



## **Aktuelle Ergebnisse zur Threonin- und Tryptophanversorgung bei Ferkeln und Mastschweinen**

**Prof. Dr. Klaus Eder**

Institut für Ernährungswissenschaften der  
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

### **Funktionen von Aminosäuren im tierischen Organismus – die Bedeutung des Proteinturnovers in der Zelle**

Die quantitativ bedeutsamste Funktion der Aminosäuren im tierischen Organismus besteht darin, dass sie Bestandteile zellulärer Proteine sind. Alle Proteine des tierischen Organismus unterliegen einem permanentem Turnover. Sie werden laufend abgebaut und wieder erneuert. Der Zeitraum innerhalb dessen die Hälfte eines bestehenden Proteins abgebaut und wieder erneuert wird, wird als Halbwertszeit bezeichnet. Die meisten funktionellen Proteine (Enzyme, Transportproteine) in inneren Organen (Leber, Nieren, Milz etc.) haben eine kurze Halbwertszeit. Für die meisten Enzyme in der Leber liegt die Halbwertszeit beispielsweise zwischen einer Stunde und einem Tag. Strukturproteine, wie Muskel- oder Bindegewebsproteine, haben hingegen deutlich längere Halbwertszeiten, die mehrere Monate betragen können. Der intrazelluläre Proteinturnover spielt im Organismus eine wichtige Rolle. Einerseits kann durch die Regulation von Proteinabbau und Proteinsynthese die Menge funktioneller Proteine in der Zelle schnell geändert werden. Dies spielt besonders für Enzyme eine wichtige Rolle. Beispielsweise führen eine Beschleunigung des Abbaus und eine gleichzeitige Hemmung der Neusynthese dazu, dass die Aktivität dieses Enzyms in der Zelle abnimmt. Der Proteinturnover ist auch wichtig, wenn in der Zelle ein erhöhter Bedarf an Aminosäuren vorliegt. Bei einem zellulären Mangel an Glukose wird der Proteinabbau hochreguliert, um ausreichend Aminosäuren für die Glukoneogenese bereitzustellen. Eine besonders wichtige Funktion des Proteinturnovers besteht darin, dass geschädigte („gealterte“) Proteine, die ihre Funktion nicht mehr wahrnehmen können, abgebaut und durch neue ersetzt werden. Dadurch alleine kann die Funktionsfähigkeit zellulärer Proteine aufrechterhalten werden. Proteine werden insbesondere durch freie Radikale geschädigt, die intrazellulär in mehr oder weniger starkem Ausmaß laufend produziert werden oder auch exogenen Ursprungs sein können. Schließlich spielt der Proteinturnover auch eine wichtige Rolle für Wachstum und Zelldifferenzierung. Im Wachstum überwiegt die Proteinsynthese im Vergleich zum Proteinabbau, wodurch sich eine positive Stickstoffbilanz ergibt. Sowohl Proteinsynthese als auch Proteinabbau können durch verschiedene Faktoren, besonders Hormone, im Laufe des Wachstums beeinflusst werden und sind Ansatzpunkte für eine Manipulation des Wachstums.

Der intrazelluläre Proteinabbau wird durch verschiedene Proteasen katalysiert. Das wichtigste System ist nach neueren Erkenntnissen das Ubiquitin-Proteasom-System (siehe Abbildung 1). Proteine, die zum Abbau vorgesehen sind, werden mit Ubiquitin, einem Peptid, konjugiert. Diese Reaktion wird durch mehrere Enzyme katalysiert, die als E1, E2 und E3 bezeichnet werden. Proteine, die mit Ubiquitin markiert sind, werden in Proteasome eingeführt. Letztere stellen Fass-ähnliche Gebilde dar, die aus mehreren Proteinen zusammengesetzt sind und im Inneren verschiedene Proteasen enthalten, die die eingeführten Proteine in kleine Peptide zerlegen (siehe Abbildung 2). Die resultierenden Peptide werden dann durch intrazelluläre

Peptidasen zu freien Aminosäuren abgebaut. Neuere Untersuchungen zeigen, dass die Regulation dieses Systems maßgeblich den Turnover von Proteinen beeinflusst. Anabole Hormone wie IGF-1, Androgene oder Insulin führen zu einer Down-Regulation dieses

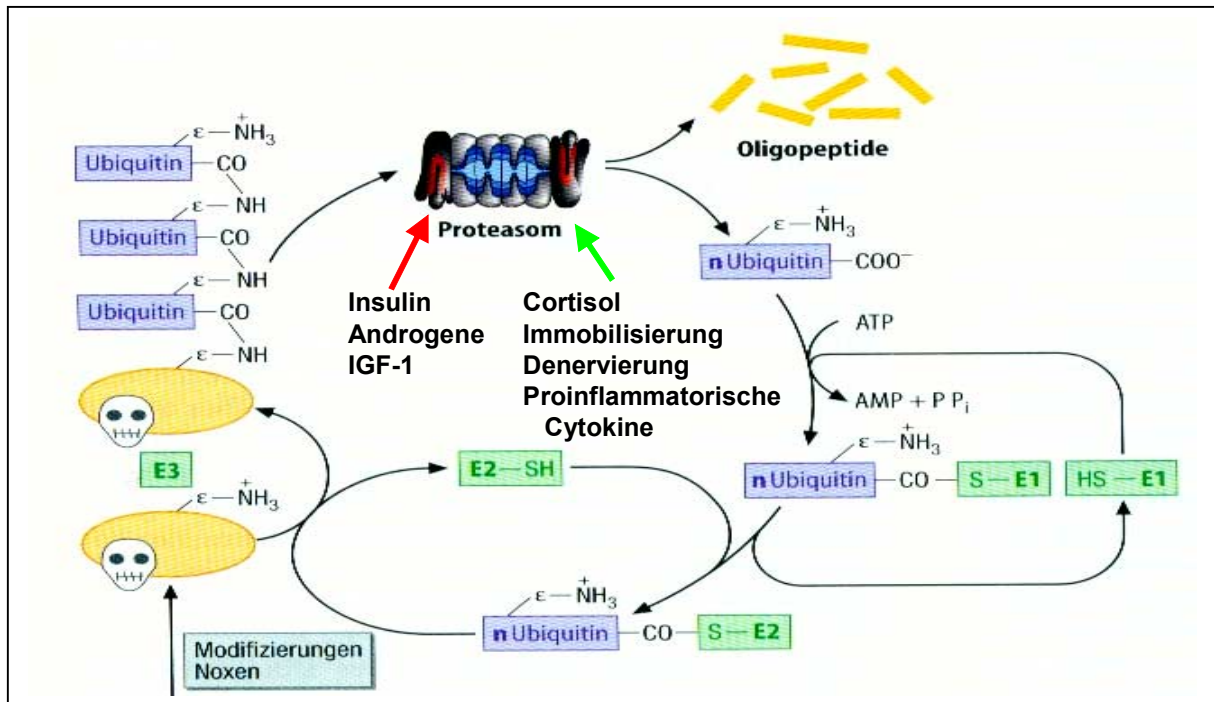


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Ubiquitin-Proteasom-Systems

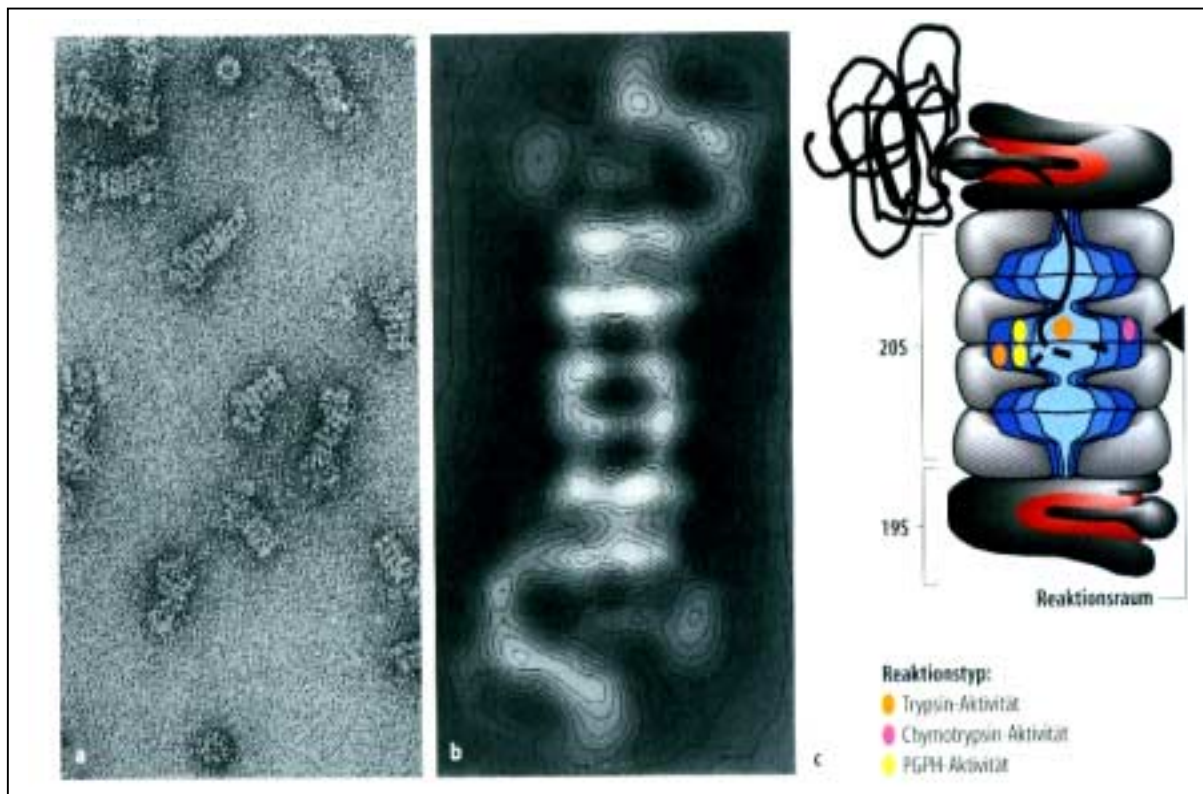


Abbildung 2: Aufbau von Proteasomen. Links und Mitte: Elektronenmikroskopische Aufnahmen. Rechts: schematische Abbildung mit Darstellung der Proteinuntereinheiten und den im Inneren befindlichen Proteasen

Systems und über eine Hemmung des intrazellulären Proteinabbaus zu einer positiven Stickstoffbilanz. Katabole Hormone wie Cortisol oder Glukagon führen zu einer Aktivierung dieses Systems und damit über eine gesteigerte Proteolyse zu einer negativen Stickstoffbilanz. Neuere Untersuchungen zeigen, dass auch Immobilisierung und Denervierung von Muskeln zu einer Hoch-Regulation dieses Systems und damit zu einem Verlust an Masse des betreffenden Muskels führt. Auch proinflammatorische Zytokine stimulieren dieses System. Dies erklärt beispielsweise die starke Muskelatrophie, die bei Krebspatienten häufig auftritt. Krebszellen produzieren Zytokine, die über das Blut in die Muskulatur gelangen und dort über eine Aktivierung des Ubiquitin-Proteasom-Systems zu einem starken Abbau von Muskelprotein führen.

Aminosäuren, die im Zuge der Proteolyse freigesetzt werden, können großteils wieder für die Proteinsynthese verwendet („reutilisiert“) werden. Ein mehr oder weniger großer Anteil der Aminosäuren wird aber transaminiert oder desaminiert und zur Energiegewinnung genutzt. Dieser Anteil der Aminosäuren steht zur Proteinsynthese nicht mehr zur Verfügung. Die Tatsache, dass nicht alle im Rahmen des Proteinturnovers freigesetzten Aminosäuren wieder für die Proteinsynthese verwendet werden können ist auch der Grund, warum der Organismus auch im Erhaltungszustand einen exogenen Bedarf an Aminosäuren hat. Die Aminosäuren, die im Rahmen der Proteolyse aus zellulären (z.B. Muskel-) Proteinen freigesetzt werden und nicht mehr für die Proteinsynthese verwendet werden können, müssen mit dem Futter zugeführt werden, um eine ausgeglichene Stickstoffbilanz zu gewährleisten.

Für Wachstum, also Ansatz von Körperprotein, werden über den Erhaltungsbedarf hinaus zusätzlich Aminosäuren benötigt. Der Bruttobedarf an Aminosäuren errechnet sich aus dem Quotienten der Menge der im Organismus retinierten Aminosäuren (= Nettobedarf) und ihrer Verwertung für den Proteinansatz. Die Verwertung der Aminosäuren beinhaltet ihre Verdaulichkeit und die intermediäre Verwertung für die Proteinsynthese. Da gerade die Verdaulichkeit von Aminosäuren aus Futtermitteln sehr unterschiedlich sein kann, ist man bemüht, den Bedarf der Aminosäuren auf der Basis der verdaulichen Aminosäuren anzugeben. Der Bedarf an Aminosäuren wird meist über Dosis-Wirkungsbeziehungen mit den Leistungskriterien Wachstum und Futtermittelnutzung oder anhand von N-Bilanzuntersuchungen ermittelt.

Neben ihren Funktionen als Bausteinen von Proteinen haben die meisten Aminosäuren zusätzliche, spezifische Funktionen im Organismus. Die Decarboxylierung von Aminosäuren führt zu biogenen Aminen, die meist bereits in geringen Konzentrationen physiologisch sehr aktiv sind. Beispielsweise leiten sich einige Neurotransmitter (Serotonin, Gamma-Aminobuttersäure, Dopamin) aus Aminosäuren ab.

### **Tryptophan und seine Bedeutung in der Ernährung des Schweins**

Wie alle anderen Aminosäuren ist Tryptophan Bestandteil zellulärer Proteine und wird für die Proteinbiosynthese benötigt. Tryptophan spielt aber auch als Vorstufe des Serotonins eine wichtige Rolle für die Futteraufnahme des Schweins. Tryptophan gelangt – wie auch andere Aminosäuren – durch die Blut-Hirn-Schranke in das Gehirn. Dieser Transport wird durch ein Transportsystem katalysiert, das nicht nur Tryptophan, sondern auch andere große neutrale Aminosäuren („large neutral amino acids“) in das Gehirn transportiert. Im Gehirn wird Tryptophan decarboxyliert und hydroxyliert, wodurch Serotonin (= 5-Hydroxytryptamin) entsteht. Serotonin bindet im Hirn an spezifische Rezeptoren und vermittelt dadurch seine Wirkungen. Unter anderem stimuliert Serotonin den Futterverzehr.

**Die Rolle des Tryptophans für den Futterverzehr des Schweins**

Unzureichende Tryptophanversorgung führt daher zu einer deutlichen Reduktion des Futterverzehrs. In einer eigenen Untersuchung führte eine Erhöhung der Tryptophankonzentration des Futters von 1,5 auf 2,6 g/kg zu einer Steigerung des Futterverzehrs um etwa 60% (Abbildung 3). Die Lebendmassezunahmen nahmen durch eine Steigerung der Tryptophankonzentration des Futters sogar um 70% zu. Um zu überprüfen, ob die Steigerung der Lebendmassezunahmen durch Tryptophanzulage auf eine Steigerung des Futterverzehrs oder auf eine verbesserte Tryptophanversorgung *per se* zurückzuführen sind, wurde in diesem Versuch eine pair-fed Gruppe mitgeführt, deren Futter ebenfalls 2,6 g Tryptophan/kg enthielt. Diese Gruppe erhielt die gleiche Futtermenge wie die Gruppe, deren Futter nur 1,5 g Tryptophan/kg enthielt. Die Lebendmassezunahmen dieser beiden Gruppen waren praktisch identisch. Dies deutet darauf hin, dass die Erhöhung der Tryptophanzulage das Wachstum praktisch ausschließlich durch eine Steigerung des Futterverzehrs verbesserte. Eine bessere Versorgung mit Tryptophan für die Proteinsynthese war offensichtlich nicht für die Steigerung der Lebendmassezunahmen verantwortlich. In diesem Versuch sollte auch überprüft werden, ob eine Steigerung der Energiedichte von 13 auf 14 MJ umsetzbarer Energie/kg das Wachstum bei knapper Tryptophanversorgung verbessern kann. Dies war jedoch nicht der Fall. Die Futterverwertung war bei Fütterung der Rationen mit 2,6 g Tryptophan/kg jedoch etwas besser als bei Fütterung der Rationen mit 1,5 g Tryptophan/kg. Dies deutet darauf hin, dass das Verhältnis zwischen Muskel- und Fettsatz durch eine Steigerung der Tryptophanversorgung etwas verbessert werden konnte.

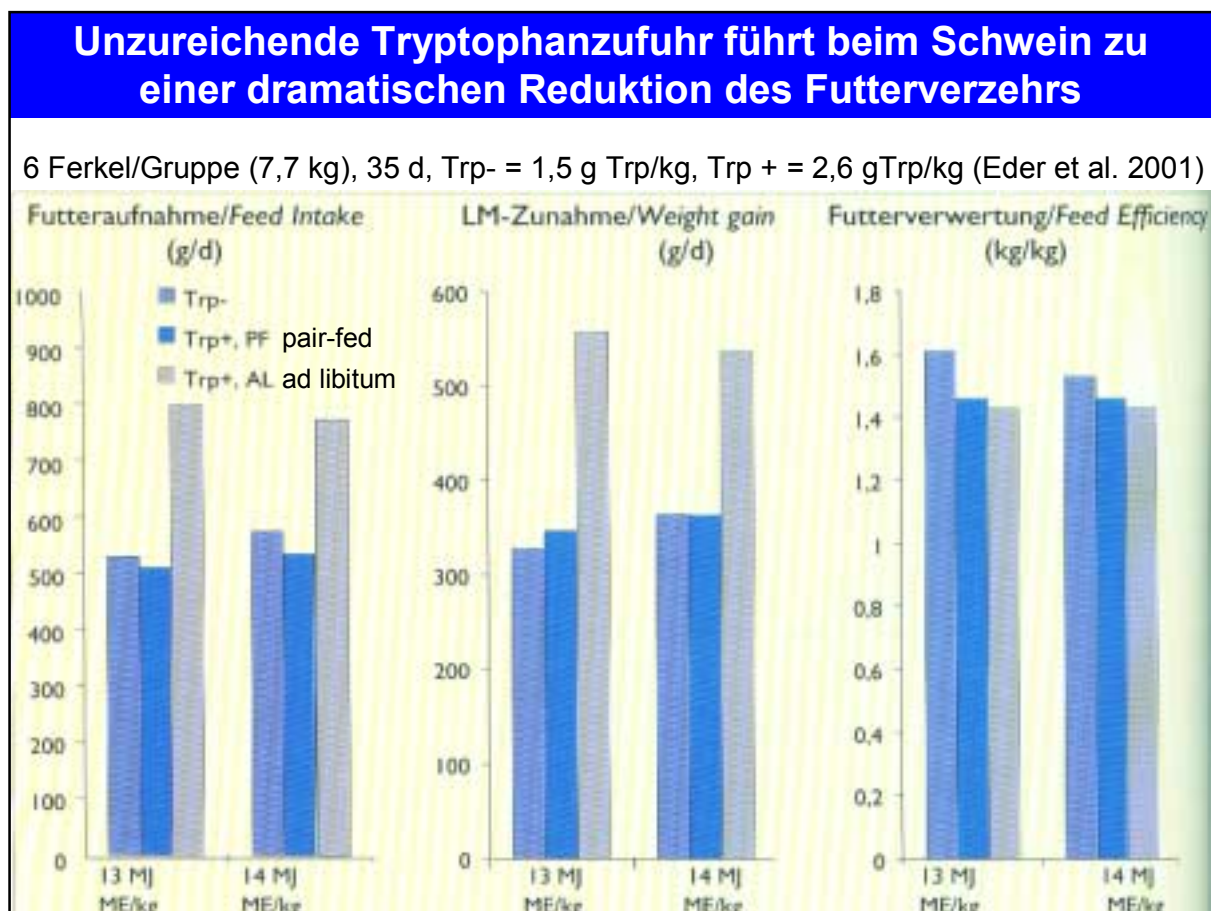


Abbildung 3: Einfluss der Tryptophankonzentration des Futters auf Leistungsparameter von Ferkeln bei unterschiedlicher Energiedichte des Futters

Insgesamt unterstreicht dieser Versuch die herausragende Rolle des Tryptophans für den Futtermittelverzehr und damit auch das Wachstum von Schweinen.

### Der Tryptophanbedarf des Ferkels

Einen weiteren Versuch mit Ferkeln haben wir durchgeführt, um den Tryptophanbedarf für optimales Wachstum und optimale Futtermittelverwertung zu bestimmen. In diesem Versuch wurden Futtermittelrationen mit 4 verschiedenen Tryptophankonzentrationen von 1,70 bis 2,60 g/kg eingesetzt (Abbildung 4). Mit Hilfe regressionsanalytischer Modelle wurde die Tryptophankonzentration des Futtermittels berechnet, bei der 95% des Maximums von Futtermittelverzehr, Lebendmassezunahmen und Futtermittelverwertung erreicht wurden. Die entsprechenden Tryptophankonzentrationen lagen zwischen 2,07 und 2,14 g/kg Futtermittel. Als Empfehlung leitet sich aus diesem Versuch eine Tryptophankonzentration von 2,10 g/kg Futtermittel bzw. 0,156 g/MJ ME ab. Auf der Basis des standardisiert ileal verdaulichen Tryptophans betragen die Empfehlungen 1,85 g/kg bzw. 0,137 g/MJ ME.

<b>Tryptophanversorgung und Leistungsdaten bei Ferkeln</b>				
<b>Tryptophankonzentration (g/kg)</b>	1,70	2,00	2,30	2,60
Leistungsdaten				
Anfangsmassen (kg)	7,7	7,7	7,7	7,7
Endmassen, Tag 35 (kg)	20,3	23,3	23,3	23,8
Tägliche Zunahmen (g)	360 <sup>a</sup>	445 <sup>b</sup>	445 <sup>b</sup>	459 <sup>b</sup>
Täglicher Futtermittelverzehr (g)	538 <sup>a</sup>	637 <sup>b</sup>	641 <sup>b</sup>	655 <sup>b</sup>
Futtermittelverwertung (g/g)	1,51	1,44	1,44	1,43
95% des Maximums für das Kriterium werden erreicht bei (g/kg)				
Zunahmen	2,09			
Futtermittelverzehr	2,14			
Futtermittelverwertung	2,07			
Optimale Konzentration	Brutto: > 2,10 g/kg (0,156 g Trp/MJ ME), Trp:Lys = 0,19 Verdaulich: > 1,85 g/kg (0,137 g/MJ ME), Trp:Lys = 0,19			
Eder, Peganova, Kluge (2003)	NRC (1998): Trp/Lys = 0,18 bzw. 0,17			

Abbildung 4: Einfluss der Tryptophankonzentration des Futtermittels auf Futtermittelaufnahme, Lebendmassezunahme und Futtermittelverwertung von Ferkeln

Häufig wird der Bedarf einer Aminosäure auf den Bedarf an Lysin bezogen. Bezieht man die optimale Tryptophankonzentration des Futtermittels auf die Lysinkonzentration, so ergibt sich in unserer Untersuchung ein optimales Verhältnis von 0,19:1. Dies deckt sich mit den meisten Untersuchungen der Literatur, bei denen das optimale Verhältnis zwischen Tryptophan und Lysin (um 95% des Maximums der Wachstumsleistung zu erreichen) im Bereich zwischen

0,18 und 0,20 lag. Um das Leistungsvermögen vollständig auszuschöpfen dürfte allerdings ein Verhältnis von 0,22:1 notwendig sein. Anzumerken ist, dass die Angabe des optimalen Verhältnisses zwischen Tryptophan und Lysin nur dann Sinn macht, wenn Lysin leistungslimitierend wirkt. Sobald Lysin über den Bedarf hinaus zugelegt wird, ist das Verhältnis zwischen Tryptophan und Lysin wenig aussagekräftig.

### Der Tryptophanbedarf des Mastschweins

Um den Tryptophanbedarf des Mastschweins abzuleiten, haben wir drei Versuche durchgeführt, in denen die Wirkung unterschiedlicher Tryptophankonzentrationen des Futters auf Futtermittelverzehr, Lebendmassezunahmen, Futtermittelverwertung und Stickstoffbilanz bei Schweinen in den Lebendmasseabschnitten 25-50, 50-80 und 80-110 kg bestimmt wurde. Mit Hilfe regressionsanalytischer Modelle wurde die Tryptophankonzentration des Futters berechnet, bei der 95% des Maximums dieser Kriterien erreicht wurden. Die Dosis-Wirkungsbeziehungen für diese Kriterien in den Lebendmasseabschnitten 25-50, 50-80 und 80-110 kg sind in den Abbildungen 5 bis 7 dargestellt. Eine Übersicht über die Empfehlungen, die sich aus diesen Versuchen ableiten, ist in Abbildung 8 gegeben. Unter Berücksichtigung aller Leistungskriterien lag der Bedarf an standardisiert ileal verdaulichem Tryptophan (um 95% des Maximums der Leistung zu erreichen) im Abschnitt zwischen 25 und 50 kg bei 2,00 g/kg Futter, im Lebendmasseabschnitt zwischen 50 und 80 kg bei über 1,70 g/kg Futter und im Lebendmasseabschnitt zwischen 80 und 110 kg bei 1,22 g/kg Futter. Die notwendigen absoluten täglichen Mengen an standardisiert ileal verdaulichem Tryptophan lagen bei 3,4; 3,7 und 3,8 g in den drei Lebendmasseabschnitten, die Verhältnisse zwischen ileal verdaulichem Tryptophan und der umsetzbaren Energie des Futters bei 0,143; 0,127 und 0,09 g/MJ. Auffällig ist, dass die ermittelte Bedarfswerte deutlich über den Empfehlungen des NRC (1998) lagen.

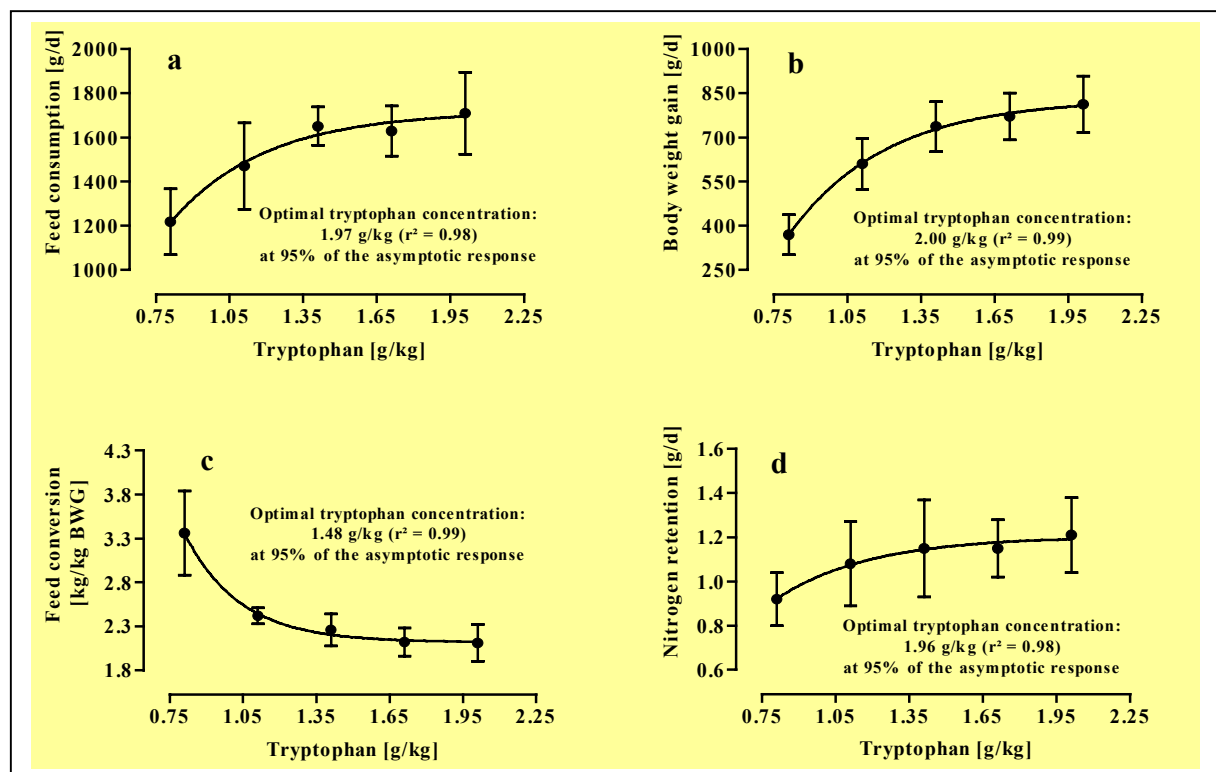


Abbildung 5: Einfluss der Konzentration des standardisiert ileal verdaulichen Tryptophans auf Futtermittelaufnahme, Lebendmassezuwachs und N-Ansatz bei Schweinen im Lebendmassebereich zwischen 25 und 50 kg (Eder et al. 2003)

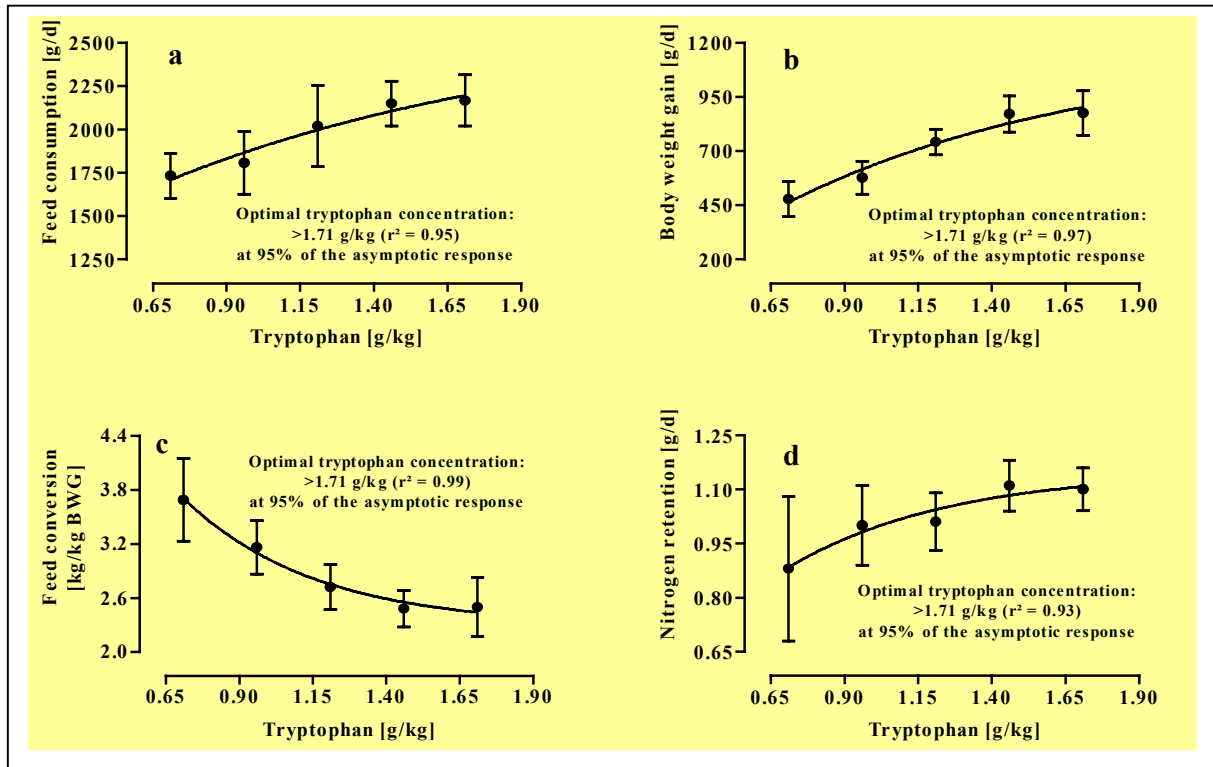


Abbildung 6: Einfluss der Konzentration des standardisiert ileal verdaulichen Tryptophans auf Futteraufnahme, Lebendmassezuwachs und N-Ansatz bei Schweinen im Lebendmassebereich zwischen 50 und 80 kg (Eder et al. 2003)

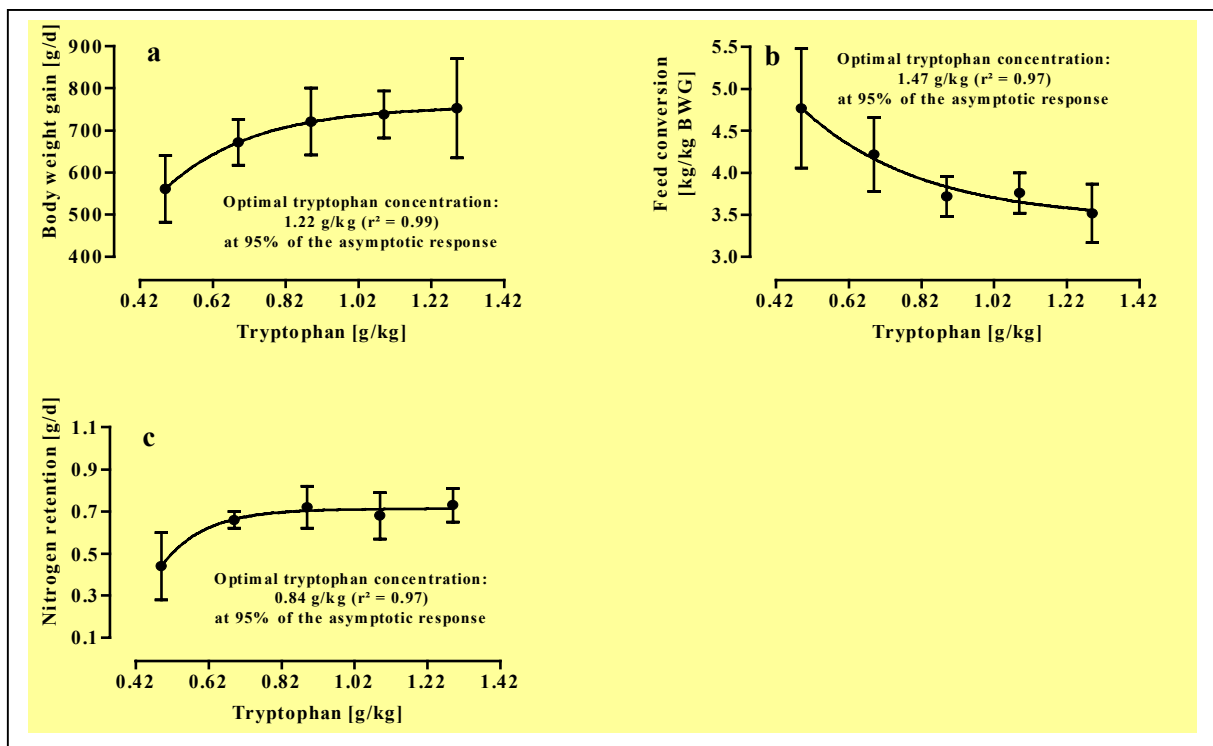


Abbildung 7: Einfluss der Konzentration des standardisiert ileal verdaulichen Tryptophans auf Futteraufnahme, Lebendmassezuwachs und N-Ansatz bei Schweinen im Lebendmassebereich zwischen 80 und 110 kg (Eder et al. 2003)

**Optimaler Einsatz von Tryptophan bei Mastschweinen in unterschiedlichen Lebendmassebereichen (Angaben auf der Basis standardisierter ileal verdaulicher AS)**

Lebendmassen	25-50 kg	50-80 kg	80-110 kg
Einsatzbreite im Versuch (g/kg)	0,81-2,01	0,71-1,71	0,49-1,29

95% des Maximums des Kriteriums wurden erreicht bei (g/kg)

Futteraufnahme	1,97	> 1,71	Keine DWB
Zunahmen	2,00	> 1,71	1,22
Futterverwertung	1,48	> 1,71	1,47
N-Bilanz	1,96	> 1,71	0,84
Optimale TRP-Konzentration (g/kg)	2,00 (1,50)	> 1,71 (1,20)	1,22 (1,0)
TRP Zufuhr (g/d)	3,4 (2,8)	3,7 (3,1)	3,8 (2,9)
TRP/ME (g/MJ)	0,143 (0,110)	0,127 (0,088)	0,090 (0,073)
TRP/LYS*	0,23	> 0,21	0,22

Lysingehalte (SID): 8,69; 8,02; 5,63. Empfehlungen des NRC (1998) angegeben in Klammer

Empfehlungen (Trp:Lys): GfE (1987): 0,20; ARC (1988): 0,15; NRC: 0,17-0,19

Abbildung 8: Übersicht zum Bedarf an Tryptophan bei Mastschweinen in unterschiedlichen Lebendmassebereichen (Angaben auf der Basis standardisierter ileal verdaulicher AS, Eder et al. 2003)

**Threonin und seine Bedeutung in der Ernährung des Schweins**

Threonin ist Bestandteil von Körperproteinen und essentiell für die Proteinsynthese beim Nutztier. Bei Einsatz von Futtermitteln auf der Basis von Weizen, Gerste und Soja ist Threonin beim Schwein nach dem Lysin die zweit-limitierende Aminosäure. Eine besondere Rolle spielt das Threonin für die Funktion des Gastrointestinaltraktes. Die Glykoproteine des Mucus, der von den Darmzellen produziert wird, sind nämlich sehr reich an Threonin. Die Proteine des ilealen Sekretes bestehen beispielsweise zu 28% aus Threonin. In Speichel, Magensekret und caecalem Sekret betragen die Anteile des Threonins an den gesamten Aminosäuren 16, 23 bzw. 25%. Der Mukus, der im Darm von schleimbildenden Becherzellen gebildet wird, legt sich über das Darmepithel. Er schützt das Darmepithel nicht nur vor mechanischen und chemischen Noxen, sondern auch vor pathogenen Mikroorganismen. Der Mukus stellt aber als Bestandteil der beruhigten Zone („Unstirred layer“) über den Darmzellen auch eine Diffusionsbarriere für Nährstoffe und Makromoleküle dar. Nährstoffe, die in diese beruhigte Zone eingetreten sind, können in Kontakt mit der Zellmembran der Darmepithelzellen treten und dann absorbiert werden. Daher ist der intestinale Mukus auch wichtig für die Absorption von Nährstoffen.

Aus den hohen Threoningehalten des Mukus im Darm resultieren erhöhte endogene fäkale Verluste. Muköse Proteine, die im Rahmen der Abschilfung von enteralen Zellen freigesetzt werden, können nämlich nur sehr unvollständig im Dünndarm reabsorbiert werden. Erhöht sind die endogenen fäkalen Verluste an Threonin aus mukösen Glykoproteinen besonders dann, wenn Futterrationen verfüttert werden, die zu einer erhöhten Viskosität des Darminhaltes führen. Dies ist der Fall bei Rationen, die reich an  $\beta$ -Glukanen und Pentosanen sind. Der Zusatz von Glukanasen und Xylanasen kann endogene Verluste von Threonin durch eine Absenkung der intraluminalen Viskosität vermindern. Die relativ hohen endogenen Verluste von Threonin über die Faeces erklären unter anderem den relativ hohen Erhaltungsbedarf von Threonin im Vergleich zum Leistungsbedarf. Nach Wang und Fuller (1989) beträgt das optimale Verhältnis zwischen Threonin und Lysin im Erhaltungsbedarf bei 1,47:1, im Leistungsbedarf hingegen nur bei 0,53:1. Neben den mukösen Proteinen sind auch Immunzellen reich an Threonin. Daher wird dem Threonin auch eine wichtige Bedeutung für die Funktion des Immunsystems zugeschrieben.

### **Der Threoninbedarf des Mastschweins**

Der Gesamtbedarf an Threonin des Mastschweins errechnet sich aus dem Erhaltungsbedarf und dem Leistungsbedarf. In Abbildung 9 ist eine Modellkalkulation (nach Roth und Ettle, mündliche Mitteilung) zur Ermittlung des Threoninbedarfs von Schweinen mit Lebendmassen von 20, 50 oder 80 kg und täglichen Zunahmen von 600, 800 und 900 g/d dargestellt. Berechnet wurde der absolute Threoninbedarf sowie das optimale Verhältnis zwischen Threonin und Lysin. Für diese Modellkalkulation wurde angenommen, dass der Erhaltungsbedarf für Lysin  $36 \text{ mg/kg}^{0,75}$  und der für Threonin  $53 \text{ mg/kg}^{0,75}$  beträgt (Wang und Fuller, 1989). Es wurde weiterhin angenommen, dass die Konzentrationen von Lysin und Threonin im Gesamtkörper des Schweins 6,4 bzw. 3,7 g/100 g Protein betragen (Mahan und Shields 1998). Die Grenzverwertung von Lysin und Threonin wurde mit 91% bzw. 83% berücksichtigt (Heger et al. 2002). Es errechnet sich ein Gesamtbedarf an wahr verdaulichem Threonin von 5,40; 7,24 und 7,46 g für Schweine mit Lebendmassen von 20, 50 und 100 kg bei Zunahmen von 600, 800 und 900 g/d. Der Großteil des Threonins wird erwartungsgemäß für den Ansatz benötigt. Mit zunehmenden Lebendmassen nimmt der relative Anteil für den Erhaltungsbedarf aber zu. Da das Verhältnis zwischen Threonin und Lysin im Erhaltungsbedarf deutlich höher ist als im Leistungsbedarf, erhöht sich mit zunehmenden Lebendmassen auch das optimale Verhältnis zwischen Threonin und Lysin von 0,67 auf 0,72. In einer eigenen Untersuchung wurde der Threoninbedarf von Mastschweinen im Lebendmassebereich zwischen 30 und 50 kg experimentell mit Hilfe eines Dosis-Wirkungsversuches überprüft. Dazu wurden Futterrationen eingesetzt, deren Threoninkonzentrationen zwischen 5,2 und 7,2 g/kg betragen. Die entsprechenden Konzentrationen an standardisiert ileal verdaulichem Threonin lagen zwischen 4,3 und 6,3 g/kg. Das Maximum von Futterverzehr, Lebendmassezunahmen und N-Retention zeigte sich in diesem Versuch erst bei einer Konzentration Threonin von 6,6 g/kg an gesamtem Threonin bzw. 5,7 g/kg an wahr verdaulichem Threonin. Das optimale Verhältnis zwischen Threonin und Lysin lag bei 0,74 bzw. 0,76. Die Futterverwertung war hingegen bereits bei Konzentrationen von 5,9 bzw. 5,0 g gesamtem bzw. ileal verdaulichem Threonin sowie bei einem Threonin:Lysin-Verhältnis von 0,65 maximiert.

Die meisten Versuche, die in letzter Zeit durchgeführt wurden, zeigen, dass Optimum von Lebendmassezunahmen und Futterverwertung von Schweinen im Lebendmassebereich zwischen 16 und 120 kg bei einem Threonin:Lysin-Verhältnis von etwa 0,70 erreicht werden (Abbildungen 11 und 12).

<b>Lebendmasse (kg)</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
Zuwachs (g/d)	600	800	900
Proteinansatz (g/d) <sup>1</sup>	110	140	130
Bedarf für Erhaltung <sup>2</sup>			
Lys (g/d)	0,34	0,68	1,14
Thr (g/d)	0,50	1,00	1,67
Bedarf für Ansatz <sup>2</sup>			
Lys (g/d)	7,74	9,85	9,14
Thr (g/d)	4,90	6,24	5,79
Gesamtbedarf <sup>2</sup>			
Lys (g/d)	8,08	10,53	10,28
Thr (g/d)	5,40	7,24	7,46
<b>Thr:Lys</b>	<b>0,67</b>	<b>0,69</b>	<b>0,72</b>

1 nach GfE (1987), 2 Basis: wahr verdauliche AS

Abbildung 9: Optimales Threonin:Lysin-Verhältnis bei Schweinen mit unterschiedlicher Lebendmasse (Modellrechnung nach Roth und Etle, mündliche Mitteilung)

Threoninkonzentration (g/kg)	5,2 (4,3)	5,9 (5,0)	6,6 (5,7)	7,2 (6,3)
Lysinkonzentration (g/kg)	9,1 (7,7)	9,1 (7,7)	8,9 (7,5)	9,1 (7,7)
Thr:Lys	0,57 (0,56)	0,65 (0,65)	0,74 (0,76)	0,79 (0,82)
<b>Leistungsdaten</b>				
Anfangsmassen (kg)	30,3	30,1	30,1	29,6
Endmassen (kg)	50,4	50,9	51,2	50,9
Futtertage	21,9	21,0	20,5	21,9
Tägliche Zunahmen (g)	948 <sup>a</sup>	1020 <sup>ab</sup>	1053 <sup>b</sup>	1002 <sup>ab</sup>
Täglicher Futtermittelverzehr (g)	1957	1987	2042	1971
Futtermittelverwertung (g/g)	2,06	1,95	1,95	1,97
N-Retention (% der Aufnahme)	59	61	65	62

N=15/Gruppe, Kastraten, (DL x DE) x PI Kluge, Eder (unveröffentlicht)

Abbildung 10: Threoninversorgung und Leistungsdaten bei Mastschweinen zwischen 30 und 50 kg. Angegeben sind die absoluten Threonin- und Lysingehalte der Futterrationen und die Gehalte an standardisiert ileal verdaulichem Threonin und Lysin (in Klammer).

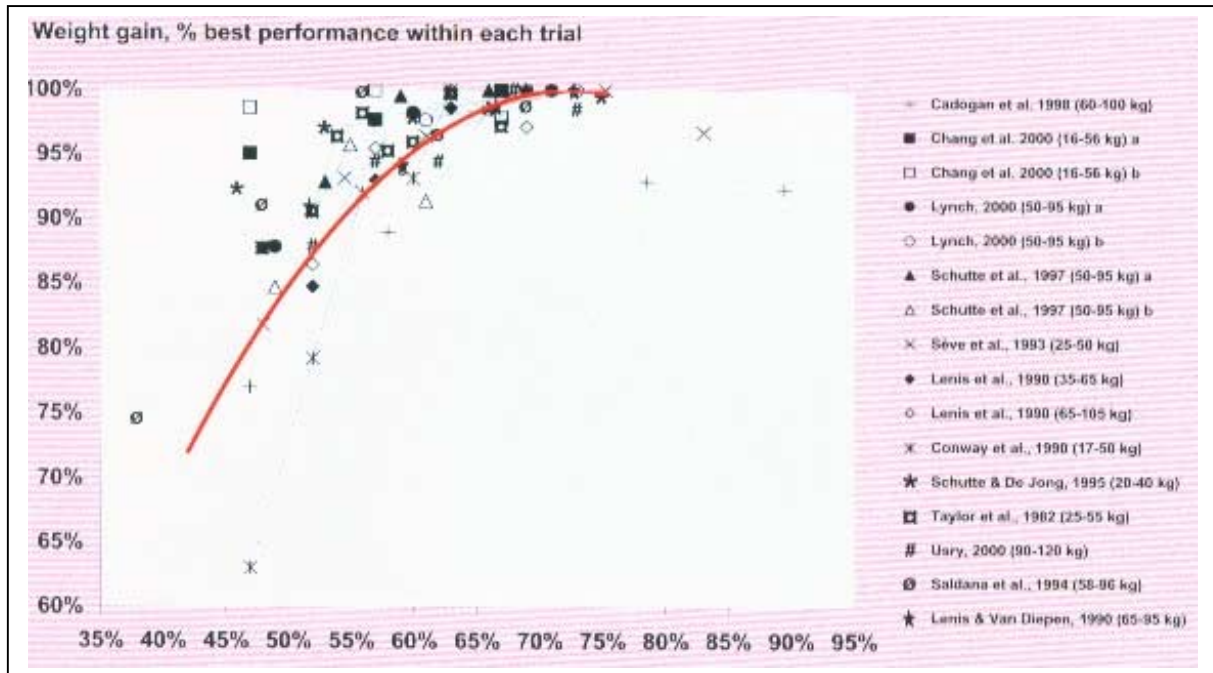


Abbildung 11: Einfluss des Threonin:Lysin-Verhältnisses auf die Lebendmassezunahmen von Schweinen – Zusammenstellung der Ergebnisse verschiedener Versuche (Ajinomoto Eurolysine Information No 26)

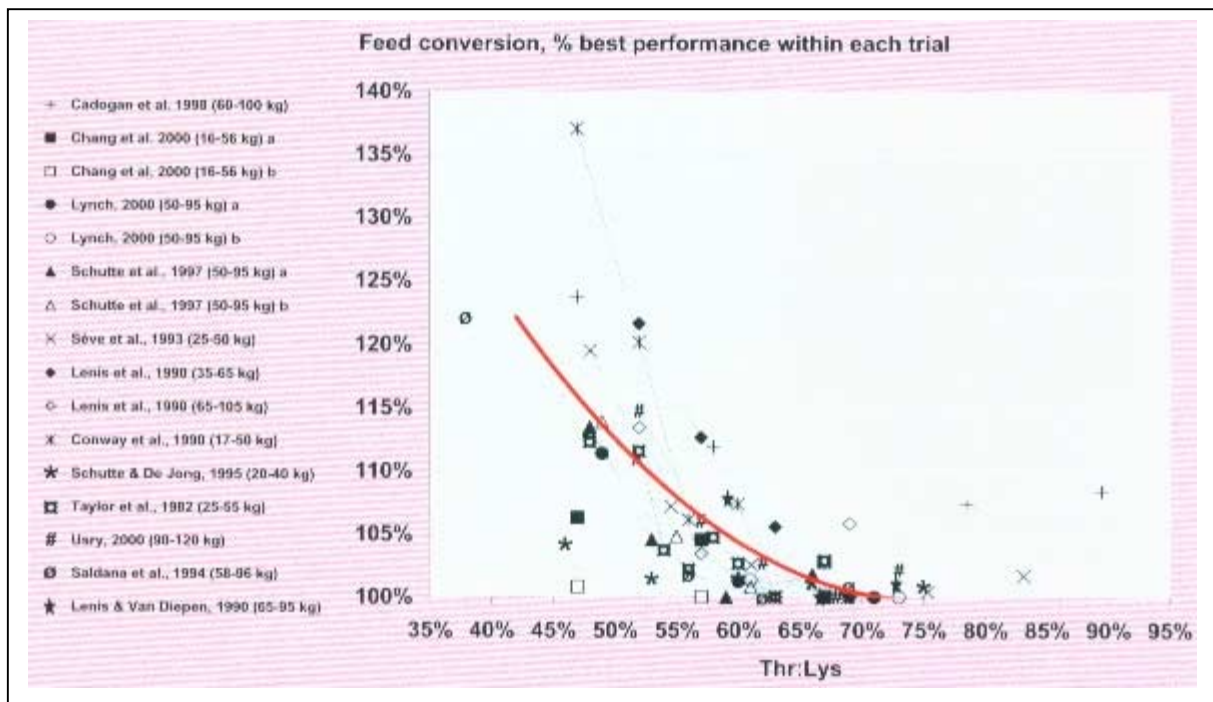


Abbildung 12: Einfluss des Threonin:Lysin-Verhältnisses auf die Futterverwertung von Schweinen – Zusammenstellung der Ergebnisse verschiedener Versuche (Ajinomoto Eurolysine Information No 26)

## **Zusammenfassung**

Tryptophan und Threonin sind zwei essentielle Aminosäuren, die in der Ernährung des Schweins eine wichtige Rolle spielen. Neben ihrer essentiellen Funktion für die Proteinbiosynthese haben beide Aminosäuren spezifische Funktionen. Tryptophan beeinflusst als Vorstufe des Neurotransmitters Serotonin die Futtermittelaufnahme beim Schwein. Threonin kommt in besonders hohen Konzentrationen in mukösen Proteinen und in Immunzellen vor. Daher spielt Threonin eine wichtige Rolle für die Funktion des Darms und des Immunsystems. Neuere Forschungsergebnisse zeigen, dass der Bedarf der beiden Aminosäuren beim Schwein höher sein dürfte als bislang angenommen.

## **Literatur:**

Agricultural Research Council (1988): The Nutrient Requirements of Pigs. Slough, England: Commonwealth Agricultural Bureaux.

Eder, K., Nonn, H., Kluge, H., Peganova, S. (2003) Tryptophan requirement of growing pigs at various body weights. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 87: 336-46.

Eder, K., Peganova, S., Kluge, H. (2001) Studies on the tryptophan requirement of piglets. Arch. Anim. Nutr. 55: 281-97.

Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (Ausschuss für Bedarfsnormen) (1987) Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. DLG-Verlag, Frankfurt (Main).

Mahan, D.C., Shields, R.G., Jr. (1998) Essential and nonessential amino acid composition of pigs from birth to 145 kilograms of body weight, and comparison to other studies. J. Anim. Sci. 76: 513-21.

National Research Council (1998) Nutrient requirements of swine. Tenth Revised Edition, National Academy Press, Washington.

Wang, T.C., Fuller, M.F. (1989) The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. 1. Experiments by amino acid deletion. Br. J. Nutr. 62: 77-89.

Auszug aus der anschließenden Diskussion mit dem Autor:

Frage 1: Mit Tryptophan können Sonderwirkungen, wie eine erhöhte Futtermittelaufnahme verbunden mit einer höheren Tageszunahme, erzielt werden. Ist eine Abgrenzung zwischen dem Bedarf und möglichen Sonderwirkungen möglich?

Antwort: Zunächst ist das Aminosäurenverhältnis eine kritische Größe. Das Lysin-Tryptophanverhältnis ist nur bei Limitierung von Lysin aussagefähig. Es sollte auch das Aminosäuren-Energieverhältnis beachtet werden.

Frage 2: Gibt es Möglichkeiten den Tryptophanverlust über den Darm zu reduzieren?

Antwort: Das mit dem Mucin freigesetzte Tryptophan ist auf Grund der schlechten Verdaulichkeit des Mucins kaum zu nutzen. Die Viskosität des Chymus nimmt jedoch Einfluss auf den Tryptophanbedarf.

Frage 3: Mit welcher Bewertungsebene werden wir in Zukunft bei den Aminosäuren rechnen müssen?

Antwort: Die Bewertung auf Ebene der ileal verdaulichen Aminosäuren ist den Bruttowerten überlegen. Entscheidend ist aber die Zuverlässigkeit der Verdaulichkeitskoeffizienten. Die Gesellschaft für Ernährungsphysiologie arbeitet mit der präzäkalen Verdaulichkeit.