

## Meilensteine für die Futtermittelsicherheit – Beiträge der Tierernährungswissenschaft –

Gerhard Flachowsky  
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig

### Einleitung

In den Jahren nach dem zweiten Weltkrieg erfolgte ein erheblicher Wandel der Verbrauchererwartungen an die Lebensmittel (Abb. 1). Während unmittelbar nach dem Krieg beim Großteil der Menschen der Hunger beseitigt werden musste, folgten später spezifische Wünsche an die Lebensmittel, die in den letzten Jahren durch eine teilweise extrem hohe Sicherheitserwartung abgelöst wurden.

Auf die verschiedenen Verbrauchererwartungen erfolgten Reaktionen der Politik und Aktivitäten der Agrarforschung. Für die Tierernährung ging es zunächst um die Nutzung aller verfügbaren Ressourcen zur Erzeugung von Fleisch, Milch und Eiern. Die Lebensmittelqualität und in jüngster Zeit vor allem die Lebensmittelsicherheit kamen später als weitere wichtige Zielstellungen hinzu (Abb. 1).

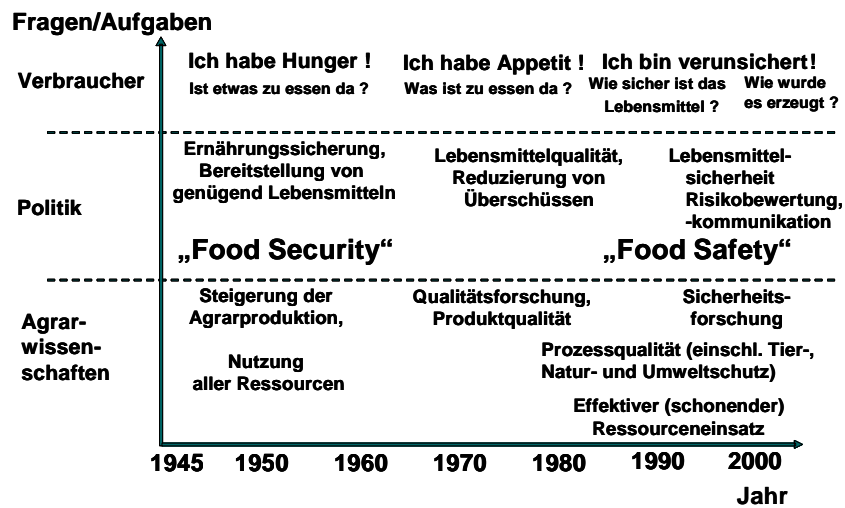


Abbildung 1: Dominierende Fragen nach Lebensmitteln sowie Aufgaben für Politik und Agrarforschung nach dem II. Weltkrieg in Europa

Die Bereitstellung ausreichender Mengen mit geringem Ressourceneinsatz erzeugter Lebensmittel mit einem minimalen Gehalt an unerwünschten Stoffen können heute als die zwei Seiten der Medaille globale Ernährungssicherung betrachtet werden (Abb. 2). Aus dieser Situation resultieren die Erwartungen an die Beiträge der Fachdisziplin Tierernährung bei der Erzeugung von qualitativ hochwertigen Lebensmitteln tierischer Herkunft (Abb. 3).

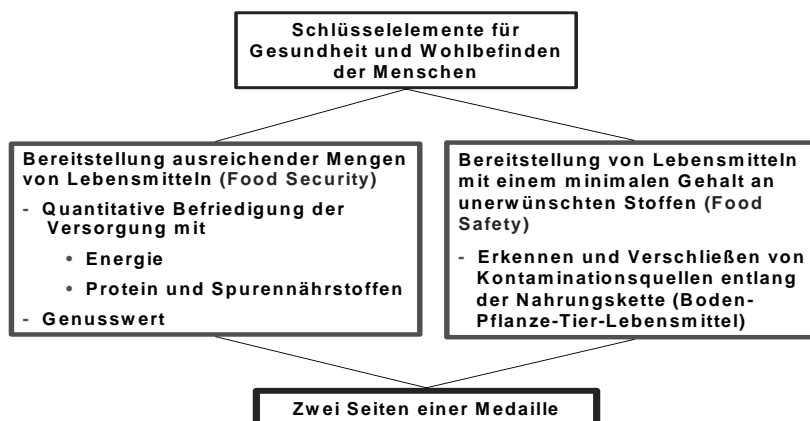


Abbildung 2: Food Security und Food Safety als zwei Seiten der globalen Ernährungssicherung

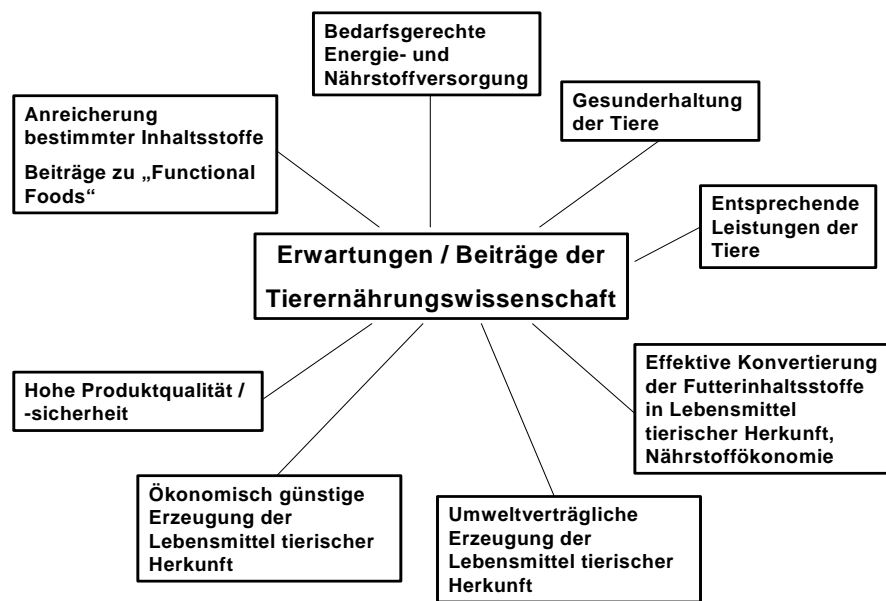


Abbildung 3: Erwartungen an die Tierernährung

Da in den Beiträgen von Dänicke (2007), Schenkel (2007), Kamphues (2007) und Lahrssen-Wiederholt (2007) auf ausgewählte Aspekte der Tierernährung zur Futter- und Lebensmittelsicherheit eingegangen wird und um Wiederholungen zu vermeiden, wird die vorliegende Ausarbeitung entsprechend den in Abb. 3 zusammengetragenen Komplexen strukturiert:

- Bedarfsdeckung, Gesundheit, Leistung
- Ressourceneffizienz, Nährstoffökonomie, Umwelt
- Lebensmittelsicherheit, Produktqualität, „Functional Food“

Dabei wird vor allem auf Herausforderungen an die Fachdisziplin in der Zukunft hingewiesen.

### **Bedarfsdeckung, Gesundheit, Leistung**

Der Erkenntniszuwachs der Fachdisziplin Tierernährung kann in einer Vielzahl von Dissertationen und Habilitationen, Publikationen sowie Fachbüchern auf nationaler und internationaler Ebene dokumentiert werden. Die Umsetzung dieser Erkenntnisse schlägt sich in nach wie vor steigenden Leistungen der Lebensmittel erzeugenden Tiere sowie in einer effektiveren Nutzung der Futtermittel bzw. niedrigeren Aufwandsdaten sowie in geringeren Ausscheidungen je erzeugtes Tierprodukt nieder. Auf Details der Studien soll nicht eingegangen werden.

Eine Zusammenfassung dieser Kenntnisse und die Ableitung von Versorgungsempfehlungen für Energie und Nährstoffe erfolgt in Deutschland durch den Ausschuss für Bedarfsnormen (AfBN) der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE). In unregelmäßigen Abständen, je nach Vorliegen neuer Daten, wird vom AfBN eine möglichst umfassende Wertung dieser Versuchsergebnisse vorgenommen, die dann zur Überarbeitung der entsprechenden Versorgungsempfehlungen führt. Aus der Arbeit des AfBN haben wir kürzlich zusammenfassend berichtet (Flachowsky und Martens, 2006; Flachowsky, 2004).

Tabelle 1 gibt einen Überblick der in den zurückliegenden Jahren abgeleiteten Versorgungsempfehlungen. Neben Energie und den wichtigen Nährstoffen wurden in den jüngeren Arbeiten auch nicht eindeutig quantitativ beschreibbare Parameter in die Versorgungsempfehlungen mit aufgenommen, wie z.B. Struktur, Wasser oder sonstige Hinweise zur artgerechten Ernährung. Diese Arbeiten des AfBN zur Ableitung von Versorgungsempfehlungen unter Berücksichtigung der verfügbaren Literatur werden durch weitere Arbeitsgruppen (z.B. Arbeitskreis „Futter und Fütterung“ der DLG) für die praktische Nutzung aufbereitet.

*Tabelle 1: Empfehlungen des AfBN der GfE (GfE 1995 – 2006) zur Versorgung landwirtschaftlicher Nutztiere mit Energie und Nährstoffen, die in den zurückliegenden Jahren erarbeitet wurden*

Titel	Erfasste Parameter					
	Quelle	Energie	Protein bzw. Aminosäuren	Mengen- und Spurenelemente	Vitamine	Sonstige
Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 5: Pferde	DLG-Verlag 1995	X	X	X	X	-
Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 6: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Mastriinder	DLG-Verlag 1995	X	X	X	X	-
Energiebedarf von Schafen	Proc. Soc. Nutr. Physiol. 1996; 5: 149-152	X	-	-	-	-
Überarbeitete Empfehlungen zur Versorgung von Schweinen mit Phosphor	Proc. Soc. Nutr. Physiol. 1997; 6: 193-200	-	-	X	-	-
Empfehlungen zur Energieversorgung von Aufzuchtälbern und Aufzuchtrindern	Proc. Soc. Nutr. Physiol. 1997; 6: 201-215	X	-	-	-	-
Zum Proteinbedarf von Milchkühen und Aufzuchtrindern	Proc. Soc. Nutr. Physiol. 1997; 6: 217-236	-	X	-	-	-
Empfehlungen zur Proteinversorgung von Aufzuchtälbern	Proc. Soc. Nutr. Physiol. 1999; 8: 155-164	-	X	-	-	-
Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 7: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler)	DLG-Verlag 1999	X	X	X	X	-
Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 8: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder	DLG-Verlag 2001	X	X	X	X	Struktur des Futters
Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 9: Recommendations for the supply of energy and nutrients to goats	DLG-Verlag 2003	X	X	X	X	Futterselektion, Wasser
Energie- und Nährstoffbedarf von Mastputen	Proc. Soc. Nutr. Physiol. 2004; 13: 195-233	X	X	X	X	-
Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, Nr. 10: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen	DLG-Verlag 2006 247 S.	X	X	X	X	artgerechte Ernährung, Wasser

Dem AfBN ähnliche Gremien arbeiteten früher in verschiedenen europäischen Ländern (z.B. Frankreich, Großbritannien, Niederlande) und in den USA. Aus personellen und finanziellen Gründen existiert neben dem AfBN gegenwärtig lediglich noch das National Research Council (NRC) in den USA. Bedauerlicherweise ist diese Entwicklung das Ergebnis der abnehmenden Bedeutung bzw. öffentlichen Wahrnehmung der Fachdisziplin.

### **Ressourceneffizienz, Nährstoffökonomie, Umwelt**

Diese drei – scheinbar unabhängig voneinander stehenden – Komplexe folgen dem gleichen Grundprinzip. Je effizienter die Futtermittel in Lebensmittel tierischer Herkunft umgewandelt werden können, um so besser ist die Nährstoffökonomie und um so geringer sind die in die Umwelt abgegebenen Ausscheidungen. Dieses Grundprinzip resultiert in Abhängigkeit von Tierart und Nutzungsrichtung aus dem relativ konstanten Erhaltungsbedarf an Energie und Nährstoffen. Bei höheren Leistungen wird demnach der relative Anteil des Erhaltungsbedarfes geringer und die Ausscheidungen je erzeugtes Produkt nehmen ab, wie in Tabelle 2 für ansteigende Leistungen bei verschiedenen Nutzungsrichtungen für Stickstoff gezeigt wird.

Tabelle 2: Erzeugung von essbarem Protein mit verschiedenen Nutzungsrichtungen und N-Ausscheidungen

Proteinquelle	Leistungshöhe (je Tag)	Essbares Protein		N-Ausscheidung	
		g/Tag	g/kg LM	kg/kg essbares Protein	% der Aufnahme
Milchkuh (650 kg LM)	10 kg	323	0,5	0,65	75
	20 kg	646	0,9	0,44	70
	40 kg	1292	2,0	0,24	65
Milchziege (60 kg LM)	2 kg	68	1,1	0,40	70
	5 kg	170	2,8	0,23	60
Mastrind (400 kg LM)	500 g LMZ	48	0,12	2,5	90
	1000 g LMZ	95	0,24	1,6	84
	1500 g LMZ	143	0,36	1,2	80
Mastschwein (80 kg LM)	500 g LMZ	45	0,55	0,8	85
	700 g LMZ	63	0,8	0,7	80
	900 g LMZ	81	1,0	0,6	75
Masthahn (1,5 kg LM)	40 g LMZ	4,8	3,2	0,4	70
	60 g LMZ	7,2	4,8	0,3	60
Legehene (1,8 kg LM)	50 % LL	3,6	2,0	0,6	80
	70 % LL	5,1	2,8	0,35	65
	90 % LL	6,6	3,7	0,2	55

LM = Lebendmasse    LMZ = Lebendmassezunahme    LL = Legeleistung

Diese Feststellung trifft auch für andere, in die Umwelt abgegebene Stoffe zu, wie Phosphor, Methan und Spurenelemente. Dabei darf nicht unerwähnt bleiben, dass bei höheren Leistungen die Ausscheidungen je Tier ansteigen, bezogen auf das erzeugte Lebensmittel oder je kg essbares Eiweiß nehmen sie jedoch bis zu einer gewissen Leistungshöhe erheblich ab (Flachowsky, 2002). Bei sehr hohen Leistungen (z.B. > 10 000 l Milch pro Kuh und Jahr) wird dieser „Spareffekt“ bei weiterer Leistungssteigerung immer geringer.

Die Futtermittel sind die wesentlichsten Betriebsmittel in der Tierproduktion. Weltweit wird von Nutztieren etwa sieben Mal so viel Trockensubstanz (T) als Futter aufgenommen wie Menschen Nahrung verzehren (Tab. 3). Diese Dimensionen sollten durchaus berücksichtigt werden, wenn es zukünftig um Zielstellungen der Pflanzenzüchter geht. Die Forschungen auf dem Gebiet der Futtermittelkunde sollten sowohl aus Gründen der effektiven Ressourcennutzung als auch der Futter- und Lebensmittelsicherheit deutlich aktiviert werden.

Tabelle 3: Weltweit erforderliche Nahrungsmengen für Mensch und Tier<sup>1)</sup>

Spezies	Anzahl (Mrd., FAOSTAT,2005)	T-Aufnahme (kg/Tag)	Nahrungsbedarf (Mrd.t T/Jahr)
Mensch	6,3	0,45	1,0
Rinder/ Büffel/ Pferde/ Kamele	1,6	10	5,8
Schafe / Ziegen	1,8	1	0,6
Schweine	0,95	1	0,35
Geflügel	17,4	0,07	0,45
Gesamt (Tiere)			7,2

<sup>1)</sup> Etwa drei Viertel der Welttierbestände werden in den Tropen/Subtropen gehalten und erzeugen weniger als die Hälfte des essbaren Proteins tierischer Herkunft (s. Wennemer et al., 2005)

In den nächsten Jahren ist damit zu rechnen, dass eine Vielzahl neuer und/oder veränderter Futtermittel verfügbar wird, wie z.B. Futtermittel im Ergebnis folgender Entwicklungen:

- Pflanzenzüchtung
  - Erhöhter Gehalt erwünschter Inhaltsstoffe
  - Reduzierter Gehalt unerwünschter Inhaltsstoffe
- Auswirkungen von Klimaveränderungen
  - Erhöhter Gehalt an Reservekohlenhydraten /-fetten
  - Reduzierter Proteingehalt
- Nebenprodukte der Bioenergiegewinnung
  - Ölsaatenkuchen, -extraktionsschrote
  - (Roh-)Glycerin
  - Schlempe (z.B. als „Protigrain“)

Nicht unerwähnt soll bleiben, dass seit der BSE-Krise im Jahre 2000 nach wie vor jährlich etwa 600 000 t Fleisch- und Knochenmehl, die etwa 300 000 t Protein tierischer Herkunft, 60 000 t Fett und 15 500 t Phosphor (Rodehutschord et al., 2002) enthalten, über andere Wege entsorgt werden und nicht für die Nichtwiederkäuerernährung genutzt werden. Diese Situation ist umso verwunderlicher, da die vorhergesagten Entwicklungen bezüglich Abnahme der BSE-Fälle eingetreten sind und ein umfassendes Kontrollsystem sowie die Entfernung des Risikomaterials eingeführt wurden. Auf diesem Gebiet scheinen weitere Anstrengungen zur Rückführung dieser wertvollen Ressourcen in den Nährstoffkreislauf notwendig.

Daraus resultieren umfangreiche Aufgaben für die ernährungsphysiologische und Sicherheitsbewertung dieser Futtermittel, wie an einigen Beispielen exemplarisch demonstriert werden soll. Obwohl die Pflanzenzüchter gegenwärtig vorrangig an der Erhöhung des Gehaltes wertbestimmender Inhaltsstoffe in verschiedenen Pflanzen arbeiten, um Beiträge in Richtung „Functional Food“ zu leisten, ist aus Sicht der Tierernährung die Reduzierung des Gehaltes an unerwünschten Stoffen bedeutsamer. Die Tierernährung verfügt über ein umfangreiches Instrumentarium von Zusatzstoffen, um die Rationen bzw. Futtermischungen mit essentiellen oder anderen Zusatzstoffen zu ergänzen (s. Pape, 2006). Dagegen ist es deutlich schwieriger, unerwünschte (antinutritive) Stoffe aus den Futtermitteln zu entfernen oder zu inaktivieren, wie wir kürzlich zusammenfassend darstellten (Flachowsky, 2006).

Erste Erfolge bei der Reduzierung unerwünschter Stoffe mittels gentechnischer Methoden werden von Bt-Mais beschrieben. Dieser, gegen den Maiszünsler widerstandsfähige Mais, kann sich dann auch gegen Fusarienbefall besser behaupten, so dass in entsprechenden Jahren eine deutlich geringere Mykotoxinkonzentration in den Maiskörnern ermittelt werden kann (Abb. 4).

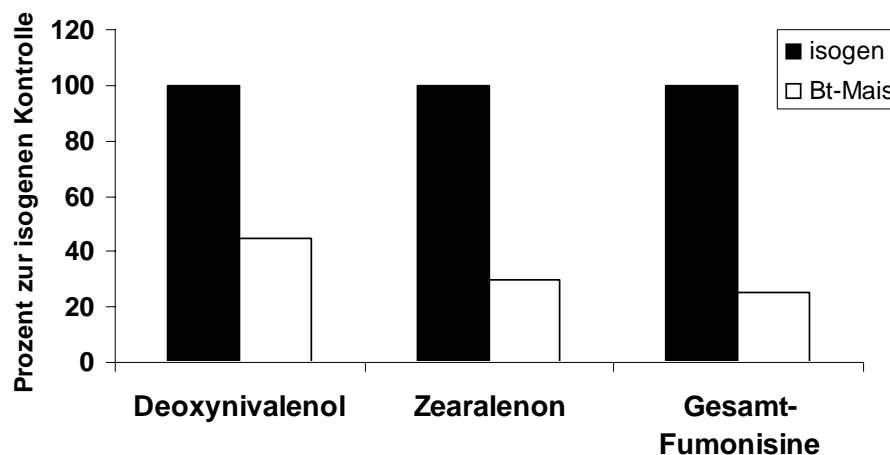


Abbildung 4: Ausgewählte Mykotoxine in Maiskörnern nach verschiedenen Autoren in Prozent der isogenen Linien (Literatúrauswertung)

Andererseits gibt es jedoch auch Hinweise, dass im Ergebnis pflanzenzüchterischer Maßnahmen sogenannte Side-Effekte auftreten können (Cellini et al. 2004), die zur unbeabsichtigten Erhöhung des Gehaltes an verschiedenen unerwünschten Stoffen führen können (Tab. 4). Unter Berücksichtigung dieser Möglichkeiten scheint neben einer umfangreichen Inhaltsstoffanalyse auch eine Zusammenarbeit von Pflanzenzüchtern und Tierernährern bereits bei frühen Zuchtstadien notwendig. Sowohl durch die EFSA (2007) als auch durch ILSI (2007) sind Richtlinien in

Erarbeitung, die eine umfassende ernährungsphysiologische und Sicherheitsprüfung von Lebens- und Futtermitteln aus gentechnisch veränderten Pflanzen mit veränderten Inhaltsstoffen (output traits) geben.

*Tabelle 4: Veränderungen im Gehalt an antinutritiven Inhaltsstoffen in gentechnisch modifizierten Pflanzen mit erhöhtem Gehalt bestimmter Inhaltsstoffe (Böhme et al., 2005 a,b)*

Fruktan-Kartoffeln	Glykol-Alkaloide (mg/kg T)		
	Gesamt	$\alpha$ -Chalonin	$\alpha$ -Solanin
Isogen	728	524	204
Transgen	904	652	252
C <sub>14</sub> / C <sub>16</sub> Rapssamen	Alkenyl-Glucosinolate (mmol/kg T)		
	Gesamt	Alkenyl-GSL	Progoitrin
Isogen	13,2	9,0	7,1
Transgen	20,4	15,4	12,1

Die oben gemachten Feststellungen treffen auch auf mögliche Veränderungen im Ergebnis der ansteigenden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Atmosphäre bzw. von Klimaveränderungen sowie auf Nebenprodukte der Bioenergiegewinnung zu. Es ist durchaus damit zu rechnen, dass die grüne Gentechnik auch in Europa in absehbarer Zeit eine zunehmende Akzeptanz in der Öffentlichkeit bei der Erzeugung nachwachsender Rohstoffe bzw. von Energiequellen erlangen kann. Da dort andere Zuchtziele die Richtung vorgeben, ist bei der Erschließung der Nebenprodukte als Futtermittel mit entsprechender Tiefgründigkeit bei der ernährungsphysiologischen und Sicherheitsbewertung vorzugehen.

Eine weitere Herausforderung für die Tierernährung bezüglich Ressourceneffizienz – Nährstoffökonomie – Umwelt wird auch im Vergleich verschiedener Herangehensweisen gesehen, wie Tabelle 5 exemplarisch für die Phosphorversorgung der Nichtwiederkäuer demonstriert. So genannte Life Cycle Studien oder Ökobilanzen sind zur Effizienzbewertung notwendig und sollten auch die Nachhaltigkeit der verschiedenen Versorgungsmöglichkeiten demonstrieren.

*Tabelle 5: Möglichkeiten zur Verbesserung der Phosphorversorgung von Nichtwiederkäuern durch Beiträge verschiedener Fachdisziplinen*

Fachdisziplin	Möglichkeit (Literaturhinweise)
Tierernährung	➤ Einsatz mineralischer P-Quellen (GfE 1999, 2006)
	➤ Einsatz von Phytase als Futterzusatzstoff (Düngelhoff et al. 1995; GfE 1999, 2006)
Pflanzenzüchtung	➤ Reduzierung des Phytatgehaltes (Mendoza 2002; Spencer et al. 2000a, b)
	➤ Erhöhung des Gehaltes pflanzeigener Phytase (ILSI 2003)
Tierzucht	➤ Transgene Expression von Phytase im Speichel oder anderen Verdauungssäften von Schweinen (Golovan et al. 2001; Cho et al. 2005)

### **Lebensmittelsicherheit, Produktqualität, „Functional Food“**

Es steht außer Frage, dass die Fachdisziplin Tierernährung über die Futtermittelsicherheit wesentliche Beiträge für eine hohe Sicherheit der Lebensmittel tierischer Herkunft leistet (s. Petersen, 2007; Dänicke, 2007; Schenkel,

2007, Kamphues, 2007; Lahrssen-Wiederholt, 2007). Über die Sicherheit hinausgehend, d.h. neben einem minimalen Gehalt an unerwünschten Inhaltsstoffen in den Lebensmitteln tierischer Herkunft, kann die Tierernährung auch erheblich zu sonstigen Qualitätskriterien und zur Anreicherung erwünschter Inhaltsstoffe in den Lebensmitteln beitragen. Dabei hängt der Übergang verschiedener Futterinhaltsstoffe von der Art des Lebensmittels und dem Nährstoff ab (Tab. 6). Außerdem hat die Dosierungshöhe wesentlichen Einfluss auf die Höhe des Transfers, wie Tabelle 7 beispielsweise für das Spurenelement Jod und Vitamin E zeigt. Bei niedrigeren Zulagen ist der Übergang relativ höher als bei höherer Supplementation.

Tabelle 6: Einflussmöglichkeit der Tierernährung auf Inhaltsstoffe in Lebensmitteln tierischer Herkunft

Nährstoff	Milch	Fleisch	Eier
Protein / AS	(+)	–	–
Fett / FS	+++	++	-/+++
-----			
Mengenelemente			
Ca	–	–	–
P	–	–	–
-----			
Spurenelemente			
Cu	(+)	(Leber: +++)	(+)
I	+++	(+)	+++
Se	++	++	++
Zn	+	+	+
-----			
Vitamine			
A	(+)	(Leber: +++)	+
D	+	+	+
E	(+)	(+)	+++
B-Vitamine	+	- bis +	- bis ++
	(wenn pansenstabil)		

+++ sehr starker Einfluss möglich    – kein Einfluss    AS = Aminosäuren    FS = Fettsäuren

Tabelle 7: Transfer von Jod bzw. Vitamin E in Lebensmittel tierischer Herkunft (% der Zulage)

Nährstoff	Milch	Fleisch (Rind, Schwein, Geflügel)	Eier
Jod	30 – 40	0,1 – 1	10 - 20
Vitamin E	< 1	0,2 – 2	20 - 30

Bei dem Bemühen durch Zusatz von bestimmten Nährstoffen zum Futter Beiträge zur besseren Versorgung der Menschen bzw. zur Erzeugung von „Functional Food“ zu leisten, sollte jedoch differenziert vorgegangen werden. Durch die Einführung so genannter Versorgungs- bzw. Risikokategorien (Tab. 8) für Spurenelemente und Vitamine sollen Beiträge zu einer objektiveren Bewertung der Situation geleistet werden. Durch die Versorgungskategorien 1 bis 4 werden die Risiken eines möglichen Defizits beim Menschen bewertet. Die Risikokategorien (hoch bis gering) charakterisieren die Gefahr einer Überdosierung. Dieses Risiko ist um so höher, je geringer die Differenz zwischen Versorgungsempfehlung und maximal zulässiger Aufnahme (upper level, UL); (Tab. 8) ist.

*Tabelle 8: Versorgungs- und Risikokategorien von essentiellen Nährstoffen beim Menschen unter Berücksichtigung von Aufnahme und Bedarf (nach BfR, 2004; EFSA, 2006; Gassmann, 2006)*

Versorgungskategorie	Kriterium
1	Hohes Risiko eines Defizits
2	Mögliches Risiko eines Defizits
3	Ausreichende Aufnahme
4	Aufnahme über Empfehlungen
Risikokategorie	
Hoch	Geringe Differenz zwischen Versorgungsempfehlungen und maximal zulässiger Menge (UL; Faktor < 5)
Mittel	Mittlere Differenz (Faktor 5 – 100)
Gering	UL ist nicht definiert oder Faktor > 100

In Tabelle 9 werden Versorgungs- und Risikokategorien für verschiedene Spurenelemente und Vitamine beim Menschen dargestellt.

Vor allem bei Spurenelementen und Vitaminen der hohen Risikokategorie ist die Supplementierung des Nutztierfutters mit dem Ziel der Anreicherung im Lebensmittel tierischer Herkunft neu zu überdenken, was am Beispiel des Spurenelementes Jod demonstriert werden soll. Der Tagesbedarf des Erwachsenen wird von verschiedenen wissenschaftlichen Gesellschaften mit 150 – 200 µg Jod angegeben (Tab. 10). Die tolerierbare Höchstmenge variiert bei europäischen Gremien (DACH, 2000; SCF, 2002) zwischen 500 und 600 µg je Erwachsener und Tag (Tab. 11).

*Tabelle 9: Versorgungs- und Risikokategorien für verschiedene Spurenelemente und Vitamine beim Menschen unter Berücksichtigung von Aufnahme und Bedarf (nach BfR, 2004; EFSA, 2006; Gassmann, 2006)*

Nährstoff	Versorgungskategorie	Risikokategorie
Cu	3	Hoch
Fe	1 / 2	Hoch
I	1	Hoch
Se	2	Mittel - Hoch
Zn	2	Hoch
Vit. A	2 / 3	Hoch
Vit. D	1	Hoch
Vit. E	2 / 3	Mittel
Vit. B <sub>6</sub>	4	Mittel
Folsäure	1 / 2	Mittel
Niacin	3 / 4	Mittel



Tabelle 10: Empfehlungen zur Jodzufuhr beim Menschen (in  $\mu\text{g}/\text{Tag}$ )

Alter/physiolog. Status	Zufuhrempfehlungen		
	WHO (2001)	US Food and Nutr. Board (2001)	DACH (2000)
0-1 Jahr		110-130	40-80
0-6 Jahre	90		
1-8 Jahre		90	
1-15 Jahre			100-200
6-12 Jahre	120		
9-13 Jahre		120	
14-18 Jahre/ Erwachsene		150	
Jugendliche/Erwachsene	150		180-200
Schwangerschaft		220	230
Schwangerschaft/Stillzeit	200		
Stillzeit		290	260

Tabelle 11: Tolerierbare Höchstmengen der Jodaufnahme gesunder Menschen nach verschiedenen Gremien (in  $\mu\text{g}/\text{Tag}$  nach EFSA 2005)

Alter/physiolog. Status	tolerierbare Höchstmengen			
	USA (2001)	SCF (2002)	WHO (1994)	DACH (2000)
1-3 Jahre	200	200	< 1 mg (1000 $\mu\text{g}$ ) je Tag werden als sicher angesehen	< 500 $\mu\text{g}/\text{Tag}$ werden als sicher angesehen
4-6 "	-	250		
4-8 "	300	-		
7-10 "	-	300		
9-13 "	600	-		
11-14 "	-	450		
14-18 "	900	-		
15-17 "	-	500		
>19/Erwachsene	1100	600		
Schwangerschaft	900	600		
Laktation	1100	600		

Daraus resultiert eine Relation zwischen Versorgungsempfehlungen (150-200  $\mu\text{g}/\text{Tag}$ , Tab. 10) und maximal zulässiger Menge (500-600  $\mu\text{g}/\text{Tag}$ , Tab. 11) von 1 : 2,5 bis 4 und die Risikokategorie hoch (s. Tab. 8). Unter Berücksichtigung dieser Situation wurden Jodzulagen in Dosis-Wirkungs-Versuchen mit Lebensmittel erzeugenden Tieren geprüft. Dabei zeigte sich vor allem bei Milchkühen und Legehennen ein hoher Jod-Transfer in Milch und Eier (s. Tab. 7), so dass die maximal zulässige Jodkonzentration im Futter von Milchkühen und Legehennen auf 5 mg/kg reduziert wurde (EU 2005).

Dieses Beispiel verdeutlicht, dass durch Maßnahmen der Tierernährung Beiträge in Richtung „Functional Food“ zur Versorgung der Menschen mit verschiedenen Nährstoffen geleistet werden können. Bei Nährstoffen hoher Risikokategorie (z.B. Kupfer, Jod, Selen, Vitamin A, Vitamin D, s. Tab. 9) ist jedoch zu berücksichtigen, dass in bestimmten Lebensmitteln tierischer Herkunft eine erhebliche Anreicherung erfolgen kann (s. Tab. 6) und dass dadurch die in der Humanernährung geltenden Obergrenzen überschritten werden können. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass diese Nährstoffe auch verstärkt über andere Quellen (z.B. jodiertes Speisesalz, Nahrungsergänzungsmittel) den Menschen zugeführt werden, so dass aus bisherigen Defiziten Überschüsse entstehen können.

Es ist darauf hinzuweisen, dass der Gehalt an bestimmten Inhaltsstoffen in tierischen Lebensmitteln nicht deklariert wird bzw. werden kann, so dass bei Bilanzierungen meist mit Angaben aus Lebensmitteltabellen (z.B. Souci et al., 2002) kalkuliert wird, obwohl die Gehaltswerte jedoch mittlerweile deutlich höher sein können (s. Tab. 12).

Tabelle 12: Jodkonzentration in Lebensmitteln ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ ) tierischer Herkunft in Abhängigkeit von der Jodversorgung der Tiere

Lebensmittel	Jodgehalt im Futter (mg/kg)					
	Nativ (0,1-0,25)	0,5	1 - 1,2	2	4 - 5	10 <sup>5)</sup>
Milch <sup>1)</sup>	101	-	393	-	1215	2692
Rindfleisch <sup>2)</sup>	-	16	-	-	45	80
Schweinefleisch <sup>3)</sup>	3,9	6,0	8,5	11	17	-
Geflügelfleisch <sup>4)</sup>	6	-	(70)	-	-	(340)
Eier <sup>4)</sup>	-	140	330	-	1460	-

<sup>1)</sup> Flachowsky et al. (2006)

<sup>2)</sup> Weigel et al. (2007)

<sup>3)</sup> Franke et al. (2006)

<sup>4)</sup> EFSA (2005)

<sup>5)</sup> ab September 2005 im Futter von Milchkühen und Legehennen nicht mehr erlaubt

Nicht unerwähnt sollen auch verschiedene Fettsäuren (z.B. konjugierte Linolsäuren, CLA) bleiben, die entweder als „Milchfett-Senker“ dem Futter zugesetzt werden (z.B. Brömmel et al., 2007) oder bei Umsetzungen im Tier entstehen und dann mit der Milch ausgeschieden werden können. Ihre ernährungsphysiologische Bewertung beim Menschen bedarf noch weiterer Präzisierung (Bauman et al., 2006).

Für die Tierernährung bedeutet diese Situation, dass sowohl das Lebensmittel als auch die Bewertung einzelner Nährstoffe in der Humanernährung unbedingt zu berücksichtigen ist, wenn „Functional Food“ erzeugt werden sollen. Die dargestellten Beispiele zeigen, dass die Lebensmittelsicherheit auch durch essentielle Nährstoffe gefährdet werden kann.

Weitere Dosis-Wirkungs-Studien mit Lebensmittel erzeugenden Tieren sind vor allem mit Nährstoffen hoher Risikokategorien erforderlich, um die maximal zulässigen Gehalte im Futter besser bewerten zu können.

Maximal zulässige Mengen (UL) für verschiedene Zusatzstoffe in der Tierernährung wurden in den zurückliegenden Jahren nicht nur aus Gründen des vorbeugenden Verbraucherschutzes, sondern auch zum Schutz der Tiere und der Umwelt formuliert, wie Tabelle 13 für einige Spurenelemente zeigt.

Tabelle 13: Bedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, maximal zulässige Mengen (UL) und Gründe für UL bei ausgewählten Spurenelementen

Spurenelement	Cu	I	Se	Zn
Bedarf (mg/kg T)	4 – 10	0,15 – 0,5	0,1 – 0,3	40 - 100
Maximal zulässige Mengen (UL, mg/kg T)	15 – 35	5 (Milchkühe, Legehennen) 10 (Sonstige)	0,5	150
Gründe für UL	Umwelt, Reduzierung der Ausscheidung	Transfer (vorbeugender Verbraucherschutz)	Tiergesundheit	Umwelt, Reduzierung der Ausscheidung

### Schlussfolgerungen

Durch die Tierernährungswissenschaft wurden wesentliche Meilensteine zur Futter- und damit zur Lebensmittelsicherheit erarbeitet. Die Fachdisziplin hat im letzten Jahrhundert umfangreiche Beiträge zur

Ernährung gesunder Tiere, zum effizienten Futtereinsatz bei der Erzeugung von qualitativ hochwertigen und sicheren Lebensmitteln tierischer Herkunft und damit zum Schutz von Mensch, Tier und Umwelt geleistet.

Im Beitrag wird auf ausgewählte Aspekte zu dieser komplexen Thematik eingegangen. Schwerpunkte bilden dabei die Ableitung von Versorgungsempfehlungen für die Ernährung der Tiere, Herausforderungen für futtermittelkundliche Arbeiten sowie der Transfer von Nährstoffen in die Lebensmittel. Aus diesem Komplex ergeben sich u.a. folgende Schlussfolgerungen:

- Lebensmittel tierischer Herkunft können mit verschiedenen Nährstoffen angereichert werden.
  - Über die Zweckmäßigkeit derartiger Maßnahmen (Functional Food) ist von Fall zu Fall zu entscheiden.
  - Mehr Dosis-Wirkungs-Studien sind vor allem mit Nährstoffen hoher Risikokategorien erforderlich.

## Literatur

- Bauman DE, Lock AL, Cort, BA, Ip C, Salter AM, Parodi PW** (2006) Milk fatty acids and human health potential role of conjugated linoleic acid and trans fatty acids. In: Serjson K, Hvelplund T, Nielsen MO, ed. Ruminant physiology, Wageningen, The Netherlands: Wageningen Acad. Publ.: 529-561
- BfR** (2004) Teil I: Verwendung von Vitaminen in Lebensmitteln. Teil II: Verwendung von Mineralstoffen in Lebensmitteln. Toxikologische und ernährungsphysiologische Aspekte. BfR-Pressestelle, Berlin, BfR-Wissenschaft 03 und 04/2004
- Böhme H, Hommel B, Flachowsky G** (2005a) Nutritional assessment of silage from transgenic inulin synthesizing potatoes for pigs. J. Anim. Feed Sci. 14, Suppl. 1: 333-336
- Böhme H, Hommel B, Rudloff, E, Hüther L** (2005b) Nutritional assessment of genetically modified rape seed and potatoes, differing in their output traits 56<sup>th</sup> EAAP-Meeting, Book of abstracts, No. 11, Uppsala, Schweden, 5-8 July 2005, p. 150
- Brömmel Ch, Meyer U, Wähner M, Flachowsky G** (2007) Effect of conjugated linoleic acid (CLA) supplementation on milk yield and composition of dairy cows. Proc Soc Nutr Physio 16: (in press)
- Cho J, Choi K, Darden T, Renolds PR, Petite J, Shears SB** (2005) The avian MINPP gene can help to alleviate the planet's "phosphate crisis", In: Inositol Phosphates in the Soil-Plant-Animal System. Boujoucos. Conf. to Address the Biogeochem. Interaction of Inositol Phosphates in the Environment, 21-24, Aug. 2005, Sun Valley, Idaho, p. 27-28
- Cellini F, Chesson A, Coguhonn I, Constable A, Davies HV, Engel KH, Gatehouse AMR, Kärenöampi S, Kok EJ, Legnay JJ, Lehesranta S, Noteborn HPJM, Pedersen J, Smith M.** (2004) Unintended effects and their detection in genetically modified crops, Food Chem Toxicol, 42: 1089-1123
- DACH** (2000) Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr, Umschau Braus
- Dänicke S** (2007) Methodische Ansätze zur Abschätzung der Einflüsse der Mykotoxine Deoxynivalenol und Zearalenon auf die Futtermittelsicherheit. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft (im Druck)
- Düngelhoff M, Rodehutschord M.** (1995) Wirkung von Phytasen auf die Verdaulichkeit des Phosphors beim Schwein, Übers Tierernährg 23: 133-157
- EFSA** (2005) Opinion of the Scientific Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed on the request from the Commission on the use of Iodine in feedingstuffs. The EFSA Journal 168: 1-42
- EFSA** (2006b) Tolerable upper intake levels for vitamins and minerals. <http://ec.europa.eu/comm/food/fs/scf/outcome>
- EFSA** (2007) Safety and nutritional assessment of GM plant derived foods/feed. EFSA-working document (in preparation)
- Flachowsky G.** (2002) Efficiency of energy and nutrient use in the production of edible protein of animal origin, J Appl Anim Res 22: 1-24
- Flachowsky G** (2004) Zur wissenschaftlichen Basis von Fütterungsnormen, Arbeitsweise und Aktivitäten in Deutschland. Kraftfutter 9/2004: 260-266
- Flachowsky G** (Herausg., 2006) Möglichkeiten der Dekontamination von „Unerwünschten Stoffen nach Anlage 5 der Futtermittelverordnung (2006)“. Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft 294: 290 S.
- Flachowsky G, Martens H** (2006) Ableitung von Empfehlungen zur Versorgung landwirtschaftlicher Nutztiere mit Energie- und Nährstoffen. Aus der Arbeit des Ausschusses für Bedarfsnormen (AfBN) der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE). Tierärztl Praxis 34: 197-200
- Flachowsky G, Schöne, F, Jahreis, G** (2006) Zur Jodanreicherung in Lebensmitteln tierischer Herkunft. Ernährungs-Umschau 53: 17-21

- Franke K, Schöne F, Leiterer M, Berk A** (2006) Einfluss einer gestaffelten Jodversorgung auf den Jodgehalt von Organen und Geweben bei Schweinen. Proc. 9. Tagung Schweine- und Geflügelernährung 28.-30.11.2006, Halle, 173-175
- Gaßmann B** (2006) Zum Festlegen von Höchst- und Mindestmengen an Vitaminen und Mineralstoffen in Lebensmitteln. Ernährungs-Umschau 53: 336-343
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie)** (1999) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler). Nr. 7, DLG-Verlag, Frankfurt, 185 pp
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie)** (2006) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. Nr. 10, DLG-Verlag, Frankfurt, 245 pp
- Golovan SP, Meidinger RG, Ajkakaiye A, Cottrill M, Wiederkohf MZ, Barney DJ, Plante C, Pollard JW, Fan MZ, Hayes MA, Laursen J, Horst JP, Hacker RR, Phillips JP, Forsberg CW** (2001) Pigs expressing salivary phytase produce low-phosphorus manure, Nat Biotechnol 19: 741-745
- ILSI** (2003) Best practices for the conduct of animal studies to evaluate crops genetically modified for input traits. Int. Life Sci. Inst. Washington D.C.: 62 p
- ILSI** (2007) Best practices for the conduct of animal studies to evaluate crops genetically modified for output traits. Int. Life Sci. Institute, Washington, D.C.: 262 S (in preparation).
- Kamphues J** (2007) Futtermittelhygiene: Charakterisierung, Einflüsse und Bedeutung. Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 306: 41-55
- Lahrssen-Wiederholt M** (2007) Futtermittelsicherheit: Ein bedeutsamer Teil des „Farm to Fork“ – Konzeptes. Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft 306: 56-58
- Mendoza, C.** (2002) Effect of genetically modified low phytic acid plants on mineral absorption, In. J Food Sci Technol 37: 759-767
- Pape HC** (2006) Futtermittelzusatzstoffe – Technologie und Anwendung. Agrimedia GmbH, Bergen/Dumme, 304 S.
- Petersen U** (2007) Entwicklungen im deutschen Futtermittelrecht. Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft 306: 2-8
- Rodehutsord M, Abel Hj, Friedt W, Wenk C, Flachowsky G, Ahlgrimm HJ, Johnke B, Kühl R, Breves G** (2002) Consequences of the ban of by-products from terrestrial animals in livestock feeding in Germany and the European Union. Alternatives, nutrient and energy cycles, plant production, and economic aspect. Arch Anim Nutr 56: 67-92
- SCF (Scientific Committee on Food)** (2002) Opinion of the Scientific Committee on Food on the tolerable upper intake level of iodine. Expressed on 26. Sept. 2002
- Schenkel H** (2007) Carry Over Forschung über unerwünschte Stoffe – Forschung im Dienste der Futtermittelsicherheit. Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft 306: 35-40
- Souci FW, Fadamann W, Kraut H** (2000) Food composition and Nutrition Tables, 6<sup>th</sup> rev. ed; Medpharm, Scientific Publ., Stuttgart, Germany
- Spencer JD, Allee GL, Sauber TE** (2000a) Phosphorus bioavailability and digestibility of normal and genetically modified low-phytate corn for pigs. J Anim Sci 78: 675-681
- Spencer JD, Allee GL, Sauber TE** (2000b) Growing-finishing performance and carcass characteristics of pigs fed normal and genetically modified low-phytate corn. J Anim Sci 78: 1529-1536
- Weigel HJ** (2005) Gesunde Pflanzen unter zukünftigem Klima – Wie beeinflusst der Klimawandel die Pflanzenproduktion? Gesunde Pflanzen. 57: 6-17
- Weigel K, Meyer U, Leiterer M, Schöne F, Flachowsky G** (2007) Effects of supplementations with increasing levels of iodine on the iodine concentration of tissues and organs in beef cattle. Proc Soc Nutr Physio 16: 42
- Wennemer H, Flachowsky G, Hoffmann V** (2005) Protein, Population, Politik – Wege zur nachhaltigen Eiweißversorgung im 21. Jahrhundert, Plexus Verlag, Miltenberg und Frankfurt/Main: 160 S.
- WHO** (1994) Iodine and health. Eliminating Iodine deficiency disorders safety through salt iodization. WHO publ., Geneva
- WHO; UNICEF; ICCIDD** (2001) Assessment of the Iodine deficiency disorders and monitoring their elimination. Geneva, WHO publ. WHO (NHD) 01.1: 107 p