

# Insekten – Nährstoffe und wertgebende Inhaltsstoffe

**Birgit Rumpold, Sara Bußler, Oliver Schlüter**

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (ATB)  
Qualität und Sicherheit von Lebens- und Futtermitteln  
Max-Eyth-Allee 100  
14469 Potsdam

Kontakt: [osclueter@atb-potsdam.de](mailto:osclueter@atb-potsdam.de)

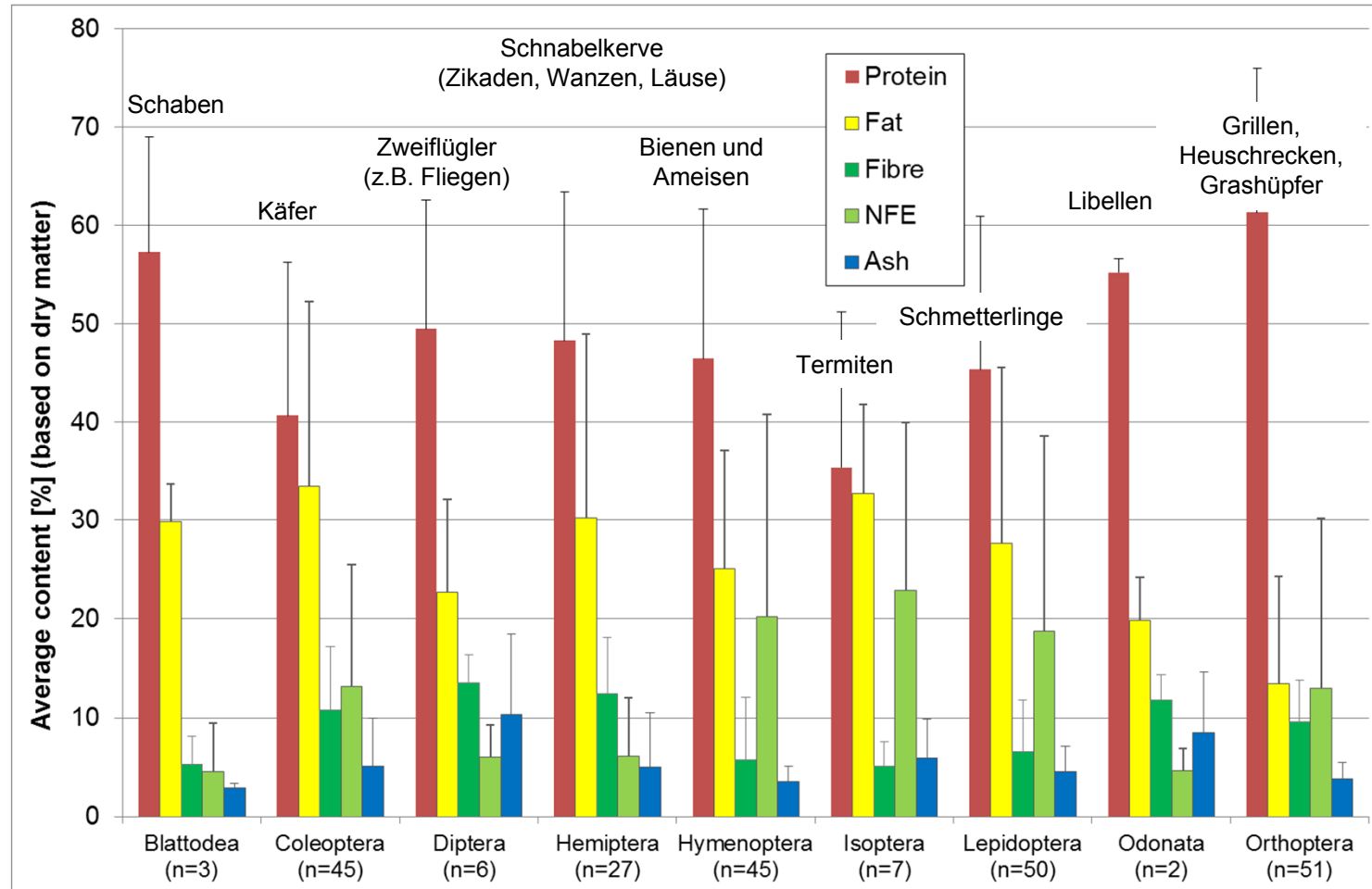
- Verzehrt von mehr als 2 Milliarden Menschen weltweit
- > 2.000 verzehrte Spezies
- Konversion und Aufwertung organischer Reststoffe
- Mehrheit wird in der Wildnis gesammelt
  - Aufzucht im industriellen Maßstab
  - Rechtliche Rahmenbedingungen
  - Konsumentenakzeptanz
- nährstoffreich...



(Quelle: van Huis et al., 2013)

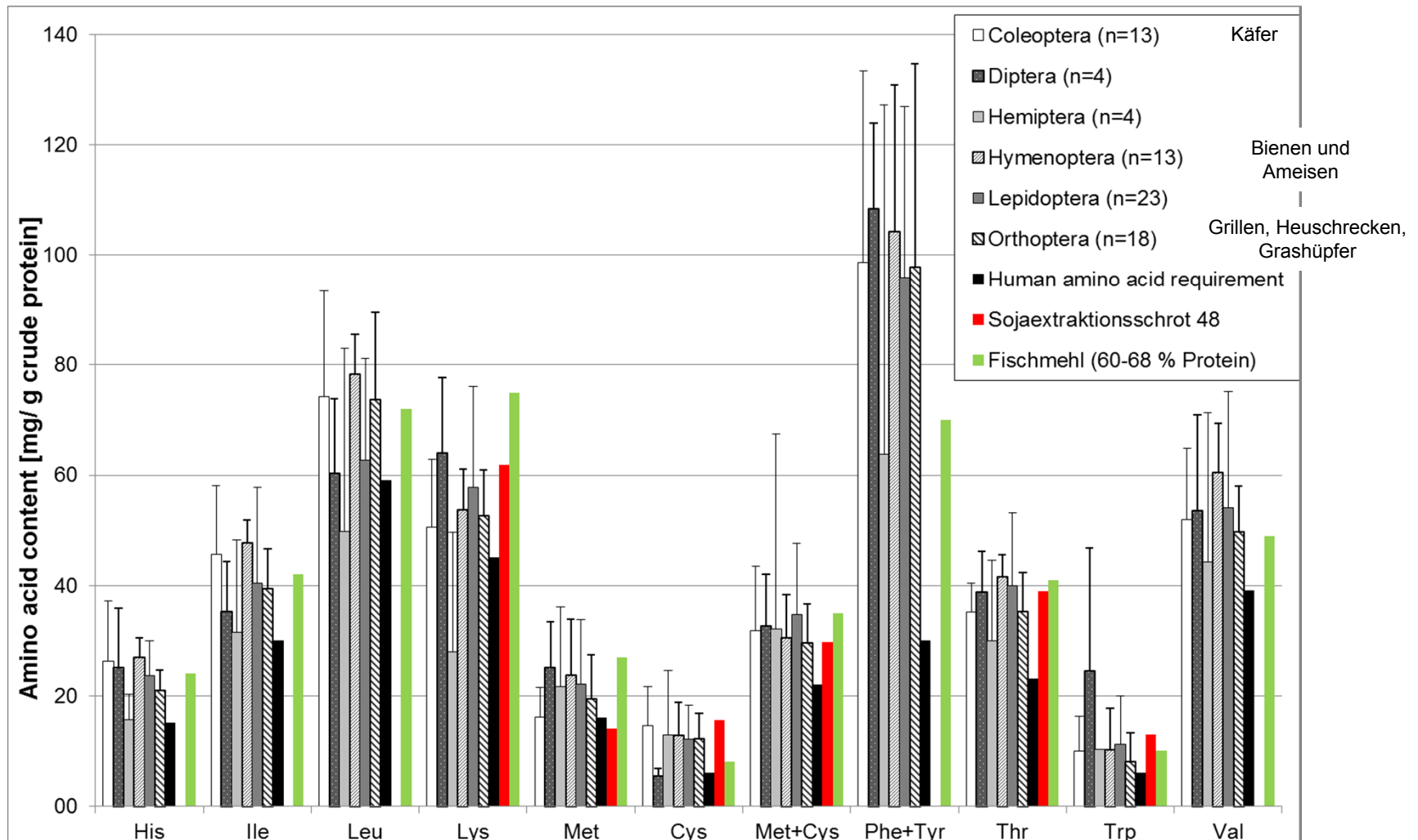


# Durchschnittliche Zusammensetzung verzehrter Insekten



(n = Datenmenge; NFE – nitrogen-free extract (Kohlenhydrate);  
bezogen auf Trockenmasse; Quelle: Rumpold & Schlüter 2013 (angepasst))





(Quellen: Rumpold & Schlüter, 2013, n = Datenmenge, Human amino acid requirement: WHO; Sojaschrot 48: [www.feed-alp.admin.ch/fmkatalog](http://www.feed-alp.admin.ch/fmkatalog); Fischmehl: [feedipedia.org](http://feedipedia.org))



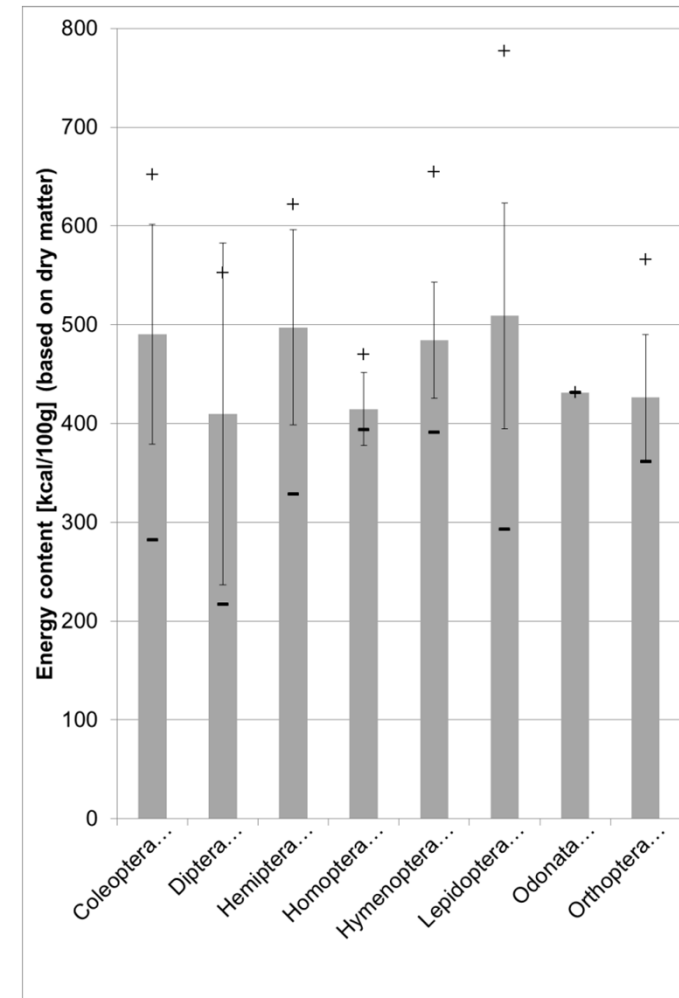
# Energiegehalte im Vergleich

## 2. Nährstoffprofile

**Table 2.** Energy produced by various orders of edible insects of Mexico (525 species analyzed) compared with conventional food products (dry matter)

Order	Number of species analyzed	kcal/100 g.
Ephemeroptera	4	354–355
Odonata	6	431–520
Orthoptera	88	336–438
Isoptera	3	347–508
Hemiptera	90	329–629
Homoptera	38	394–469
Megaloptera	2	332–366
Coleoptera	124	283–653
Lepidoptera	45	293–777
Diptera	15	217–499
Hymenoptera	110	380–561
<b>Conventional food products</b>		
Cereals		330–370
Vegetables		308–352
Legumes		388–421
Meats		165–705

Modified from Ramos-Elorduy, 2005 \* FAOSTAT 2005.



Mean energy content of insect orders as derived from literature.



<b>Fatty acid composition</b> [% fatty acids]	<b>SFA</b>	<b>MUFA</b>	<b>PUFA</b>	<b>SFA/UFA</b>
Coleoptera (n=16)	40.15	35.68	26.27	0.65
Diptera (n=2)	34.65	43.29	16.72	0.58
Hemiptera (n=3)	38.44	33.67	28.55	0.62
Hymenoptera (n=6)	28.00	46.64	25.43	0.39
Isoptera (n=4)	41.97	22.00	36.04	0.72
Lepidoptera (n=15)	37.58	22.39	40.42	0.60
Orthoptera (n=4)	28.83	22.92	47.22	0.41
Sojamehl (22.2% Fett)	14.69	25.59	59.72	0.17

SFA – gesättigte Fettsäuren  
 MUFA – einfach ungesättigte Fettsäuren  
 PUFA – mehrfach ungesättigte Fettsäuren  
 UFA - ungesättigte Fettsäuren



(Data derived from literature, to be published: Rumpold & Schlüter 2013; [www.foodcomp.dk](http://www.foodcomp.dk)  
 n = Data amount)



% lipid fraction	fat [% d.m.]	C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	SFA	C16:1n7	C18:1n7	C18:1n9	MUFA	C18:2n6	C18:3n3/6	PUFA
<b>Lepidoptera (butterflies, moths)</b>													
<i>Galleria mellonella</i> (larvae of waxmoth)	60.0		0.2	32.0	1.4	<b>33.6</b>	2.0		49.8	<b>49.8</b>	6.1	0.4	<b>6.5</b>
<i>Bombyx mori</i> (silkworm larvae)	8.9		<2.1	12.1	8.6	<b>23.4</b>	0.7		22.9	<b>22.9</b>	25.0	10.0	<b>35.0</b>
<b>Orthoptera (crickets, locusts)</b>													
<i>Acheta domesticus</i> (nymphs)	14.4		0.6	18.5	8.8	<b>28.8</b>	0.9		19.4	<b>19.4</b>	33.3	1.2	<b>34.5</b>
<i>Acheta domesticus</i> (adult crickets)	22.1		0.6	22.9	8.5	<b>32.6</b>	1.3		22.6	<b>22.6</b>	33.7	0.9	<b>34.6</b>
<b>Coleoptera (beetles)</b>													
<i>Tenebrio molitor</i> (mealworm larvae)	35.2		2.2	17.1	2.9	<b>22.4</b>	2.6		40.2	<b>42.8</b>	26.0	1.0	<b>27.0</b>
<b>Diptera (flies)</b>													
<i>Hermetia illucens</i> (fly larvae)	18.0	43.4	7.9	13.2	2.8	<b>67.1</b>	2.3	0.0	14.6	<b>16.9</b>	15.2	0.0	<b>15.9</b>
<i>Hermetia illucens</i> (fly pupae)	15.6	0.0	2.4	16.6	43.5	<b>65.8</b>	2.2	30.4	0.0	<b>32.6</b>	0.0	1.1	<b>1.1</b>
<i>Musca domestica</i> (fly larvae)	31.3	0.0	2.4	23.1	7.2	<b>32.6</b>	15.1	0.3	37.1	<b>52.7</b>	6.5	2.0	<b>7.6</b>
<b>feed stuff</b>													
soymeal	3.0	4.1	0.0	15.1	4.8	<b>24.0</b>	0.0	0.8	14.3	<b>15.1</b>	48.5	6.9	<b>55.4</b>
fishmeal	8.2	0.0	7.9	23.0	5.3	<b>36.1</b>	7.9	4.0	8.4	<b>20.6</b>	1.1	0.2	<b>37.3</b>

Fischmehl enthält ferner:

14,1 % Eicosapentaensäure (EPA; C20:5n3)

16,1 % Docosahexaensäure (DHA; C22:6n3)

C12:0 – Laurinsäure, C14:0 – Myristinsäure, **C16:0 – Palmitinsäure**, C18:0 – Stearinsäure,

**C18:1n9 – Ölsäure**, **C18:2n6 – Linolsäure**, C18:3n3/6 - Linolensäure

SFA – gesättigte Fettsäuren, MUFA – einfach ungesättigte Fettsäuren,

PUFA – mehrfach ungesättigte Fettsäuren

(Quellen: Barroso 2014, Rumpold & Schlüter, 2013)



- Hohe Schwankungen
- Gehalte abhängig von Spezies
- Gehalte abhängig vom Substrat
- Ergebnisse einer Literaturstudie:
  - Reich an Kupfer, Eisen, Magnesium, Mangan, Phosphor, Selen und Zink
  - Reich an Riboflavin, Pantothensäure, Biotin und in einigen Fällen Folsäure
  - Nicht alle Insektenspezies enthalten Vitamin B12 (Cobalamin, charakteristisch für tier. Produkte)



(Sources: Wkayama et al. 1994, Rumpold & Schlüter 2013)



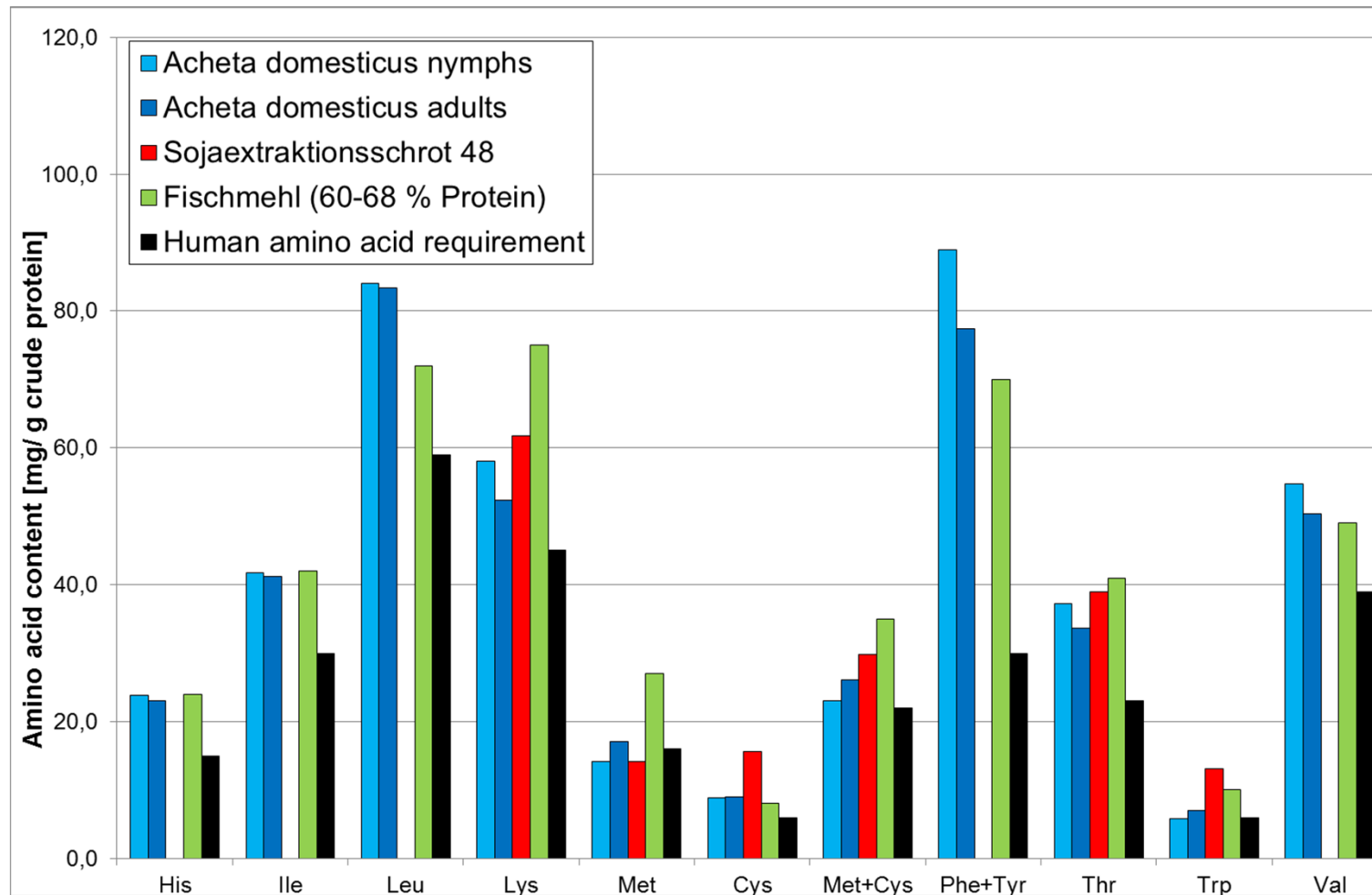
**Table 1. Insects offered for human consumption on the Belgian market (in 2011) and which are discussed in the present advice**

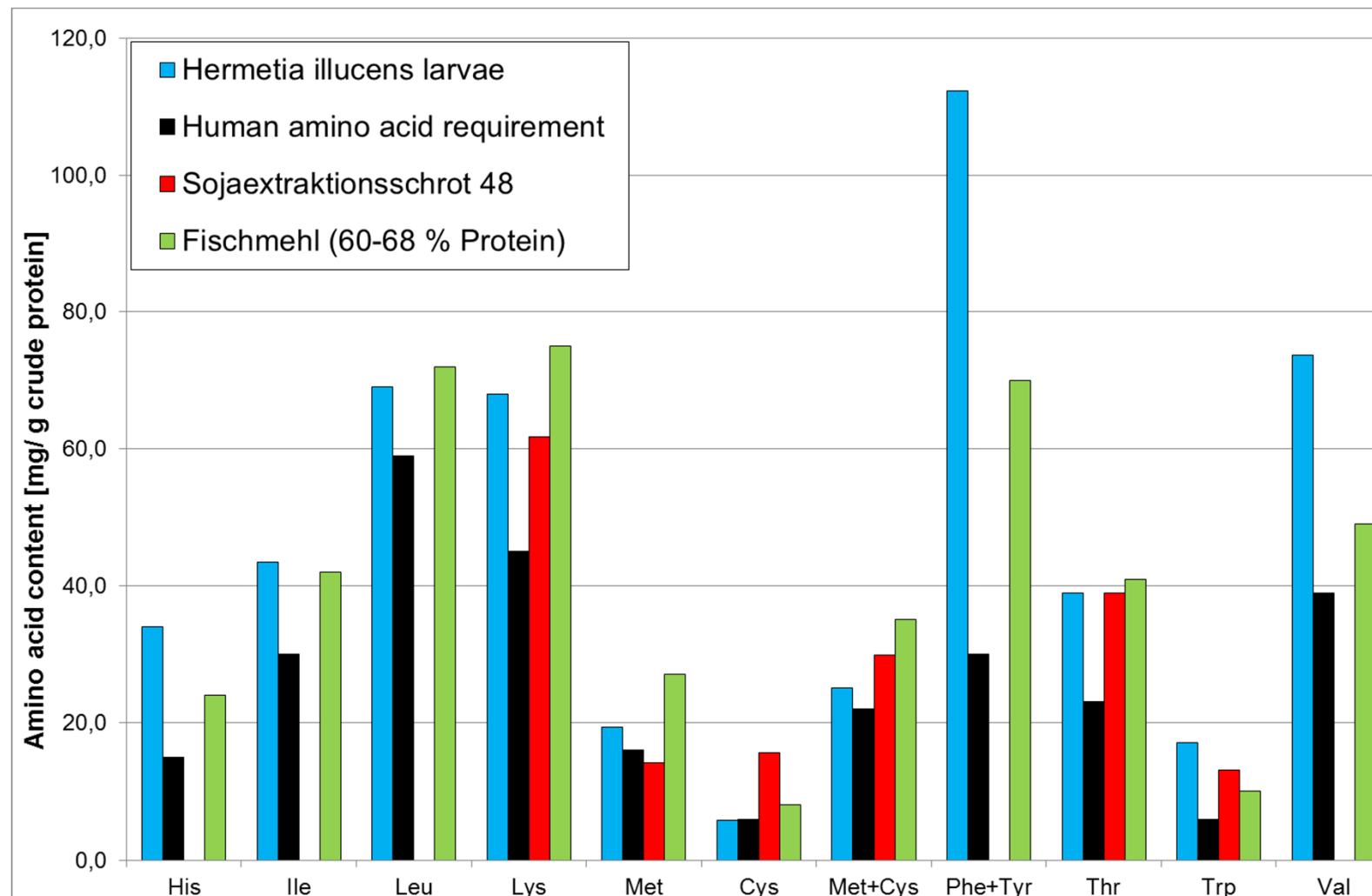
Latin name	English name	Stage of development at the time of consumption**
<i>Acheta domesticus</i>	house cricket	adult (imago)
<i>Achroia grisella</i>	lesser wax moth > wax moth worm	caterpillar
<i>Alphitobius diaperinus</i>	litter beetle*** > lesser mealworm	larva
<i>Alphitobius laevigatua</i>	buffalo worm > lesser mealworm	larva
<i>Bombyx mori</i>	Silkmoth > silkworm	pupa (without cocoon) & caterpillar
<i>Galleria mellonella</i>	greater wax moth > waxworm	caterpillar
<i>Gryllodes sigillatus</i>	banded cricket	adult (imago)
<i>Gryllus assimilis</i>	field cricket	adult (imago)
<i>Locusta migratoria</i>	African migratory locust	larva & adult (nymph & imago)
<i>Schistocerca americana</i>	American desert locust	adult
<i>Tenebrio molitor</i>	yellow meal beetle > yellow mealworm	larva
<i>Zophobas atratus</i>	morio beetle -> morio worm (Eng.: 'superworm')	larva

With the exception of *Alphitobius laevigatua* and *Gryllus assimilis*, marketing these insects is tolerated in Belgium pending European legislation.

\*\* Note however, that it is sometimes difficult to make a distinction between the larvae of the *Alphitobius laevigatua* and the *Alphitobius diaperinus* and between the nymphs of the *Gryllus assimilis* and the *Gryllodes sigillatus*.

\*\*\* Next to lesser mealworm, the larva of the litter beetle is often (wrongly) referred to as buffalo worm (NWWA, 2012).





(Quellen: Finke, 2012, Human amino acid requirement: WHO;  
Sojaschrot 48: [www.feed-alp.admin.ch/fmkatalog](http://www.feed-alp.admin.ch/fmkatalog); Fischmehl: [feedipedia.org](http://feedipedia.org))

### Potenziäle

- Ausgewogenes Aminosäurespektrum
- Verwertbare Fettsäurezusammensetzung, Gehalt an wichtigen Vitaminen und Mineralien
- Alternative zu Fischmehl und Soja im Futtermittelbereich
- Alternative Proteinquelle für Humanernährung

### Herausforderungen

- Auswahl zum Verzehr günstiger Insektenarten aufgrund ihrer nutritiven Eigenschaften
- Erforschung des Einflusses der Aufzucht auf Fettsäurespektren und Inhaltsstoffzusammensetzungen
- Steuerung der Inhaltstoffprofile mittels Zuchtsubstrat ( $\omega$ 6-FS)
- Ausschluss antinutritiver / toxischer Inhaltsstoffe



- Antinutritiva
- Toxisches Potenzial (Produktion, Akkumulation pflanzl. Toxine, Pestizide, Schwermetalle, Mykotoxine)
- Allergenes Potenzial (z.B. Tropomyosin)
- Zoonoserisiko (Insekten fungieren als Vektoren)
- Mikrobielle Sicherheit (Pathogene, Sporen, Darmflora und Besiedlung an der Oberfläche)

 Kontrollierte Aufzuchtbedingungen (Substrat, Zucht, Personal) und sichere und effektive Verarbeitung, Dekontamination und Lagerung erforderlich

# Die AG „Lebensmitteltechnologie und –sicherheit“ der DFG-Senatskommission zur gesundheitlichen Bewertung von Lebensmitteln (SKLM)

## **Sicherheitsaspekte bei der Herstellung von Lebensmitteln und Lebensmittelinhaltsstoffen aus Insekten**

1. Einleitung
2. Technologische Aspekte bei der Nutzung von Insekten zur Gewinnung von Fraktionen und Inhaltsstoffen (Proteine, Enzyme, Lipide, Polysaccharide, andere Komponenten))
3. Sicherheitskriterien (mikrobielle und chemische/toxikologische Aspekte, allergenes Potenzial)
4. Lebensmittelrechtliche Aspekte
5. Schlussfolgerungen
6. Forschungsbedarf
7. Literatur

## ANHANG

[http://www.dfg.de/download/pdf/dfg\\_im\\_profil/reden\\_stellungnahmen/2016/160222\\_stellungnahme\\_sklm.pdf](http://www.dfg.de/download/pdf/dfg_im_profil/reden_stellungnahmen/2016/160222_stellungnahme_sklm.pdf)



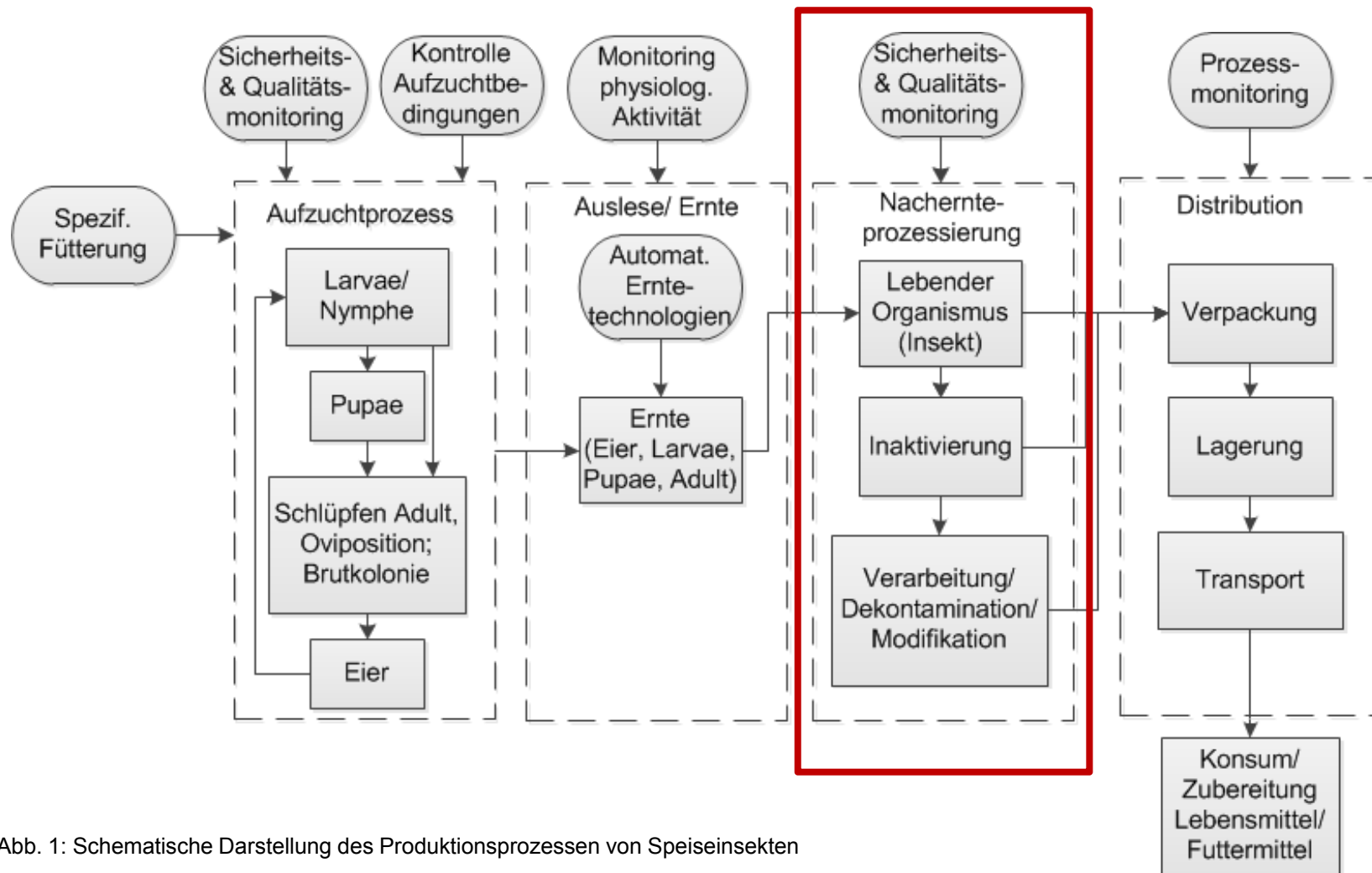


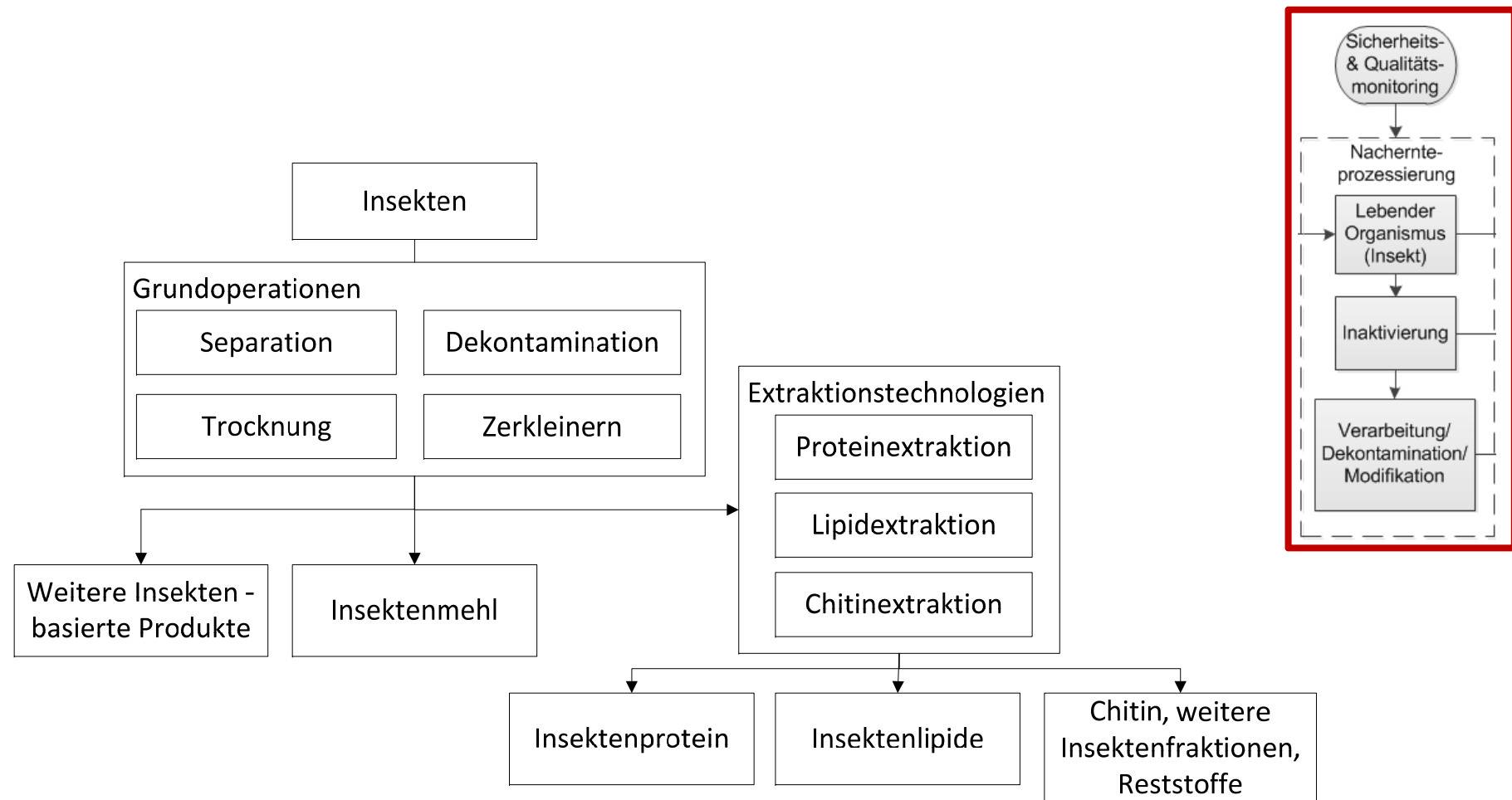
Abb. 1: Schematische Darstellung des Produktionsprozessen von Speiseinsekten

Rumpold, B.; Schlüter, O.(2013): Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 17 (1): 1-11.



# Grundoperationen in Prozesspfaden zur Produktion insektenbasierter Produkte und Fraktionen

## 4. Verarbeitung





# Gewinnung von Mehlen aus Speiseinsekten:

Mehlwurm (*Tenebrio molitor*) und Schwarze Soldatenfliege (*Hermetia illucens*)

- Separation der Larven vom Substrat (Sieben)
- Möglichst schonende Tötung der Larven
- Vermeidung thermischer Effekte während der Prozessierung



Abb. 1: Larven von *T. molitor* (oben) und *H. illucens* (unten).

1. Gefrieren (-20 °C)
2. Zugabe von DI Wasser (1:1 v/v)
3. Pürieren (4 °C)

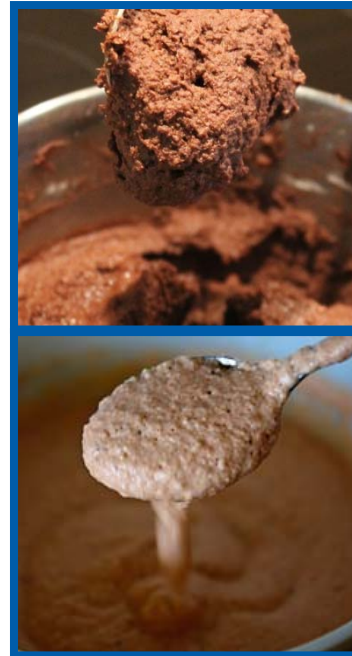


Abb. 2: Pürierte Insektenlarven-Wasser-Slurrys (*T. molitor* (oben) und *H. illucens* (unten)).

1. Gefrieren (-80 °C)
2. Gefriertrocknen
3. Vermahlung
4. Entrettung mit Hexan



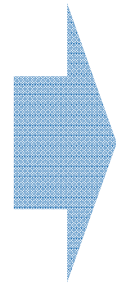
Abb. 3: Enfettete Mehle der Larven von *T. molitor* (oben) und *H. illucens* (unten).

- Einfluss der Prozessierung auf native Insektenproteine?



# Nasstechnische Proteingewinnung ohne Entfettung: Einfluss des pH-Wertes des Extraktionsmittels

- Extreme pH-Werte
  - Ladungsveränderungen
  - Beeinträchtigung der Proteinfaltung
  - Denaturierung des Proteins
  - Beeinflussung der Löslichkeit



- Wässrige Extraktion löslicher Proteine
- Extraktionsverhältnis 1: 25 (w/v)
- Einstellung/Regulierung des pH über HCl und NaOH
- Quantifizierung spektrophotometrisch via Biuret-Methode

- Typischer U- bzw. V-förmiger Verlauf der Löslichkeitskurven
- Maximale Ausbeuten:

*T. molitor*:

70 % (pH 10)

*H. illucens*:

45 % (pH 12)

- **Isoelektrischer Punkt** (IP) im Bereich um pH 4

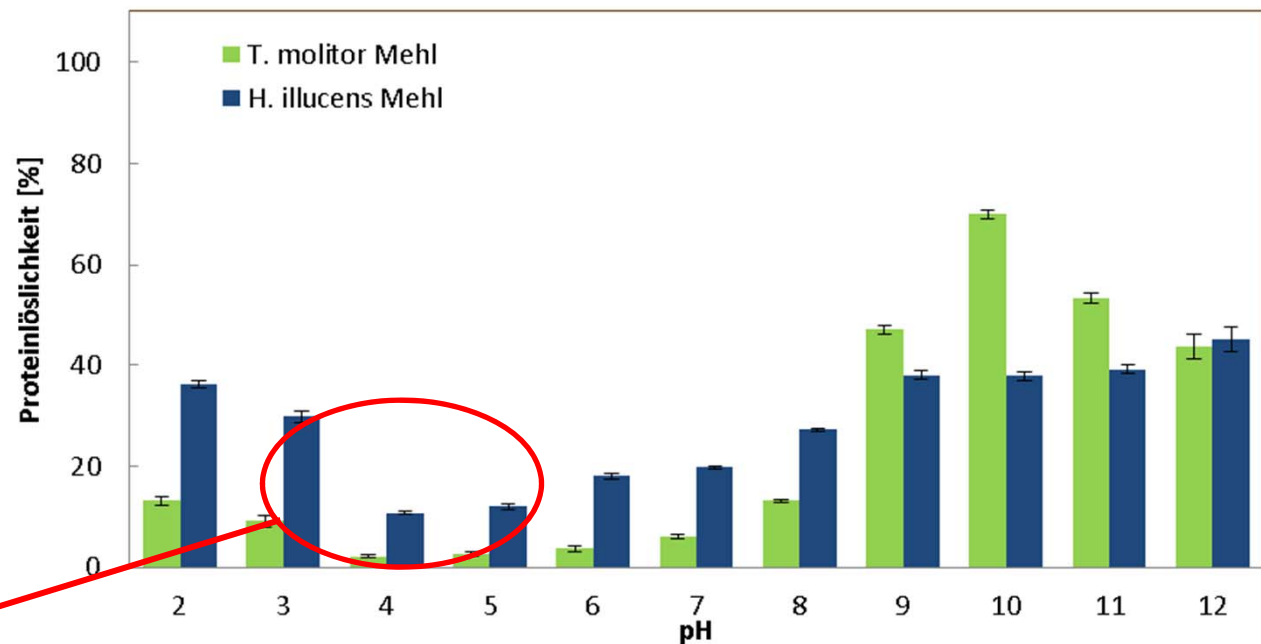


Abb. 1: Einfluss des pH-Wertes des Extraktionsmittels auf die Proteinausbeute bei der nasstechnischen Gewinnung löslicher Insektenproteine aus *T. molitor* und *H. illucens*.



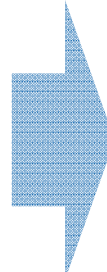
# Nasstechnische Proteingewinnung ohne Entfettung:

## Einfluss der Extraktionstemperatur

- Temperaturerhöhung während der Extraktion

→ Änderung der Proteinfaltung  
 → Denaturierung des Proteins  
 → Beeinflussung der Löslichkeit:

Verbesserung  $T < 60^\circ < T$  Verschlechterung



- Wässrige Extraktion löslicher Proteine
- Extraktionsverhältnis 1: 25 (w/v)
- Temperiertes H<sub>2</sub>O + Temperaturregulierung während der Extraktion
- Quantifizierung spektrophotometrisch via Biuret-Methode

- Typischer Verlauf der Löslichkeitskurven
- Geringer Einfluss auf Proteinausbeuten:

*T. molitor* / *H. illucens*:

Ausbeutesteigerung

$T \leq 60^\circ\text{C}$

Ausbeuteverringering

$T > 60^\circ\text{C}$

- **Temperaturoptimum**

im Bereich um  $60^\circ\text{C}$

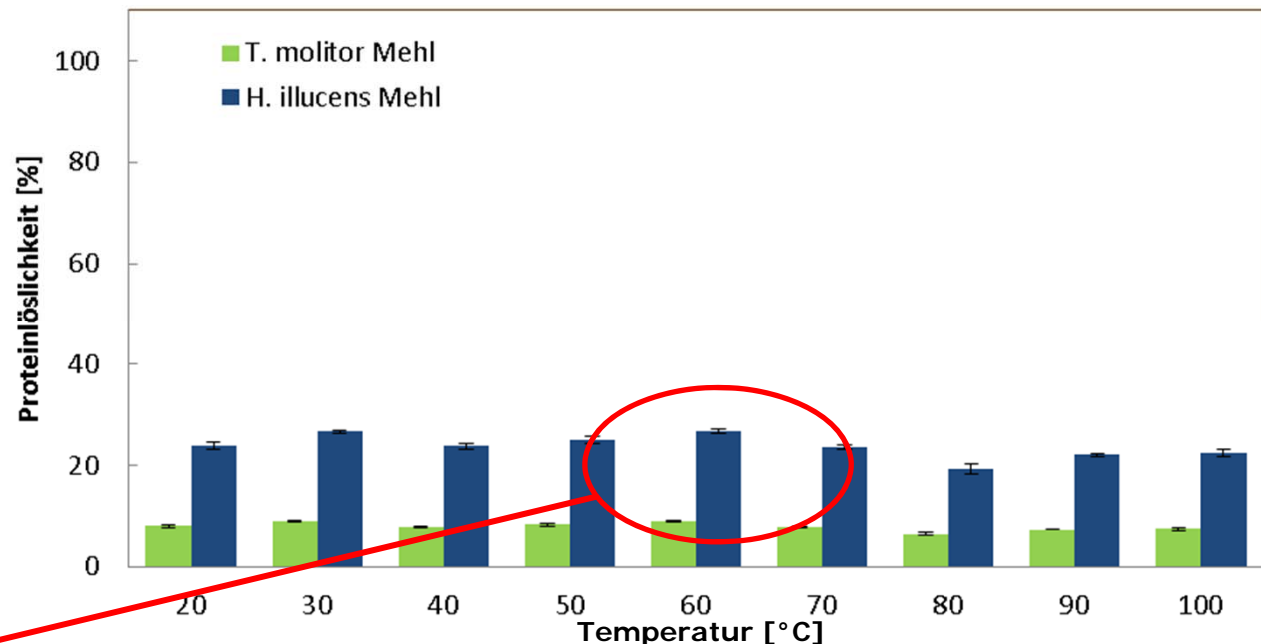


Abb. 1: Einfluss der Extraktionstemperatur auf die Proteinausbeute bei der nasstechnischen Gewinnung löslicher Insektenproteine aus *T. molitor* und *H. illucens*.



# Gewinnung entfetteter Mehle aus Speiseinsekten:

Mehlwurm (*Tenebrio molitor*) und Schwarze Soldatenfliegen (*Hermetia illucens*)

- Separation der Larven vom Substrat (Sieben)
- Möglichst schonende Tötung der Larven
- Vermeidung thermischer Effekte während der Prozessierung



Abb. 1: Larven von *T. molitor* (oben) und *H. illucens* (unten).

1. Gefrieren (-20 °C)
2. Zugabe von DI Wasser (1:1 v/v)
3. Pürieren (4 °C)

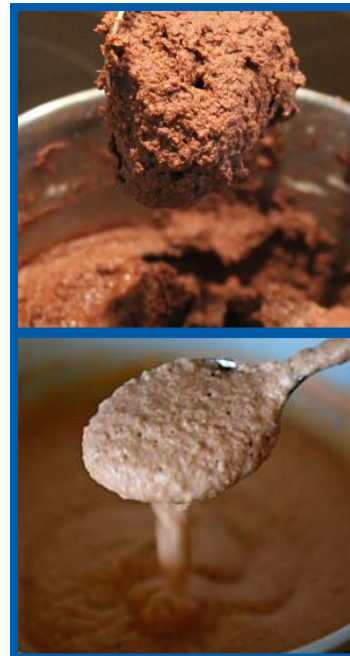


Abb. 2: Pürierte Insektenlarven-Wasser-Slurries (*T. molitor* (oben) und *H. illucens* (unten)).

1. Gefrieren (-80 °C)
2. Gefriertrocknen
3. Vermahlung
4. Entfettung mit Hexan



Abb. 3: Entfettete Mehle der Larven von *T. molitor* (oben) und *H. illucens* (unten).

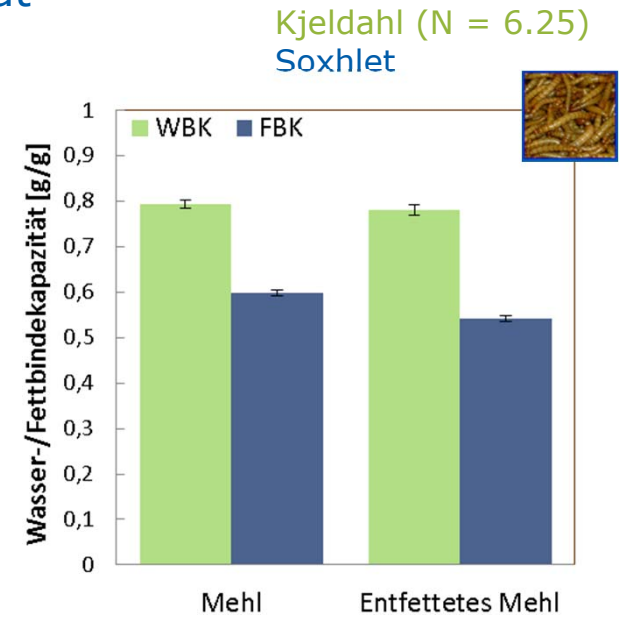
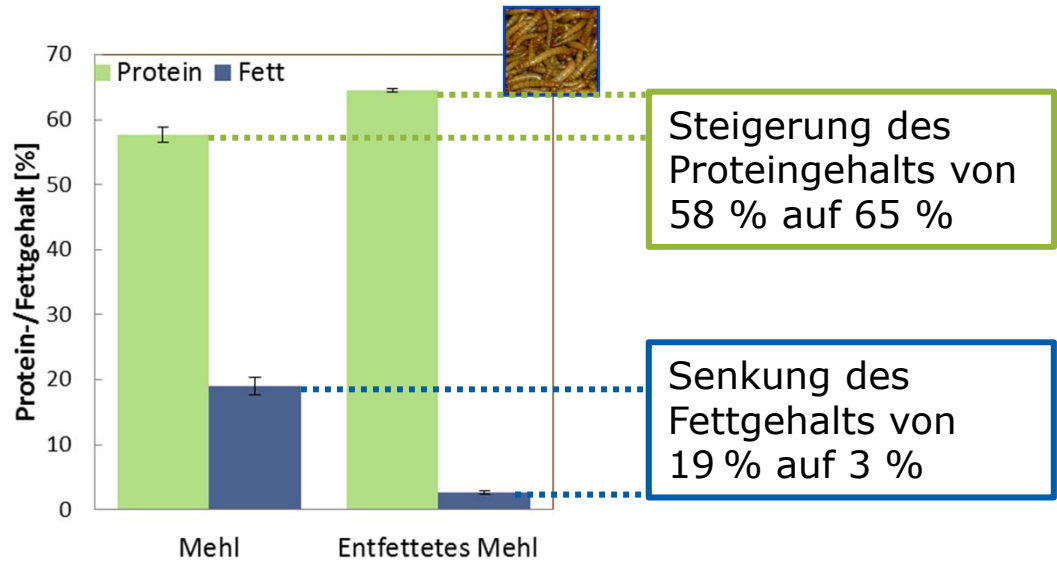
- Einfluss der Prozessierung auf native Insektenproteine?



# Entfettung der Insektenmehle:

Einfluss auf Fett-/Proteingehalte und Technofunktionalität

*T. molitor*



*H. illucens*

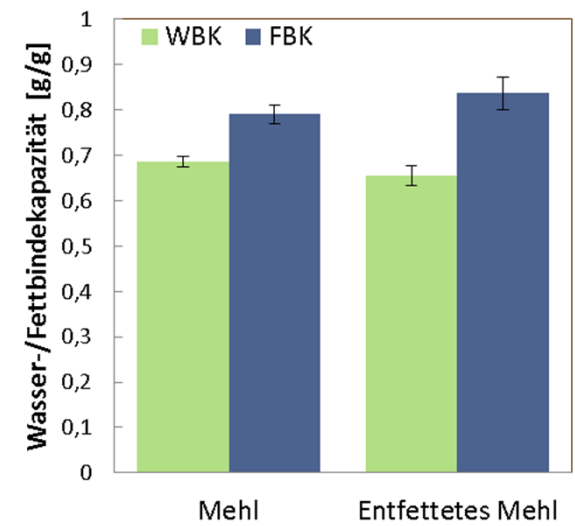
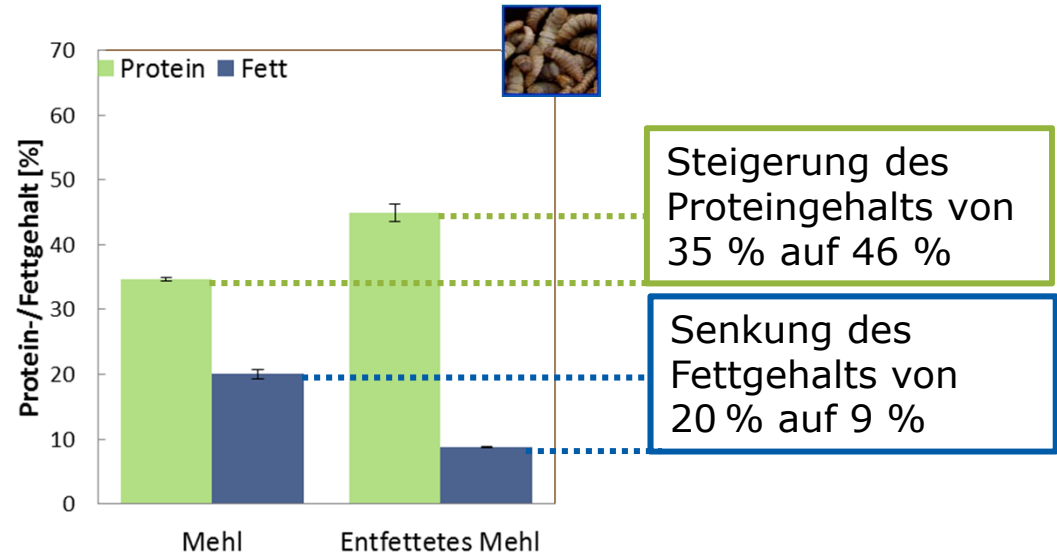
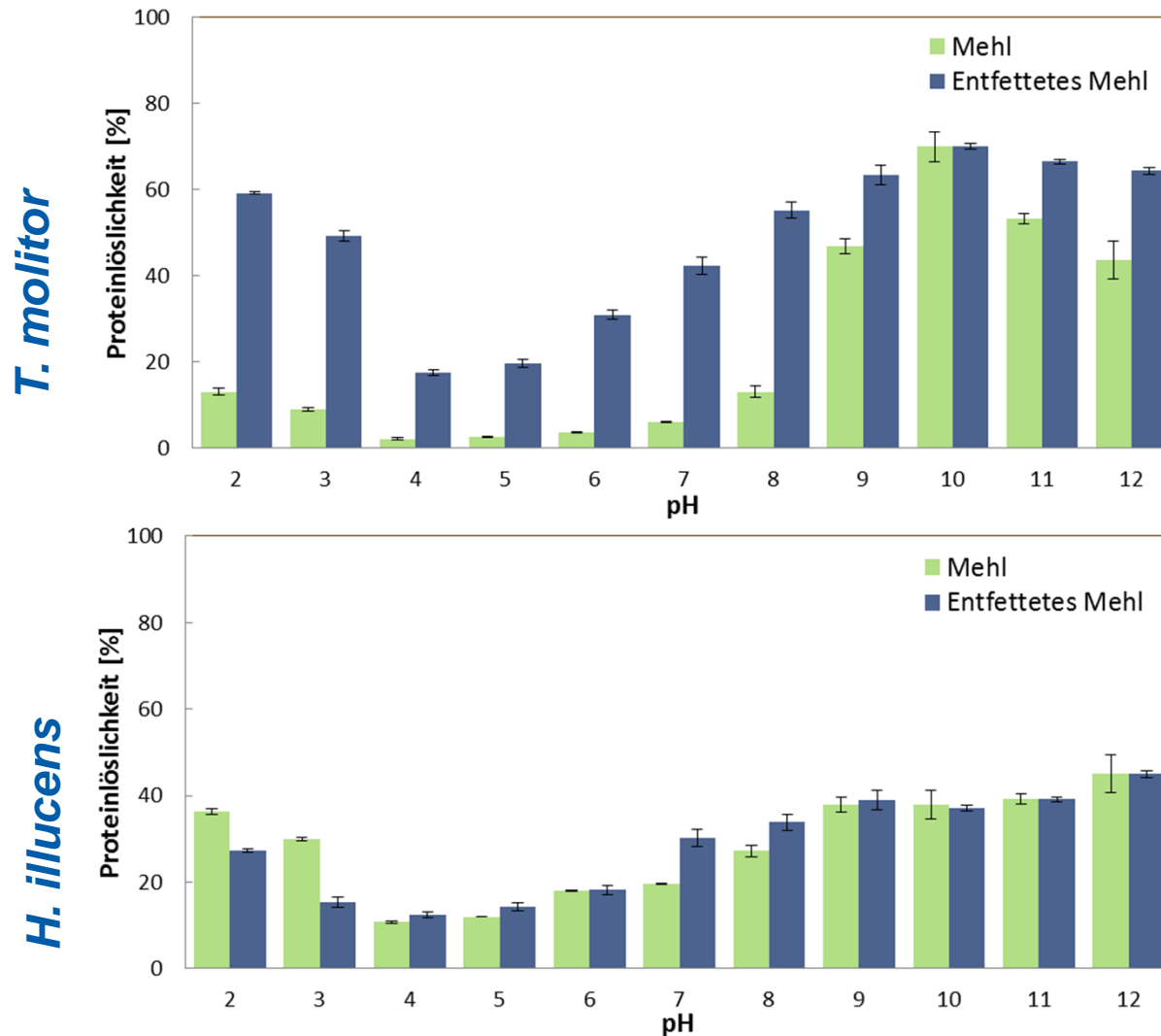


Abb. 1: Protein- und Fettgehalte der Mehle aus Larven von *T. molitor* (oben) und *H. illucens* (unten) vor und nach der Entfettung.

Abb. 2: Wasser- und Fettbindeigenschaften der Mehle aus Larven von *T. molitor* (oben) und *H. illucens* (unten) vor und nach der Entfettung.

# Nasstechnische Proteingewinnung mit Entfettung:

## Vorteile und Notwendigkeit



- Deutliche Steigerung der Proteinausbeuten über den gesamten pH-Bereich
- Keine Steigerung der maximalen Ausbeute
- Verbesserte Verarbeitbarkeit und Analysierbarkeit der entfetteten Fraktion

- Geringe Steigerung der Proteinausbeute bei pH 2 und 3
- Keine Steigerung der maximalen Ausbeute
- Nur leicht verbesserte Verarbeitbarkeit und Analysierbarkeit der entfetteten Fraktion

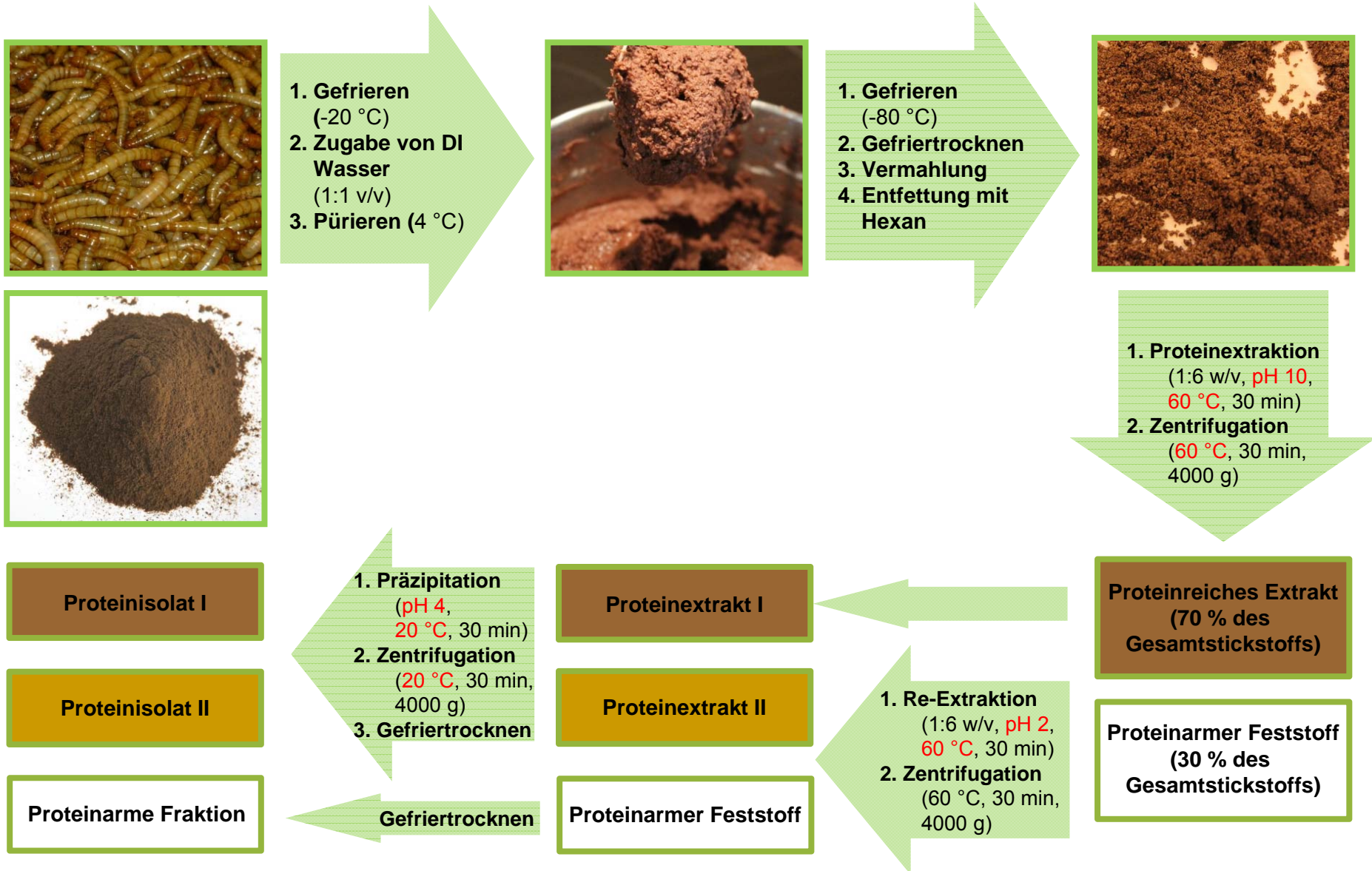
→ **Optimierung notwendig!**

Abb. 1: Einfluss der Entfettung der Insektenmehle auf die pH-abhängige Proteinausbeute bei der nasstechnischen Gewinnung löslicher Insektenproteine aus *T. molitor* (oben) und *H. illucens* (unten).



# Proteinisolation aus *T. molitor*

Optimierte Gewinnung im Labormaßstab



# Proteinisolation aus *T. molitor*

## Proteinlöslichkeit und strukturelle Ursachen

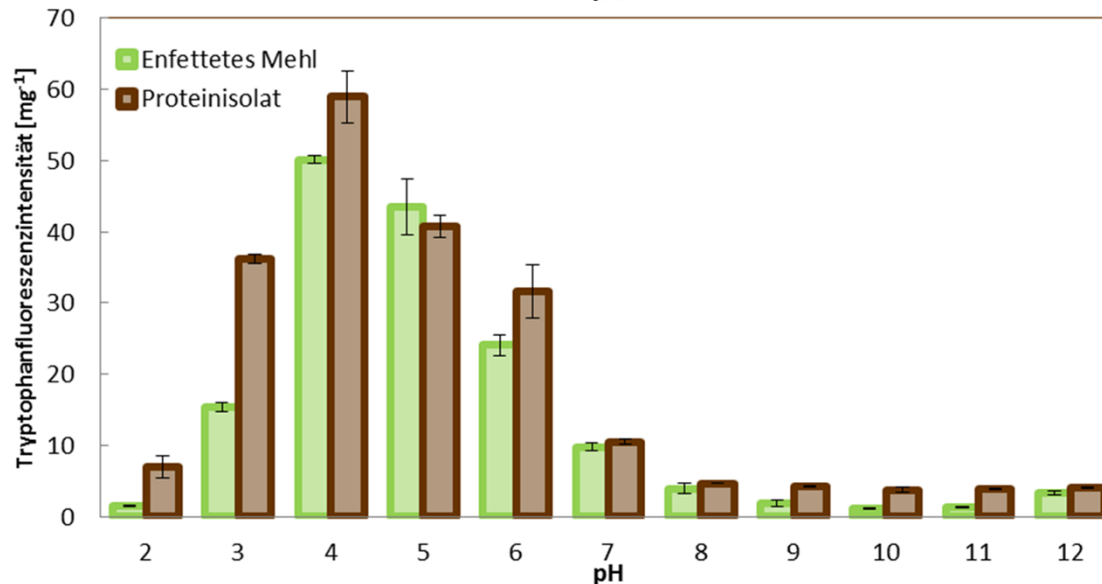
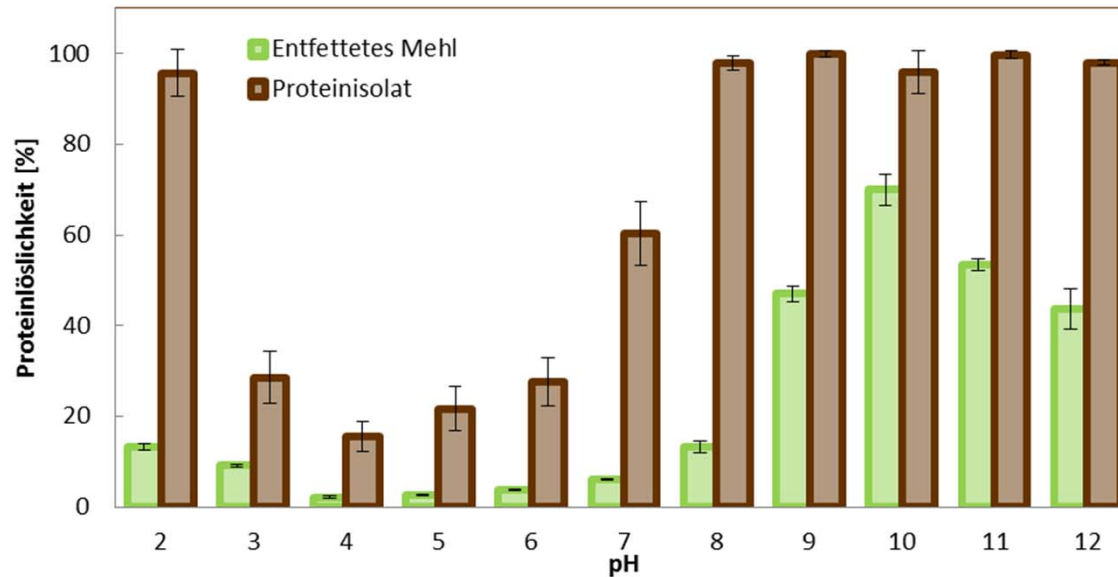


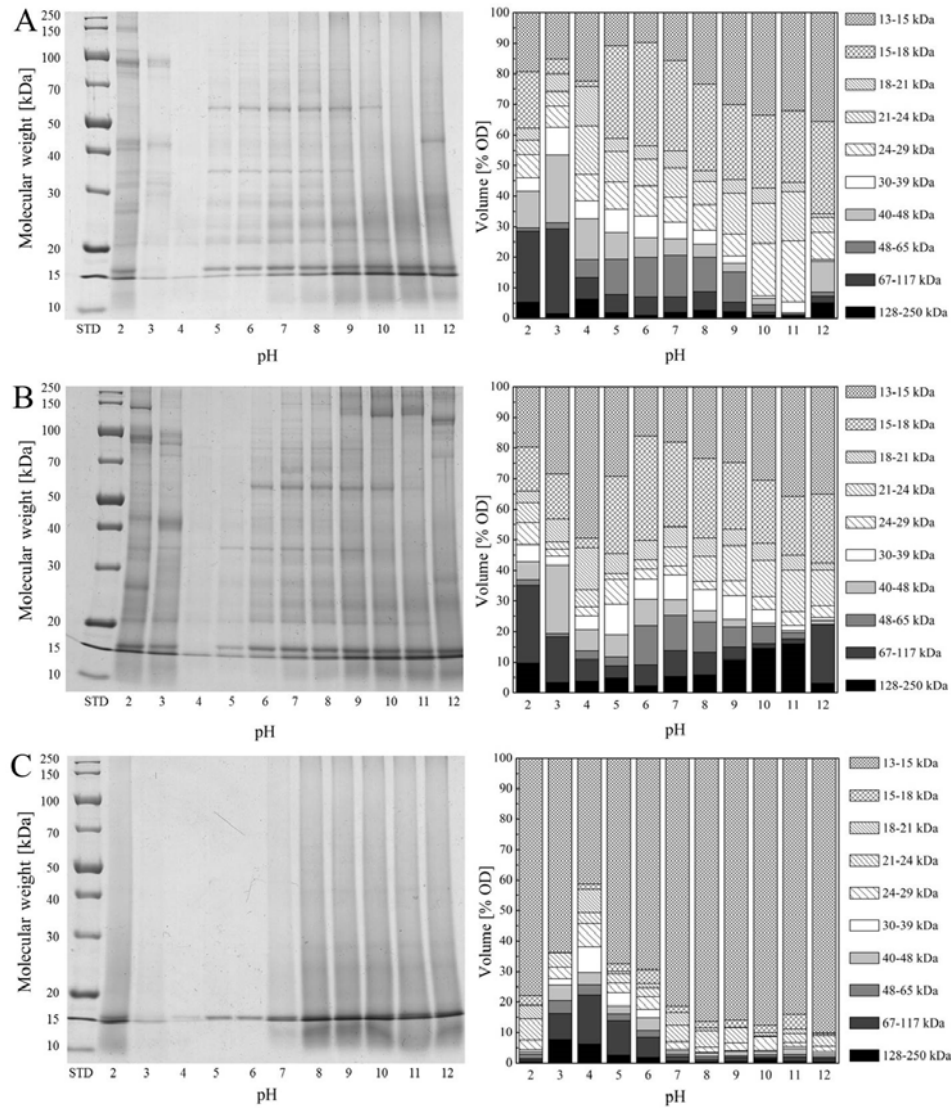
Abb. 1: Einfluss des pH-Wertes des Extraktionsmittels auf die Löslichkeit der Proteine (oben) und deren Tryptophanfluoreszenz (unten) im entfetteten Mehl und im Proteinisolat gewonnen aus *T. molitor*.

- Typischer U- bzw. V-förmiger Verlauf der Löslichkeitskurve für die Proteine des Isolats  
pH 2 bis 8
- Maximale Ausbeuten:  
97 % (pH 8 bis 12)
- Deutlich gesteigerte Löslichkeit:  
neutraler/saurer pH-Bereich
- pH-abhängige Änderung der Farbe der Extrakte  
beige → dunkelbraun
- Anstieg der Tryptophanfluoreszenzintensität der gelösten Proteine um den IP  
→ Entfaltung der Proteinstruktur  
→ Freilegung von Trp-Resten, die sich sonst im hydrophoben Proteinkern befinden
- Klare Korrelation zwischen Proteinlöslichkeit und -entfaltungszustand



# Weiterführende Untersuchungen

## Zusammensetzung der einzelnen Proteinfractionen



Electrophoretic separation (left) and relative composition (right) of soluble *Tenebrio* protein fractions (T-F: **Tenebrio flour (A)**, T-DF: **defatted Tenebrio flour (B)**, and T-HPF: **high Tenebrio protein fraction (C)**) depending on the pH value of the extraction solution, n = 3.



# Forschungsbedarf und Herausforderungen



## ● Inhaltsstoffe

- Proteine, Lipide, Polysaccharide, Mineralien, Vitamine,...

## ● Massenproduktion auf industrieller Ebene

- Geeignete Spezies
- Kostengünstiges Futter (organische Abfallnebenströme) bei Aufzucht für optimale Nährstoffzusammensetzung
- Sichere Aufzucht: Hygiene-, Krankheitsmanagement, ...
- Kostengünstige Produktion durch Automatisierung (Aufzucht und Verarbeitung)
- Optimierung durch maßgeschneiderte Prozessierung, z. B. der Proteinqualität
- Verbraucherakzeptanz / rechtliche Rahmenbedingungen

## ● Lebensmittelsicherheit

- Mikrobielle Sicherheit, Toxizität, allergenes Potenzial,...
- Sichere Verarbeitung, Konservierung, Lagerung

 **Forschungsbedarf!**





**INSECTA**

International Symposium on Insects  
as Feed, Food and Non-Food  
September 12, 2016 in Magdeburg

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit !

DFG Senatskommission zur gesundheitlichen Bewertung von  
Lebensmitteln

**SKLM**

**Sicherheitsaspekte bei der Herstellung von Lebensmitteln  
und Lebensmittelinhaltsstoffen aus Insekten**

Endfassung vom: 22. Februar 2016

Deutsche Forschungsgemeinschaft  
Kennedyallee 40 • 53175 Bonn  
www.dfg.de/sklm

**DFG**

# Insekten – Nährstoffe und wertgebende Inhaltsstoffe

**Birgit Rumpold, Sara Bußler, Oliver Schlüter**

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (ATB)  
Qualität und Sicherheit von Lebens- und Futtermitteln  
Max-Eyth-Allee 100  
14469 Potsdam

Kontakt: [osclueter@atb-potsdam.de](mailto:osclueter@atb-potsdam.de)