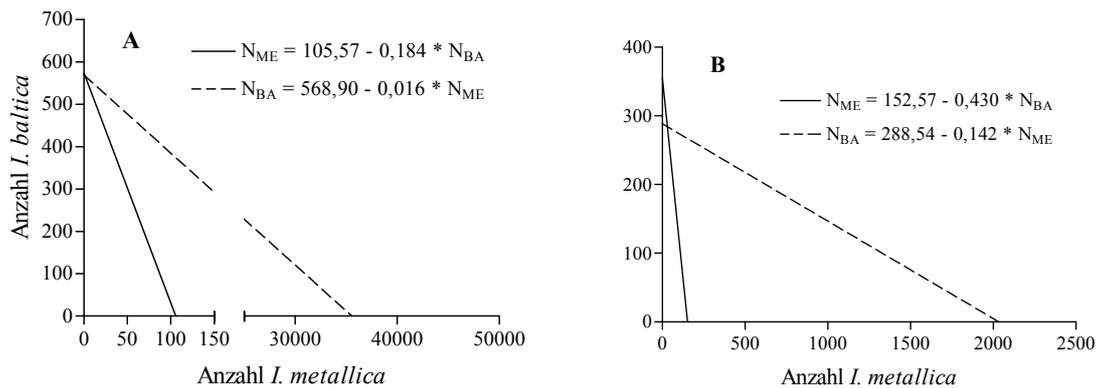
	Populationswachstumsrate $r$	Kapazität $K$	Variabilität
<i>I. metallica</i>			
Mischnahrung			
Reinkultur	$0,377 \pm 0,058^{ab}$ (0-6)	$105,5 \pm 30,2$ (12-22)	$0,31 \pm 0,19$ (12-22)
Mischkultur	$0,193 \pm 0,063^b$ (0-6)	-/-	-/-
rein tierische Nahrung			
Reinkultur	$0,244 \pm 0,101^{ab}$ (0-6)	$152,6 \pm 80,4$ (12-22)	$0,67 \pm 0,31$ (12-22)
Mischkultur	$-0,186 \pm 0,383$ (0-6)	-/-	-/-
<i>I. baltica</i>			
Mischnahrung			
Reinkultur	$0,654 \pm 0,020^c$ (0-6)	$568,9 \pm 31,8$ (8-20)	$0,57 \pm 0,07$ (8-20)
Mischkultur	$0,638 \pm 0,029^c$ (0-6)	$781,0 \pm 68,2$ (8-18)	$0,57 \pm 0,03$ (8-18)
rein tierische Nahrung			
Reinkultur	$0,496 \pm 0,070^{ac}$ (0-6)	$288,5 \pm 233,6$ (14-22)	$0,71 \pm 0,69$ (14-22)
Mischkultur	$0,354 \pm 0,109^{ab}$ (0-6)	$650,5 \pm 256,9$ (14-22)	$0,52 \pm 0,25$ (14-22)

**Tab. 17: Ergebnisse der 3-faktoriellen Varianzanalyse zum Einfluss von Nahrungsqualität und Konkurrenz auf die Populationswachstumsraten von *I. metallica* und *I. baltica***

Behandlung	FG	SS	MS	F	P-Wert
a) Haupteffekte					
Faktor 1 (Isopodenart)	1	1,435	1,435	62,976	< 0,0001
Faktor 2 (Nahrungsqualität)	1	0,570	0,570	25,011	< 0,0001
Faktor 3 (Konkurrenz)	1	0,372	0,372	16,336	0,0003
b) Interaktionen 1. Ordnung					
Faktoren 1 x 2	1	0,003	0,003	0,134	0,717
Faktoren 1 x 3	1	0,130	0,130	5,687	0,023
Faktoren 2 x 3	1	0,087	0,087	3,807	0,06
c) Interaktionen 2. Ordnung					
Faktoren 1 x 2 x 3	1	0,009	0,009	0,396	0,534
Residuen (Fehler)	32	0,023	0,001		
Gesamt	39	2,629	0,067		

Die Differenz der Populationswachstumsraten aus Rein- und Mischkulturen ergab unter Mischfutterbedingungen einen Konkurrenzkoeffizienten von  $\alpha = 0,184$  für den Einfluss von *I. baltica* auf *I. metallica* und  $\beta = 0,016$  für den Einfluss von *I. metallica* auf *I. baltica*. Somit war der interspezifische Druck von *I. baltica* auf *I. metallica* etwa zehnmal höher als der Druck, den *I. metallica* auf *I. baltica* ausübte. Die graphische Darstellung der nach dem Lotka-Volterra-Modell ermittelten möglichen Dichteverhältnisse weist einen Schnittpunkt der beiden Geraden auf, der eine Dichtekombination aufzeigt, bei der eine Koexistenz der beiden Arten theoretisch möglich ist (Abb. 43 A). Jedoch beträgt dieses Verhältnis 0,9 *I. metallica* zu 568,9 *I. baltica*. Das heißt, dass unter den gegebenen Bedingungen bei Anwesenheit von *I. baltica* nicht einmal ein Tier der Art *I. metallica* bestehen könnte. Somit muss gefolgert werden, dass *I. metallica* von *I. baltica* verdrängt wird.

Bei rein tierischer Ernährung der Tiere betragen die ermittelten Konkurrenzkoeffizienten  $\alpha = 0,430$  und  $\beta = 0,142$ . Somit war unter diesen Nahrungsbedingungen der interspezifische Druck, den *I. baltica* auf *I. metallica* ausübte, etwa dreimal höher als der Druck, den *I. metallica* auf *I. baltica* ausübte. Obwohl *I. metallica* in den Mischkulturen von *I. baltica* verdrängt wurde, zeigt das Lotka-Volterra-Modell, dass bei einem Dichteverhältnis von 30,4 *I. metallica* zu 284,2 *I. baltica* eine Koexistenz beider Arten theoretisch möglich ist (Abb. 43 B).



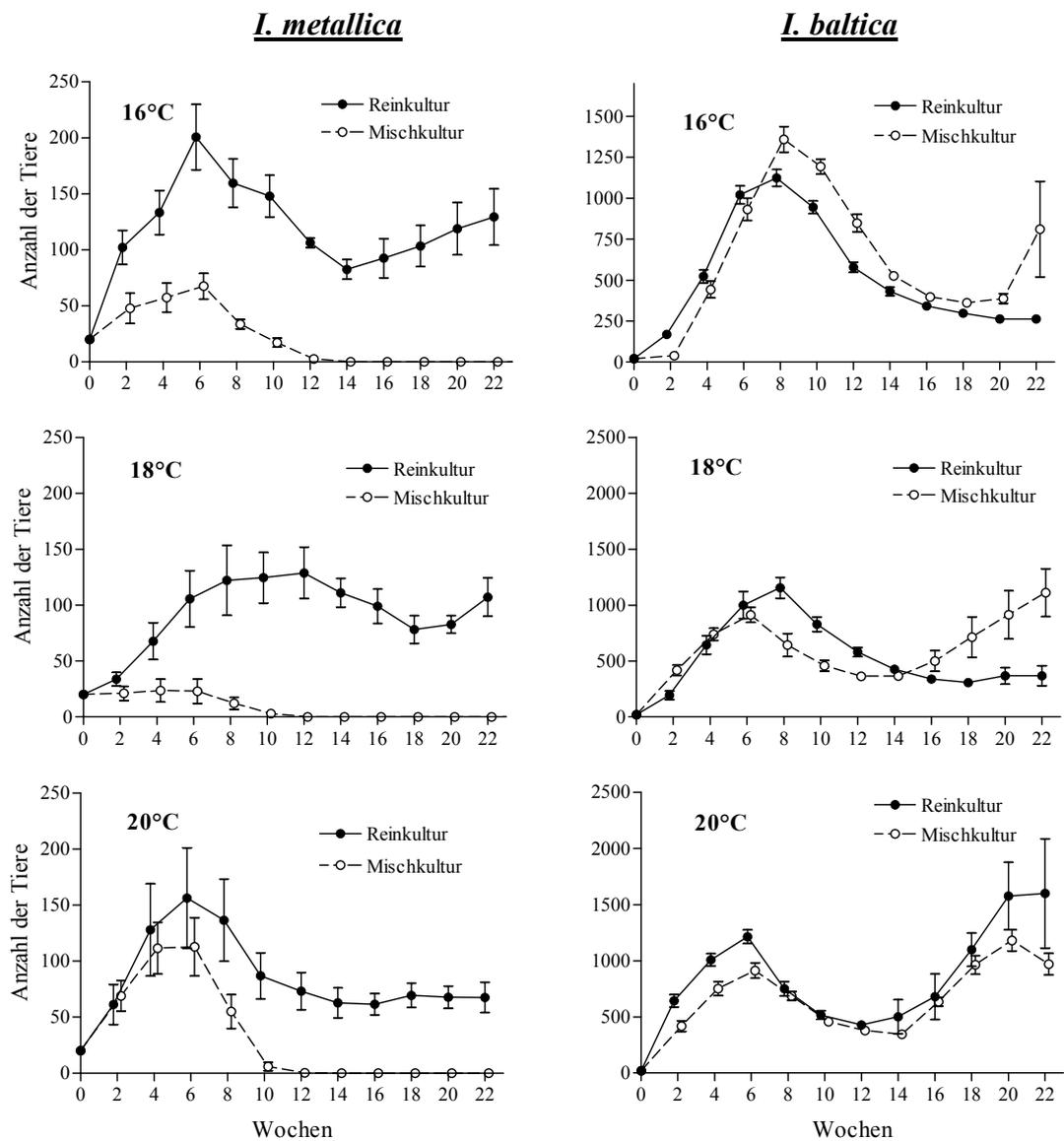
**Abb. 43:** Nach dem Lotka-Volterra-Modell ermittelte mögliche Dichteverhältnisse von *I. metallica* zu *I. baltica* unter Mischfutterbedingungen (A) und bei rein tierischer Ernährung (B)

### 3.2.2.2 Temperatur (Material und Methoden 2.3.2.2, S. 22)

In Reinkulturen bildeten beide Arten bei allen drei Versuchstemperaturen über 24 Wochen stabile Populationen aus (Abb. 44). Die Populationswachstumsraten waren bei *I. baltica* stets höher als bei *I. metallica* (Tab. 18 und 19). Die Populationsdynamik von *I. metallica* und *I. baltica* bei 16°C wurde bereits unter 3.2.2.1 für Mischfutterbedingungen beschrieben. Obwohl der direkte Vergleich innerhalb der Arten (Student-Newman-Keuls Test) keine Unterschiede in den Populationswachstumsraten bei den verschiedenen Temperaturen aufzeigte, hatte die Veränderung der Temperatur in dem gewählten Bereich einen statistisch signifikanten Einfluss auf  $r$  (3-faktorielle Varianzanalyse; Tab. 18 und 19). Bei *I. metallica* war  $r$  bei 16°C am höchsten und bei 18°C am geringsten (Tab. 18). Aufgrund der geringen Wachstumsrate stieg die Populationsdichte bei 18°C anfänglich nur geringfügig über den Wert der Kapazität hinaus an. Die Kapazität war bei 20°C am niedrigsten, jedoch waren die Unterschiede in  $K$  statistisch nicht belegbar ( $P = 0,087$ ). Die Oszillationen der Populationsdichte um den Wert der Kapazität waren bei 16°C am stärksten und bei 20°C am geringsten. Der Einfluss der Temperatur auf die Variabilität war jedoch nur geringfügig ( $P = 0,584$ ). Auch bei *I. baltica* war der Einfluss der Temperatur auf  $r$  nur gering (Tab. 18). Die Populationswachstumsrate war bei 20°C am höchsten und bei 18°C am niedrigsten. Kapazität und Dichtevariabilität änderten sich kaum mit der Temperatur ( $P$  jeweils  $> 0,05$ ).

Bei allen Temperaturen wurde *I. metallica* von *I. baltica* in den Mischkulturen verdrängt. Nach 10 – 12 Wochen konnten keine *I. metallica* mehr in den Kulturen

nachgewiesen werden. Konkurrenz hatte einen deutlichen Einfluss auf die Populationswachstumsrate. Bei 16 und 18°C war die Populationswachstumsrate von *I. metallica* bei Anwesenheit von *I. baltica* in den Mischkulturen deutlich herabgesetzt (Tab. 18). Bei 20°C war das Populationswachstum statistisch nicht signifikant beeinträchtigt ( $P = 0,482$ ). Das Populationswachstum von *I. baltica* war durch die Anwesenheit von *I. metallica* bei keiner Temperatur deutlich herabgesetzt (Tab. 18). Die Kapazität war in den Mischkulturen nur bei 16°C verändert. Auch die Variabilität der Populationsdichte war durch die anfängliche Anwesenheit von *I. metallica* in den Kulturen nicht beeinflusst ( $P$  jeweils  $> 0,05$ ).



**Abb. 44: Populationsdynamik von *I. metallica* (links) und *I. baltica* (rechts) in Rein- und Mischkultur bei 18 und 20°C (Anzahl der Tiere ist jeweils als Mittelwert aus drei aufeinanderfolgenden Zählungen wiedergegeben; Fehlerbalken = Standardfehler; n = jeweils 5)**

**Tab. 18: Demographische Parameter von *I. metallica* und *I. baltica* in Rein- und Mischkulturen bei 16, 18 und 20°C [Werte in Klammern geben die Versuchswochen wieder, über die die jeweiligen Parameter berechnet wurden. Statistisch nicht signifikant unterschiedliche Populationswachstumsraten (Student-Newman-Keuls Posttest) sind mit einem gleichen Buchstaben gekennzeichnet]**

	Populationswachstumsrate $r$	Kapazität $K$	Variabilität
<i>I. metallica</i>			
16°C			
Reinkultur	$0,377 \pm 0,058^a$ (0-6)	$105,5 \pm 30,2$ (12-22)	$0,31 \pm 0,19$ (12-22)
Mischkultur	$0,193 \pm 0,063^b$ (0-6)	-/-	-/-
18°C			
Reinkultur	$0,242 \pm 0,143^{ab}$ (0-6)	$95,7 \pm 22,7$ (14-22)	$0,28 \pm 0,14$ (14-22)
Mischkultur	$-0,065 \pm 0,207$ (0-6)	-/-	-/-
20°C			
Reinkultur	$0,315 \pm 0,107^{ab}$ (0-6)	$67,1 \pm 23,8$ (12-22)	$0,21 \pm 0,07$ (12-22)
Mischkultur	$0,269 \pm 0,093^{ab}$ (0-6)	-/-	-/-
<i>I. baltica</i>			
16°C			
Reinkultur	$0,654 \pm 0,020^c$ (0-6)	$568,9 \pm 31,8$ (8-20)	$0,57 \pm 0,07$ (8-20)
Mischkultur	$0,638 \pm 0,029^c$ (0-6)	$781,0 \pm 68,2$ (8-18)	$0,57 \pm 0,03$ (8-18)
18°C			
Reinkultur	$0,647 \pm 0,048^c$ (0-6)	$605,9 \pm 77,2$ (8-18)	$0,52 \pm 0,08$ (8-18)
Mischkultur	$0,635 \pm 0,028^c$ (0-6)	$548,1 \pm 58,5$ (6-14)	$0,43 \pm 0,10$ (6-14)
20°C			
Reinkultur	$0,684 \pm 0,019^c$ (0-6)	$727,4 \pm 89,5$ (6-12)	$0,47 \pm 0,06$ (6-12)
Mischkultur	$0,635 \pm 0,028^c$ (0-6)	$556,0 \pm 56,3$ (6-14)	$0,42 \pm 0,09$ (6-14)

Tab. 19: Ergebnisse der 3-faktoriellen Varianzanalyse zum Einfluss von Temperatur und Konkurrenz auf die Populationswachstumsraten von *I. metallica* und *I. baltica*

Behandlung	FG	SS	MS	F	P-Wert
a) Haupteffekte					
Faktor 1 (Isopodenart)	1	2,735	2,735	340,480	< 0,0001
Faktor 2 (Temperatur)	2	0,150	0,075	9,381	0,0004
Faktor 3 (Konkurrenz)	1	0,158	0,158	19,607	0,0001
b) Interaktionen 1. Ordnung					
Faktoren 1 x 2	2	0,118	0,059	7,335	0,002
Faktoren 1 x 3	1	0,089	0,089	11,033	0,002
Faktoren 2 x 3	2	0,032	0,016	1,962	0,152
c) Interaktionen 2. Ordnung					
Faktoren 1 x 2 x 3	2	0,056	0,028	3,477	0,039
Residuen (Fehler)	48	0,008	0,0002		
Gesamt	59	3,346	0,057		

Die für 18°C ermittelten Konkurrenzkoeffizienten betragen  $\alpha = 0,307$  und  $\beta = 0,012$ . Damit war der Konkurrenzdruck auf *I. metallica* ungefähr 26 Mal höher als der Druck auf *I. baltica*. Die anhand des Lotka-Volterra-Modells entwickelten Geraden wiesen keinen Schnittpunkt auf (Abb. 45). Somit besteht für 18°C wie für 16°C keine Dichtekombination, die eine Koexistenz der beiden Arten ermöglicht.

Bei 20°C betragen die Konkurrenzkoeffizienten  $\alpha = 0,046$  und  $\beta = 0,049$ . Die ermittelten Geraden weisen einen Schnittpunkt auf, der auf die Möglichkeit einer Koexistenz der beiden Arten bei einem Dichteverhältnis von 33,6 *I. metallica* zu 725,8 *I. baltica* hinweist (Abb. 45).

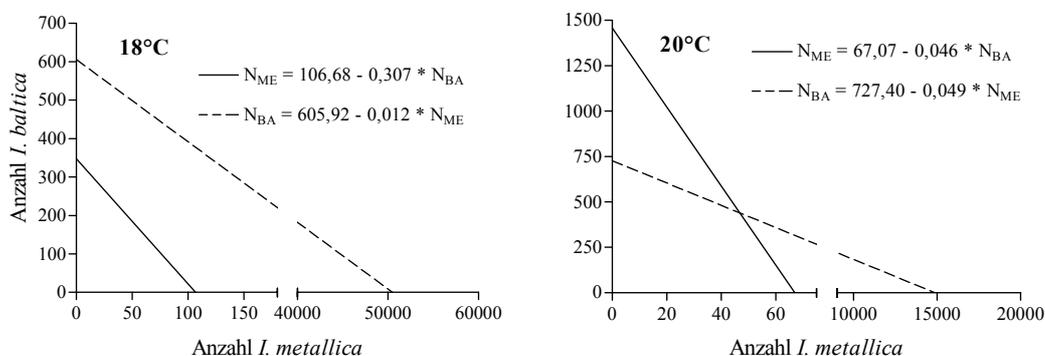


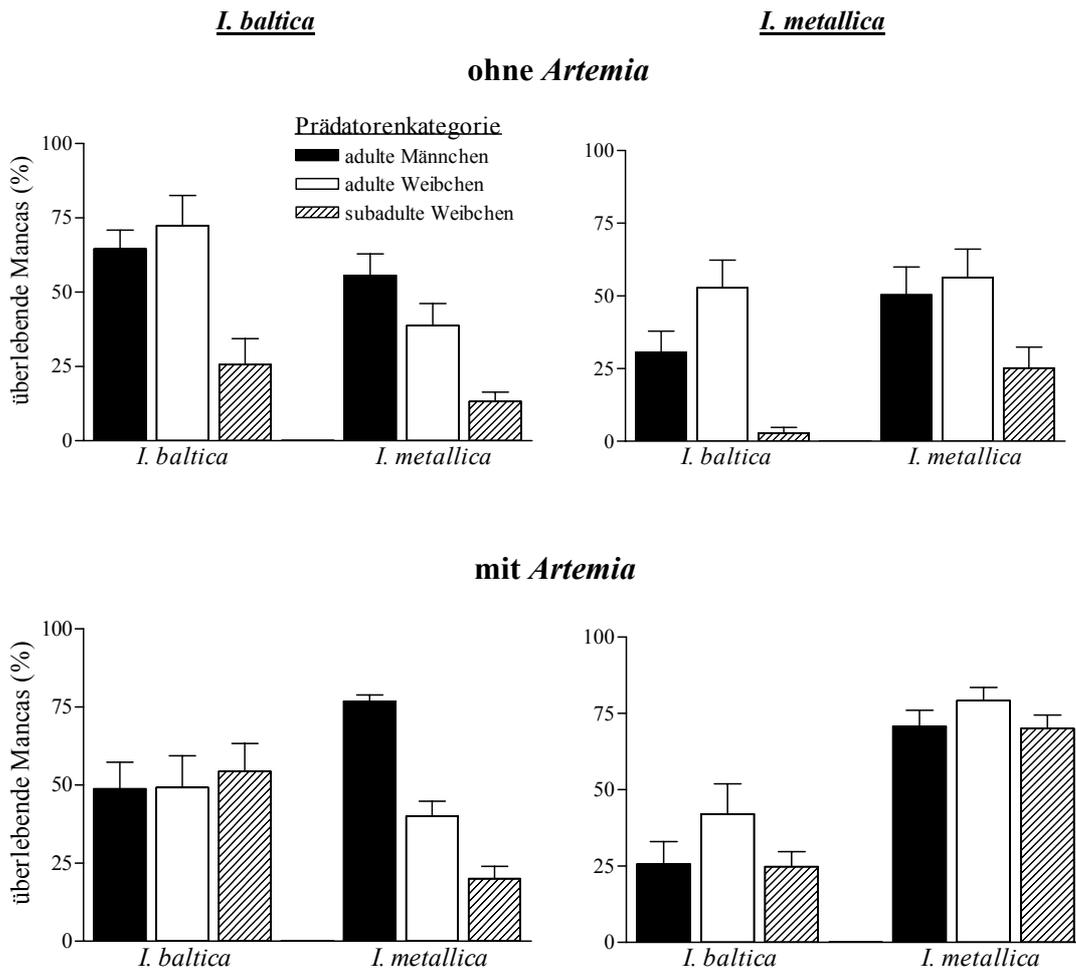
Abb. 45: Nach dem Lotka-Volterra-Modell ermittelte mögliche Dichteverhältnisse von *I. metallica* zu *I. baltica* bei 18 (links) und 20°C (rechts)

### 3.2.3 Mechanismen der Konkurrenz (Material und Methoden 2.3.3, S. 24)

#### 3.2.3.1 Fraßdruck auf Jungtiere (Material und Methoden 2.3.3.1, S. 24)

*In den Kontrollen überlebten die Jungtiere von I. baltica sowohl in Anwesenheit als auch in Abwesenheit von Artemia zu 100 %. Mancas von I. metallica überlebten mit Artemia zu  $96,0 \pm 5,7$  % und zu  $95,6 \pm 4,0$  % ohne Artemia. Bei der Anwesenheit von adulten bzw. subadulten Tieren war die Überlebensrate stets vermindert (Abb. 46). Somit kann die beobachtete Mortalität der Mancas auf Fraßdruck durch adulte bzw. subadulte Tiere zurückgeführt werden. Der geringste Fraßdruck wurde von adulten I. metallica Weibchen bei Anwesenheit von Artemia auf arteigene Jungtiere ausgeübt (Überlebensrate:  $79,2 \pm 13,7$  %). Am stärksten wurden I. metallica Jungtiere in Abwesenheit von Artemia von subadulten I. baltica Weibchen reduziert (Überlebensrate:  $2,8 \pm 6,3$  %).*

Die 4-faktorielle Varianzanalyse zeigt auf, dass die Fressraten der adulten Tiere nicht von der Art der Jungtiere abhängig waren (Tab. 20). Sowohl die Art der adulten Tiere als auch die Kategorie, zu der diese gehörten (adulte Männchen, adulte Weibchen, subadulte Weibchen) hatte einen signifikanten Einfluss auf das Überleben der Jungtiere. Weiterhin war auch die Anwesenheit von zusätzlicher Nahrung in Form von *Artemia* entscheidend für die Höhe des Fraßdrucks, der auf die Juvenilen ausgeübt wurde. Alle Interaktionen erster Ordnung waren statistisch signifikant. Interaktionen zweiter und dritter Ordnung konnten statistisch nicht ermittelt werden.



**Abb. 46:** Anzahl überlebender *I. baltica* (links) und *I. metallica* (rechts) Mancas nach 20-stündiger Konfrontation mit arteigenen und artfremden adulten Männchen, adulten Weibchen oder subadulten Weibchen bei Abwesenheit (oben) und bei Anwesenheit von *Artemia* (unten) als zusätzlicher Nahrungsquelle. (Fehlerbalken = Standardfehler; n = jeweils 10; bei adulten *I. baltica* Männchen n = 15)

*Überleben der Jungtiere in Abwesenheit von Artemia* - Die durchschnittliche Überlebensrate der Jungtiere in Abwesenheit von *Artemia* betrug  $41,2 \pm 31,7$  %. Dabei war die Überlebenswahrscheinlichkeit für *I. metallica* Jungtiere (Überlebensrate der Jungtiere:  $35,9 \pm 46,5$  %) kaum höher ( $P = 0,055$ ) als für *I. baltica* Jungtiere (Überlebensrate der Jungtiere:  $31,3 \pm 31,6$  %). Adulte und subadulte *I. metallica* (Überlebensrate der Jungtiere:  $39,9 \pm 28,4$  %) übten einen nur geringfügig höheren ( $P = 0,436$ ) Fraßdruck auf die Jungtiere aus als *I. baltica* (Überlebensrate der Jungtiere:  $42,3 \pm 34,5$  %). Subadulte Weibchen (Überlebensrate:  $16,7 \pm 20,6$  %) fraßen deutlich mehr ( $P < 0,05$ ) Jungtiere als adulte Männchen (Überlebensrate der Jungtiere:  $49,8 \pm 29,1$  %) und adulte Weibchen ( $55,1 \pm 30,6$  %).

**Abb. 20: Ergebnisse der 4-faktoriellen Varianzanalyse zum Überleben der *Idotea-Mancas* unter intra- und interspezifischem Fraßdruck**

Behandlung	FG	SS	MS	F	P-Wert
a) Haupteffekte					
Faktor 1 (Art der Adulten)	1	0,585	0,585	5,221	0,023
Faktor 2 (Art der Juvenilen)	1	0,001	0,001	0,011	0,916
Faktor 3 (An- / Abwesenheit von <i>Artemia</i> )	1	0,788	0,788	7,035	0,009
Faktor 4 (Prädatorenkategorie)	2	4,972	2,486	22,189	< 0,001
b) Interaktionen 1. Ordnung					
Faktoren 1 x 2	1	4,927	4,927	43,978	< 0,001
Faktoren 1 x 3	1	1,271	1,271	11,348	0,001
Faktoren 2 x 3	1	0,463	0,463	4,134	0,043
Faktoren 1 x 4	2	0,924	0,462	4,124	0,017
Faktoren 2 x 4	2	1,098	0,549	4,902	0,008
Faktoren 3 x 4	2	1,432	0,716	6,394	0,002
c) Interaktionen 2. Ordnung					
Faktoren 1 x 2 x 3	1	0,184	0,184	1,643	0,201
Faktoren 1 x 2 x 4	2	0,448	0,224	1,999	0,138
Faktoren 1 x 3 x 4	2	0,518	0,259	2,312	0,101
Faktoren 2 x 3 x 4	2	0,142	0,071	0,630	0,533
d) Interaktionen 3. Ordnung					
Faktoren 1 x 2 x 3 x 4	2	0,408	0,204	1,824	0,164
Residuen (Fehler)	236	26,432	0,112		
Gesamt	259	44,593	0,172		

*Überleben der Jungtiere in Anwesenheit von Artemia* – Die durchschnittliche Überlebensrate der Jungtiere betrug bei Anwesenheit von *Artemia*  $49,1 \pm 29,8$  %. Auch hier unterschieden sich die Überlebenswahrscheinlichkeiten der Jungtiere beider Arten nicht deutlich voneinander (Überlebensraten der Jungtiere: *I. metallica*:  $49,4 \pm 30,5$  %; *I. baltica*:  $48,3 \pm 28,7$  %;  $P = 0,884$ ). Während der Fraßdruck durch adulte und subadulte *I. metallica* in Anwesenheit von *Artemia* deutlich niedriger ( $P = 0,0002$ ) war (Überlebensrate der Jungtiere:  $59,5 \pm 25,5$  %), hatte das Vorhandensein von *Artemia* keinen Einfluss ( $P = 0,617$ ) auf das Fressverhalten von *I. baltica* (Überlebensrate der Jungtiere:  $40,3 \pm 30,4$  %). Adulte Männchen (Überlebensrate der Jungtiere:  $51,8 \pm 31,9$  %), adulte Weibchen (Überlebensrate der Jungtiere:  $52,6 \pm 28,6$  %) und subadulte Weibchen (Überlebensrate der Jungtiere:  $42,3 \pm 27,6$  %) unterschieden sich nur geringfügig hinsichtlich ihres Fraßdrucks auf die Jungtiere ( $P = 0,234$ ).

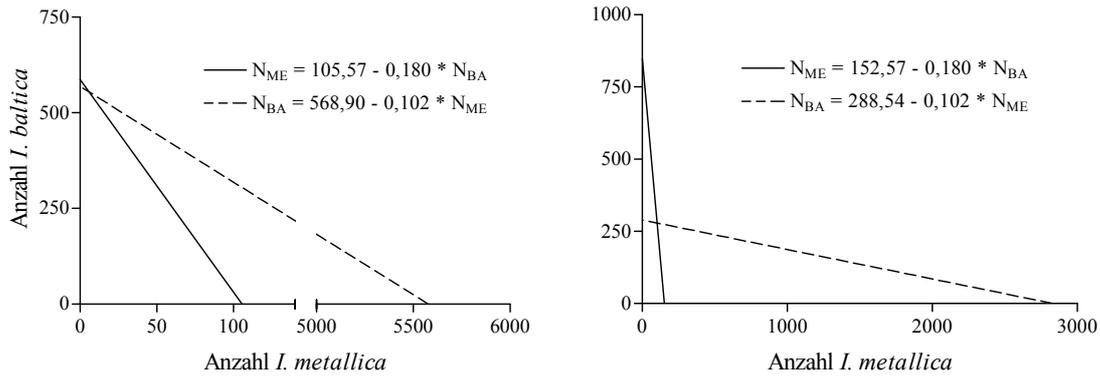
Unter Berücksichtigung der durch intra- und interspezifische Konkurrenz verursachten Juvenilmortalität zeigen die anhand der unter 3.2.1.1 entwickelten Matrizes ermittelten Populationswachstumsraten, dass bei beiden Arten der interspezifische Druck stets höher ist als der intraspezifische (Tab. 21). Die intraspezifische Konkurrenz ist bei *I. metallica* in Abwesenheit von zusätzlicher Nahrung in Form von *Artemia* am höchsten. Am niedrigsten ist der innerartliche Druck bei *I. metallica*, wenn *Artemia* zusätzlich zur Verfügung stehen. Bei *I. baltica* war die intraspezifische Konkurrenz durch das Futterregime nicht beeinflusst. Der interspezifische Konkurrenzdruck auf *I. metallica* war 2,2 Mal (ohne *Artemia*) bzw. 7,0 Mal (mit *Artemia*) höher als der intraspezifische Druck. Für *I. baltica* war der interspezifische Druck 1,1 (mit *Artemia*) bzw. 1,6 (ohne *Artemia*) Mal höher als der intraspezifische. Der interspezifische Druck, den *I. baltica* auf *I. metallica* ausübte, war mit *Artemia* 2,2 und ohne *Artemia* 1,8 Mal höher als der Druck, den *I. metallica* auf *I. baltica* ausübte.

**Tab. 21: Populationswachstumsraten ( $r$ ) von *I. metallica* und *I. baltica* mit und ohne Konkurrenz und die resultierenden Konkurrenzkoeffizienten**

	<i>I. metallica</i>	<i>I. baltica</i>
Mit <i>Artemia</i>		
ohne Konkurrenz	0,330	0,406
intraspezifische Konkurrenz	0,308	0,342
interspezifische Konkurrenz	0,154	0,272
Konkurrenzkoefizienten	$\alpha = 0,154$	$\beta = 0,070$
ohne <i>Artemia</i>		
ohne Konkurrenz	0,330	0,406
intraspezifische Konkurrenz	0,249	0,342
interspezifische Konkurrenz	0,069	0,240
Konkurrenzkoefizienten	$\alpha = 0,180$	$\beta = 0,102$

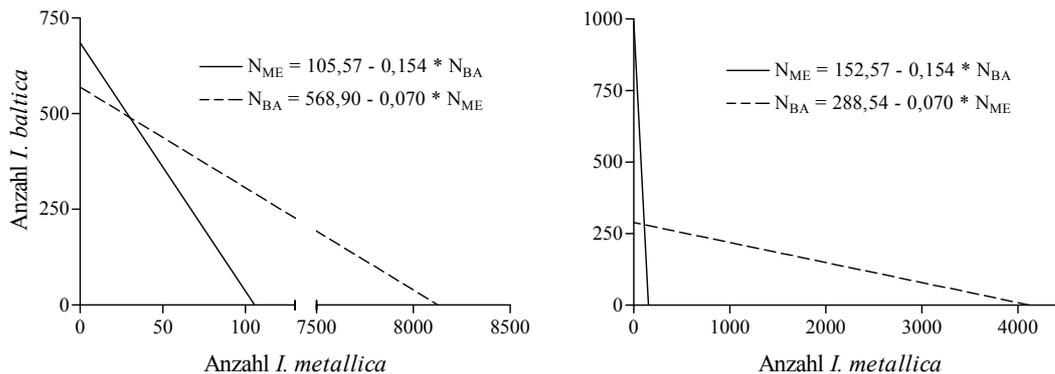
Für die in Abwesenheit von *Artemia* ermittelten Konkurrenzverhältnisse zeigt das Lotka-Volterra-Modell unter Verwendung der unter 3.2.2.1 ermittelten Kapazitäten (16°C, Mischfutter bzw. rein tierische Ernährung) für *I. metallica* und *I. baltica* Dichteverhältnisse auf, bei denen eine Koexistenz der beiden Arten theoretisch möglich ist (Abb. 47). Dieses Verhältnis beträgt unter Mischfutterbedingungen 3,2 *I. metallica* zu 568,6 *I. baltica* und bei rein tierischer Ernährung 102,5 *I. metallica* zu 278,1 *I. baltica*.

## Ergebnisse



**Abb. 47:** Nach dem Lotka-Volterra-Modell ermittelte mögliche Dichteverhältnisse von *I. metallica* zu *I. baltica* bei Mischfutter (links) und rein tierischer Ernährung (rechts) unter Berücksichtigung der intra- und interspezifischen Konkurrenz in Abwesenheit von *Artemia*

Auch bei Anwesenheit von *Artemia* konnten Dichteverhältnisse ermittelt werden, die eine Koexistenz der beiden Arten theoretisch zulassen (Abb. 48). Unter Mischfutterbedingungen beträgt dieses Verhältnis 18,2 *I. metallica* zu 567,6 *I. baltica* und bei rein tierischer Ernährung 109,3 *I. metallica* zu 280,9 *I. baltica*.



**Abb. 48:** Nach dem Lotka-Volterra-Modell ermittelte mögliche Dichteverhältnisse von *I. metallica* zu *I. baltica* bei Mischfutter (links) und rein tierischer Ernährung (rechts) unter Berücksichtigung der intra- und interspezifischen Konkurrenz in Anwesenheit von *Artemia*

### 3.2.3.2 Fraßpräferenz subadulter Weibchen (Material und Methoden 2.3.3.2, S. 25)

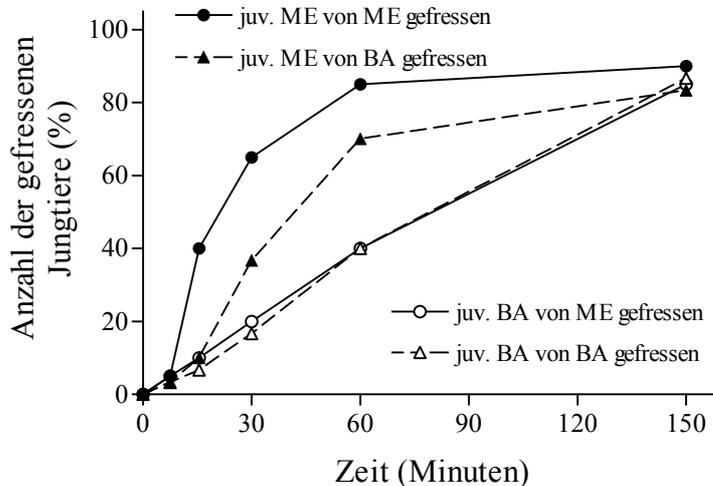
Subadulte Weibchen beider Arten fraßen zu einem hohen Anteil (80 bzw. 85 %) beide Jungtiere, die ihnen angeboten wurden (Tab. 22). Weibchen der Art *I. metallica* fraßen in 75 % aller Fälle das arteigene Jungtier zuerst. Nur 15 % fraßen zuerst das *I. baltica*-Jungtier. Somit konnte eine Zufälligkeit bei der Wahl für *I. metallica* nicht ausgeschlossen werden ( $P = 0,075$ ). Auch *I. baltica*-Weibchen töteten in rund 47 % der Fälle zunächst das *I. metallica*-Jungtier. Ungefähr 27 % der Weibchen fraßen zuerst das

arteigene Jungtier. Die Wahl des zuerst gefressenen Jungtieres war somit auch für *I. baltica* zufällig ( $P = 0,543$ ).

**Tab. 22: Fraß der Jungtiere durch arteigene und artfremde subadulte Weibchen in absoluten Werte und als Prozentwerte (in Klammern) (ME = *I. metallica*, BA = *I. baltica*)**

	<i>I. metallica</i>	<i>I. baltica</i>
Parallelen	20	30
beide gefressen	17 (85)	24 (80)
keines gefressen	2 (10)	3 (10)
ME zuerst gefressen	15 (75)	14 (46,7)
BA zuerst gefressen	3 (15)	8 (26,7)
beide im selben Zeitintervall gefressen	0 (0)	5 (16,7)

Abbildung 49 zeigt deutlich, dass von beiden Arten in der ersten Stunde des Experiments bevorzugt das *I. metallica*-Jungtier gefressen wurde. Nach 60 Minuten waren fast alle *I. metallica*-Jungtiere gefressen worden, so dass in der Folge überwiegend *I. baltica*-Jungtiere attackiert wurden. Am Ende der Versuchsdauer waren die Jungtiere beider Arten gleichermaßen reduziert.

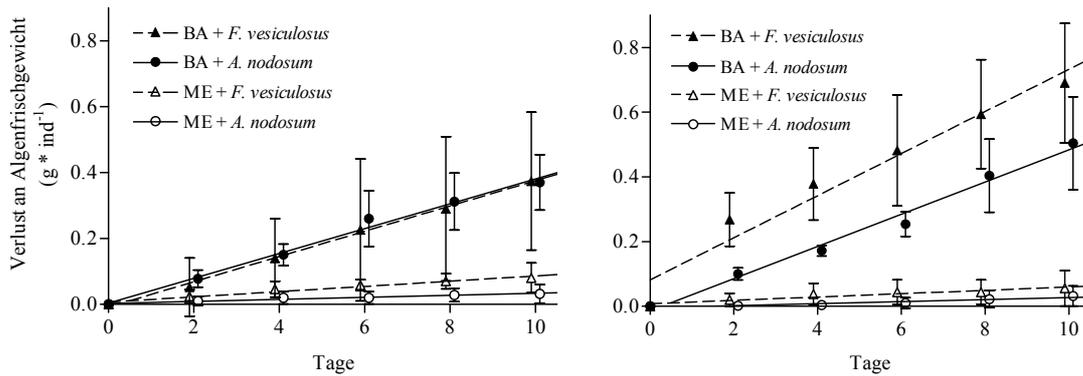


**Abb. 49: Anteil der Jungtiere, die nach 7,5; 15; 30; 60 und 150 Minuten von arteigenen bzw. artfremden subadulten Weibchen gefressen wurden (ME = *I. metallica*, BA = *I. baltica*)**

### 3.2.4 Zerstörung pflanzlicher Habitats (Material und Methoden 2.3.4, S. 26)

Beide Arten reduzierten das Algenfrischgewicht signifikant ( $P$  jeweils  $< 0,01$ ). Die 3-faktorielle Varianzanalyse zum Vergleich der Steigungen der Geraden in Abb. 50 zeigt, dass *I. baltica* die Algen schneller zerstörte als *I. metallica* (Tab. 23). Bei beiden

Isopodenarten war die Rate der Habitatzerstörung unabhängig von der Algenart. Die Fraßaktivität an den Algen war bei *I. metallica* unabhängig von der Anwesenheit zusätzlicher Nahrung in Form von *Artemia*. *Idotea baltica* hingegen fraß bei Abwesenheit von *Artemia* mehr Algenmaterial als ohne *Artemia*. *Idotea baltica* reduzierte das Algenfrischgewicht in Anwesenheit von *Artemia* sechsmal schneller als *I. metallica* (*I. metallica*:  $0,006 \pm 0,004 \text{ g} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ ; *I. baltica*:  $0,038 \pm 0,016 \text{ g} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ ) und 14 Mal schneller in Abwesenheit von *Artemia* (*I. metallica*:  $0,004 \pm 0,004 \text{ g} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ ; *I. baltica*:  $0,057 \pm 0,018 \text{ g} \cdot \text{Ind.}^{-1} \cdot \text{Tag}^{-1}$ ).



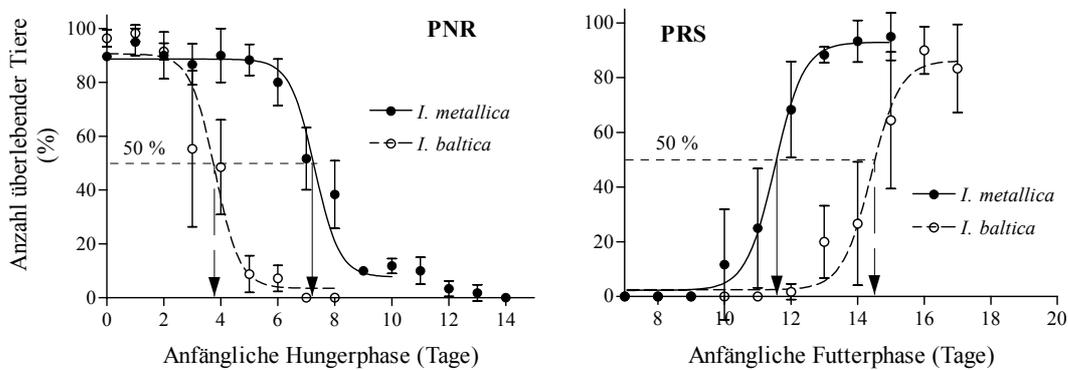
**Abb. 50: Kumulativer Verlust an Algenfrischgewicht durch Fraß bei Anwesenheit (links) und bei Abwesenheit (rechts) von *Artemia* (ME = *I. metallica*, BA = *I. baltica*).**

**Tab. 23: Ergebnisse der 3-faktoriellen Varianzanalyse zum Vergleich der Steigungen der Geraden in Abb. 50**

Behandlung	FG	SS	MS	F	P-Wert
a) Haupteffekte					
Faktor 1 (Isopodenart)	1	0,0185	0,0185	123,907	< 0,001
Faktor 2 (Algenart)	1	0,0003	0,0003	1,954	0,172
Faktor 3 (An- / Abwesenheit von <i>Artemia</i> )	1	0,0008	0,0008	5,308	0,028
b) Interaktionen 1. Ordnung					
Faktoren 1 x 2	1	0,0000	0,0000	0,268	0,608
Faktoren 1 x 3	1	0,0010	0,0011	7,109	0,012
Faktoren 2 x 3	1	0,0001	0,0001	0,564	0,458
c) Interaktionen 2. Ordnung					
Faktoren 1 x 2 x 3	1	0,0002	0,0002	1,357	0,253
Residuen (Fehler)	32	0,0048	0,0002		
Gesamt	39	0,0257	0,0007		

### 3.2.5 Hungerresistenz der Jungtiere: Point-of-no-return (PNR) und Point-of-reserve-saturation (PRS) (Material und Methoden 2.3.5, S. 26)

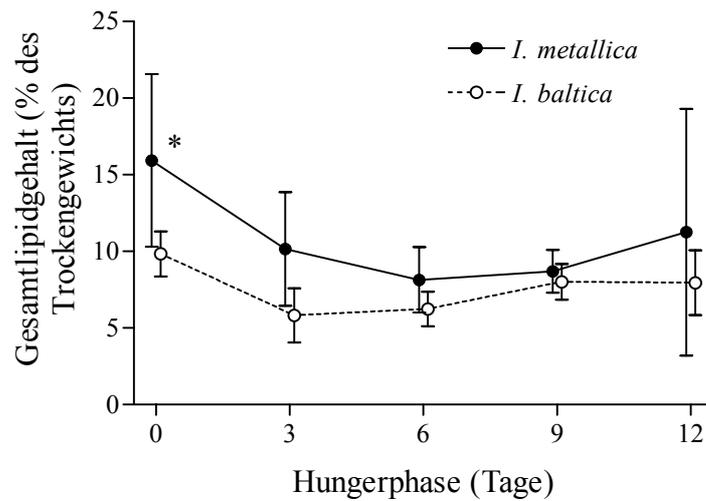
*Idotea metallica* Jungtiere zeigten eine höhere Resistenz gegen Hunger als *I. baltica* Jungtiere. *Idotea metallica* überlebte anfängliche Hungerphasen länger als *I. baltica* (Abb. 51). Der PNR<sub>50</sub> betrug für *I. metallica*  $7,28 \pm 0,09$  Tage und für *I. baltica*  $3,74 \pm 0,54$  Tage. Dieser Unterschied war statistisch signifikant ( $P = 0,001$ ). Auch benötigte *I. metallica* eine kürzere anfängliche Futterphase, um bis zur 3. Häutung zu überleben. Der PRS<sub>50</sub> betrug für *I. metallica*  $11,43 \pm 0,66$  Tage und für *I. baltica*  $14,08 \pm 0,86$  Tage ( $P = 0,013$ ).



**Abb. 51: Durchschnittliche Überlebensrate frischgeborener *I. metallica* und *I. baltica* nach unterschiedlich langen anfänglichen Hunger- (PNR) und Futterphasen (PRS) [senkrechte Pfeile markieren PNR<sub>50</sub> bzw. PRS<sub>50</sub> für *I. metallica* (durchgezogen) und *I. baltica* (gestrichelt)]**

### 3.2.6 Lipidgehalt nach Hungern (Material und Methoden 2.3.6, S. 27)

*Idotea metallica* und *I. baltica* unterschieden sich hinsichtlich ihres Gesamtlipidgehaltes (Tab. 24). *I. metallica*, die nicht gehungert hatten, wiesen einen deutlich höheren Lipidgehalt auf als Tiere, die gehungert hatten. Nach drei Tagen Hungern blieb der Lipidgehalt bei *I. metallica* konstant. Bei *I. baltica* änderte sich der Gesamtlipidgehalt der Tiere durch das Hungern nicht (Abb. 52). Der anfänglich leicht höhere Lipidgehalt war statistisch nicht signifikant. *Idotea metallica*, die nicht gehungert hatten, wiesen einen höheren Gesamtlipidgehalt auf als alle anderen Gruppen.



**Abb. 52:** Gesamtlipidgehalt adulter Männchen nach unterschiedlich langen Phasen des Hungerns (Stern markiert statistisch signifikant herausragenden Wert)

**Tab. 24:** Ergebnisse der 2-faktoriellen Varianzanalyse zum Vergleich des Lipidgehalts von *I. metallica* und *I. baltica* nach unterschiedlich langen Phasen des Hungerns

Behandlung	FG	SS	MS	F	P-Wert
Faktor 1 (Art)	1	173,6	173,6	12,2	0,001
Faktor 2 (Länge der Hungerphase)	4	284,0	71,0	5,0	0,002
Interaktion	4	59,0	14,8	1,0	0,398
Residuen (Fehler)	58	828,9	14,3		
Gesamt	67	1345,5	20,1		