

Veterinärmedizinische Universität Wien

Department für Nutztiere und öffentliches Gesundheitswesen in der
Veterinärmedizin

Institut für Tierernährung

Aminosäurenbedarf und Aminosäurenverfügbarkeit
beim Hund – eine Literaturstudie

Diplomarbeit

zur Erlangung der Würde eines

Magister medicinae veterinariae (Mag. med. vet.)

im Zuge der Nostrifizierung an der

Veterinärmedizinischen Universität Wien

eingereicht von

Milos Zekic

Wien, Jänner 2012

Betreuerin:

Univ. Prof. Dr. med. vet. Dipl. Tzt. Christine Iben

Institut für Tierernährung

Department für Nutztiere und öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin

Veterinärmedizinische Universität Wien

Begutachter:

Ao. Univ. Prof. Dr. Alois Strasser

Institut für Physiologie, Pathophysiologie und Biophysik

Department für Biomedizinische Wissenschaften

Veterinärmedizinische Universität Wien

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Allgemeine Übersicht über den Aminosäurenbedarf und die Aminosäurenverfügbarkeit	2
2.1. Eiweiß und seine Funktion	2
2.2. Aminosäuren	2
2.2.1. Einteilung der Aminosäuren	3
2.2.1.1. Essentielle und nicht essentielle Aminosäure	3
2.2.1.2. Optische Aktivität von Aminosäuren.....	3
2.2.1.3. Glukogene und ketogene Aminosäuren.....	4
2.2.1.4. Einteilung nach chemischen Gesichtspunkten	4
2.3. Zusammensetzung der Aminosäuren in Körperproteinen bei erwachsenen Hunden.....	5
2.4. Protein-Turnover	5
2.5. Proteinquellen	6
2.6. Aminosäurenbioverfügbarkeit beim Hund.....	7
2.6.1. Methoden zur Bestimmung der Aminosäurenverfügbarkeit	7
2.6.1.1. In vitro Methoden	7
2.6.1.1.1. Chemische Tests	7
2.6.1.1.2. Enzymatische Verfahren.....	7
2.6.1.1.3. Mikrobiologische Assays	7
2.6.1.2. Direkte in vivo Methode.....	8
2.6.1.2.1. Verdaulichkeit der Aminosäuren.....	8
2.6.1.2.1.1. Definition der Verdauung.....	8
2.6.1.2.1.2. Verdauung der Proteine	8
2.6.1.2.1.3. Absorption	8
2.6.1.2.1.4. Proteinverdaulichkeit	9
2.6.1.2.1.5. Ileale Verdaulichkeit	9
2.6.1.2.1.6. Eiweiß- und Aminosäuren-Verdaulichkeit bei Hunden	10
2.6.1.2.1.7. Einflüsse auf die Eiweißverdauung beim Hund	11
2.6.1.2.1.7.1. Hunderasse und Alter.....	11
2.6.1.2.1.7.2. Zusammensetzung der Nahrung	11
2.6.1.2.1.7.3. Erhitzung.....	11
2.6.1.2.2. Wachstumstests (Growth Assays)	11
2.6.1.3. Indirekte in vivo Methode	12
2.6.1.3.1. Bewertung des Protein und Aminosäurenstatus im Plasma	12
2.6.2. Bioverfügbarkeit von D-Aminosäuren.....	14
2.7. Biologische Wertigkeit des Proteins.....	14
2.7.1. Methoden zur Bestimmung der Proteinqualität	15
2.7.2. Biologische Wertigkeit - ein Vergleich der verschiedenen Futtermittel	15

2.8. Eiweißbedarf des Hundes	17
2.8.1. Definition des Proteinbedarfes	17
2.8.2. Stickstoffbilanz	17
2.8.3. Empfehlungen zum Eiweiß- und Aminosäuregehalt in Alleinfuttermitteln	17
2.8.3.1. Empfehlungen zum Eiweißgehalt in Alleinfuttermitteln	17
2.8.3.1.1. Proteinbedarf - Empfehlungen von NRC, AAFCO und FEDIAF.....	18
2.8.3.2. Empfehlungen zum Aminosäuregehalt in Alleinfuttermitteln	19
2.8.3.2.1. Empfehlungen zum Argininbedarf	19
2.8.3.2.2. Empfehlungen zum Lysinbedarf.....	19
2.8.3.2.3. Empfehlungen zum Tryptophanbedarf	19
2.8.3.2.4. Empfehlungen zum Threoninbedarf	20
2.8.3.2.5. Empfehlungen zum Bedarf an Methionin und Cystin	20
2.8.3.2.6. Empfehlungen zum Bedarf an Tyrosin und Phenylalanin	21
2.8.3.2.7. Empfehlungen zum Histidinbedarf.....	21
2.8.3.2.8. Empfehlungen zum Leucinbedarf.....	22
2.8.3.2.9. Empfehlungen zum Isoleucinbedarf.....	22
2.8.3.2.10. Empfehlungen zum Valinbedarf.....	22
2.8.3.3. Symptome des Aminosäurenmangels, Funktion im Organismus und natürliche Quellen der Aminosäuren	23
3. Methoden.....	24
4. Ergebnisse	24
4.1. Verdaulichkeit von Proteinen und Aminosäuren beim Hund	24
4.2. Proteinbedarf des Hundes.....	26
4.2.1. Proteinbedarf im Wachstum	26
4.2.2. Proteinbedarf im Erhaltungsstoffwechsel.....	27
4.2.3. Proteinbedarf für die Reproduktion und Laktation.....	28
4.2.4. Protein – Turnover	28
4.3. Aminosäurenbedarf des Hundes	30
4.3.1. Argininbedarf.....	30
4.3.2. Lysinbedarf	31
4.3.3. Tryptophanbedarf	31
4.3.4. Threoninbedarf.....	31
4.3.5. Bedarf an Methionin und Cystin.....	32
4.3.6. Bedarf an Tyrosin und Phenylalanin.....	32
4.3.7. Histidinbedarf	34
4.3.8. Bedarf an Leucin, Isoleucin und Valin	34
4.3.9. Taurinbedarf.....	34
5. Diskussion.....	35
5.1. Eiweißbedarf und Aminosäurenverfügbarkeit	35
5.2. Aminosäurenbedarf des Hundes	37
5.3. Ergebnisse zum Aminosäuregehalt in Alleinfuttermitteln	40

5.4. Ein Vergleich der Empfehlungen von NRC und AAFCO zum Eiweiß- und Aminosäuregehalt in Alleinfuttermitteln für Hunde im Erhaltungsstoffwechsel.....	40
5.5. Ein Vergleich der Empfehlungen von NRC und FEDIAF zum Eiweiß- und Aminosäuregehalt in Alleinfuttermitteln für Hunde im Erhaltungsstoffwechsel.....	41
5.6. Ein Vergleich der durchschnittlichen Aminosäuregehalte von Alleinfuttermitteln	42
6. Zusammenfassung.....	44
7. Summary.....	46
8. Danksagung	47
9. Literaturverzeichnis.....	48

Abkürzungsverzeichnis

AA	.....	amino acid
AAFCO	.....	Association of American Feed Control Officials
Abb.	.....	Abbildung
AS	.....	Aminosäure
ca.	.....	circa
CP	.....	crude protein
CS	.....	chemical score
DCM	.....	dilatative Kardiomyopathie
FEDIAF	.....	European Pet Food Industry Federation
ME	.....	metabolizable energy
NPU	.....	Nettonutzwert
NRC	.....	National Research Council
pcv.	.....	präzäkal verdaulich
PER	.....	Proteinwirkungsverhältnis
Tab.	.....	Tabelle
u.	.....	und
VK	.....	Verdauungskoeffizient
VQ	.....	Verdauungsquotient
z. B.	.....	zum Beispiel

Aminosäurenbedarf und Aminosäurenverfügbarkeit beim Hund

1. Einleitung

Eiweiß ist der mengenmäßig dominierende Baustein im Tierkörper und wird in Anlehnung an das griechische Wort „proteios“ (der Erste, der Wichtigste) auch Protein genannt. Es zählt neben Kohlenhydraten, Fetten, Vitaminen, Mineralstoffen, Spurenelementen und Wasser zu den für den tierischen Organismus lebensnotwendigen Nahrungsbestandteilen (BEHM et al., 1986).

Magendie (1816) war der erste, der an Hunden demonstrierte, dass Proteine lebenswichtig sind, und dass Olivenöl oder Zucker allein das Leben nicht erhalten können. Wenn Proteine der Nahrung hinzugefügt wurden waren die Hunde längere Zeit in besserer Kondition (CARPENTER, 2003).

Proteine (Eiweiße) sind aus Aminosäuren aufgebaute Makromoleküle, die über eine Peptidbindung zwischen einer Amino-(-NH₂) und einer Karboxylgruppe (-COOH) miteinander verknüpft sind. Eiweiße können aus mehreren tausend chemisch miteinander verbundenen Aminosäuren bestehen.

α-Aminosäuren sind wahrscheinlich schon seit 3 Milliarden Jahren auf unserer Erde vorhanden. Dies haben Altersbestimmungen fossiler Mikroorganismen an kohlenstoffhaltigen Gesteinen ergeben. Auch außerhalb unseres Planeten existieren Aminosäuren: Sie sind in Meteoriten und in jüngster Zeit auch in Mondgesteinsproben aufgefunden worden. Die Entdeckungsgeschichte der Aminosäuren beginnt im Jahre 1806 mit der Isolierung des Asparagins. Über 500 Aminosäuren sind bereits in der Natur aufgefunden worden (DEGUSSA, 1984).

Die immer knapper werdenden Ressourcen machen sich auch im Heimtierfutterbereich bemerkbar, weshalb eine genaue Kenntnis des Bedarfes der Tiere erforderlich ist, um Unter- oder Überversorgungen möglichst zu vermeiden. Dies trifft vor allem auf eiweißhaltige Einzelfuttermittel (Schlachtnebenprodukte, Sojaerzeugnisse) zu. Eine genaue Kenntnis des Aminosäurenbedarfes und der Aminosäurenverfügbarkeit erlaubt die Formulierung angepasster Rationen mit unterschiedlichen Eiweißträgern.

Die offensichtlichsten Zeichen eines Eiweißmangels sind vermindertes Wachstum bei jugendlichen Tieren und eine Abnahme der Körpermasse sowie verminderte Leistung und Produktion (z.B. Milch) bei erwachsenen Tieren (HAND et al., 2002).

2. Allgemeine Übersicht über den Aminosäurenbedarf und die Aminosäurenverfügbarkeit

2.1. Eiweiß und seine Funktion

Der Hund benötigt Proteine für die Erhaltung der Körpersubstanz und für die Neubildung von Gewebe, zum Beispiel im Wachstum oder während der Reproduktionsphase oder für die Milchsekretion (MEYER u. ZENTEK, 2005).

Die wichtigsten Aufgaben des Eiweißes sind seine katalytische Wirksamkeit (Enzyme), die regulativen Aufgaben (Peptid und Proteohormone), Stütz- und Schutzfunktionen (organische Substanz der Knochen, Bindegewebe, Haut, Haare), kontraktile Funktionen (Muskel) und Abwehrfunktionen (Immunkörper) (KIRCHGEßNER et al., 2011).

Die Proteine haben ungefähr folgende Zusammensetzung, in %:

Tabelle 1: Zusammensetzung der Proteine

Kohlenstoff	51-55
Sauerstoff	21,5-23,5
Wasserstoff	6,5-7,3
Stickstoff	15,5-18,0
Schwefel	0,5-2,0
Phosphor	0-1,5

(KIRCHGEßNER et al., 2011)

2.2. Aminosäuren

Die Reihenfolge der Aminosäuren innerhalb des Proteinmoleküls ist genetisch festgelegt und wird als Aminosäuresequenz bezeichnet (BEHM et al., 1986).

Nur die zwanzig proteinogenen Aminosäuren (Glycin, Alanin, Valin, Leucin, Isoleucin, Cystein, Methionin, Phenylalanin, Tyrosin, Tryptophan, Prolin, Serin, Threonin, Asparagin, Glutamin, Aspartat, Glutamat, Histidin, Lysin und Arginin) sind im genetischen Code berücksichtigt und deshalb regelmäßig in Proteinen zu finden (KOOLMAN u. RÖHM, 2003).

Aminosäuren (2-Amino-Carbonsäuren) sind wichtige Konstituenten für die erforderliche Synthese von Enzymen und anderen Proteinen und Vorläufer für die Synthese von Neurotransmittern und Hormonen. Zum Beispiel Serotonin, Katecholamine, Acetylcholin und Histamin sind Stoffwechselprodukte aus Tryptophan, Tyrosin, Cholin und Histidin (BOSCH et al., 2007).

Jedes Futtermittel zeichnet sich durch ein bestimmtes, artspezifisches Aminosäurenmuster aus, das aber je nach Herkunft und technischer Bearbeitung deutlichen Schwankungen unterliegt (BEHM et al., 1986).

2.2.1. Einteilung der Aminosäuren

2.2.1.1. Essentielle und nicht essentielle Aminosäure

Für den Hund essentielle Aminosäuren sind: Isoleucin, Leucin, Lysin, Methionin, Phenylalanin, Threonin, Tryptophan und Valin (CASE et al., 1997). Arginin und Histidin können nur in ungenügendem Ausmaß synthetisiert werden und werden als semiessentiell bezeichnet. Essentielle Aminosäuren können vom Körper selber nicht gebildet werden. Sie müssen deshalb über die Nahrung in der benötigten Menge und im richtigen Verhältnis zur Verfügung gestellt werden (GRANDJEAN, 2006). Wenn nichtessentielle Aminosäuren in ungenügender Menge resorbiert oder im Eiweißstoffwechsel gebildet werden können, dann werden essentielle Aminosäuren aus der Nahrung im Körper in nichtessentielle umgebaut (LEWIS et al., 1990).

2.2.1.2. Optische Aktivität von Aminosäuren

Die in den Proteinen vorkommenden Aminosäuren gehören der L-Reihe an. Werden dem tierischen Organismus Aminosäuren in der D- oder DL-Form zugeführt, so muss die D-Form umgewandelt werden. Dies ist möglich über eine Desaminierung zur α -Ketoform und anschließender Aminierung zur L-Aminosäure (BEHM et al., 1986).

Alle essentiellen Aminosäuren müssen in der L-Form aufgenommen werden, eine Verwertung von synthetisch hergestellten D-Aminosäuren wurde beim Hund für Tryptophan, Methionin und Phenylalanin nachgewiesen (MEYER u. ZENTEK, 2005).

2.2.1.3. Glukogene und ketogene Aminosäuren

Aus einigen Aminosäuren kann entweder ein glukogenes oder auch ein ketogenes Kohlenstoffgerüst gebildet werden (Tabelle 2) (HAND et al., 2002).

Tabelle 2: Glukogene und ketogene Aminosäure

Ausschließlich ketogen	Leuzin, Lysin
ausschließlich glukogen	Alanin, Serin, Glycin, Cystein, Asparaginsäure, Asparagin, Glutaminsäure, Glutamin, Arginin, Histidin, Valin, Threonin, Methionin, Prolin
ketogen und glukogen	Isoleuzin, Phenylalanin, Tyrosin, Tryptophan

(HAND et al., 2002)

2.2.1.4. Einteilung nach chemischen Gesichtspunkten

Nach chemischen Gesichtspunkten kann man Aminosäuren in drei Hauptgruppen unterteilen: neutrale, saure und basische Aminosäuren (Tabelle 3) (BEHM et al., 1986).

Tabelle 3: Einteilung der Aminosäuren nach chemischen Gesichtspunkten

Aminosäuren:		
neutrale	saure	basische
Alanin	Asparaginsäure	Arginin
Asparagin	Glutaminsäure	Histidin
Cystein/Cystin		Lysin
Glutamin		
Glycin		
Hydroxyprolin		
Isoleucin		
Leucin		
Methionin		
Phenylalanin		
Prolin		
Serin		
Threonin		
Tryptophan		
Tyrosin		
Valin		

(BEHM et al., 1986)

2.3. Zusammensetzung der Aminosäuren in Körperproteinen bei erwachsenen Hunden:

Tabelle 4: Zusammensetzung der Aminosäuren in Körperproteinen bei erwachsenen Hunden

Aminosäuren:	$\mu\text{mol g}^{-1}$ Rohprotein (Nx6,25) ^a
Lysin	431
Arginin	356
Histidin	134
Isoleucin	290
Leucin	503
Methionin	137
Phenylalanin	212
Threonin	353
Valin	393
Aspartat	781
Glutamat	863
Glycin	1305

(D´MELLO, 2003)

2.4. Protein-Turnover

Alle Proteine werden im Körper ständig ab- und wieder aufgebaut. Dieser Vorgang wird als Protein-Turnover bezeichnet. Der Körper kann neue Proteine und Enzyme synthetisieren, wenn die dazu erforderlichen Aminosäuren vorhanden sind. Woher diese Aminosäuren kommen ist unwichtig. Zellen nutzen Aminosäuren aus einer Reihe von Quellen, einschließlich der Aminosäuren aus den Proteinen im Futter, einzelne Aminosäuren, die dem Futter zugesetzt werden und Aminosäuren, die vom Körper selbst produziert werden.

Zellen, die neue Proteine synthetisieren, können nicht zwischen Aminosäuren aus Getreide (zum Beispiel Mais und Reis) und Aminosäuren aus Fleisch (zum Beispiel Huhn und Rind) unterscheiden. Das einzig Wichtige ist, dass alle zur Synthese eines bestimmten Proteins benötigten Aminosäuren in ausreichender Menge vorhanden sind. Ist dies nicht der Fall, so ist die Proteinsynthese eingeschränkt. Während des protein-Turnovers tritt ein Teil der Aminosäuren in katabolische Stoffwechselwege ein, die zu einem permanenten Verlust führen. Die Stickstoffmenge, die Tag für Tag aufgrund der ständigen Abbauprozesse im Körper verloren geht, wird obligatorischer oder auch endogener Stickstoffverlust genannt. Trauma, Infektion, schwere Sepsis und Verbrennungen erhöhen den Protein-Turnover und den Verlust von Stickstoff; eine längere Fasten- oder Hungerperiode verringert diese Verluste. Stickstoff verlässt den Körper in der Regel über den Kot (Stickstoff, Proteine, Zellen), über den Harn, durch Hautzellabstoßung und durch Haarausfall (HAND et al., 2002).

2.5. Proteinquellen

Die Proteine/Aminosäuren in Kleintierfuttermitteln stammen aus unterschiedlichen Quellen (HAND et al., 2002).

Typische Bestandteile (Proteinquellen) von Kleintierfuttern von den Firmen Royal Canin und Hill's sind in der Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Typische Bestandteile (Proteinquellen) im Kleintierfutter der Firmen Royal Canin und Hill's

Zusammensetzung	
Royal Canin	Hill's
Getreide(Mais, Reis), Weizengluten, Geflügelmehl, Geflügelproteinisolat, Geflügelleber, L-Lysin, Taurin, L-Carnitin, DL-Methionin, L-Tyrosin, Ei getrocknet, Fleisch und tierische Nebenerzeugnisse(Schwein, Geflügel), Sardinen, Maisglutenfutter, Milchprotein, Erbsenkleie, Sojalecithin, Reisfuttermehl, Weizenstärke, Maisfuttermehl, Gerste, Gerste(extrudiert), Hefe, Eiweiß getrocknet, Sojaproteinisolat, Sojaprotein(hydolysiert), Fischmehl, L-Tryptophan	Schweineleber, Thruthannleber, Hühnerfleisch, Maismehl, Schwein, gemahlener Mais, gemahlener Weizen, dehydriertes Hühner- und Thruthannprotein, Sojabohnenschrot, Proteinhydrolysat (Fibrim1260®), dehydriertes Thunfischprotein, Sojabohnenmehl, L-Carnitin, L-Lysinhydrochlorid, Taurin, L-Tryptophan, Rind, gemahlener Reis, Kartoffelproteinextrakt, DL-Methionin, Ente, Entenleber, Lachs, Volltrockenei, Hühnerfleischproteinhydrolysat, dehydriertes Entenprotein, dehydriertes Lachsprotein, Lammleber, Lamm, Reismehl, getrockneter Weizen, Sojabohnenmehl, L-Arginin, Reisproteinkonzentrat, Fischmehl, Hühnerleberhydrolysat, L-Threonin

Aus Produktbuch Diätfuttermittel von Royal Canin und aus Ernährungsschlüssel 2008 von Hill's

Bei der Zusammenstellung von Futtermitteln werden häufig verschiedene Proteinquellen kombiniert, um die allgemeine Qualität und das Aminosäurenprofil zu verbessern. Proteinquellen werden auf der Basis der Ausgewogenheit der darin enthaltenen Aminosäuren kombiniert, so dass Mängel einer Quelle durch höhere Gehalte einer anderen Proteinquelle ausgeglichen werden. Maisprotein (Kleber) und Sojaextraktionsschrot werden häufig zur Proteinergänzung verwendet. Maisprotein enthält wenig Lysin und Tryptophan, während Sojaextraktionsschrot ausreichende Mengen dieser beiden Aminosäuren enthält. Eine andere Methode zur Verbesserung der Proteinqualität eines Futters ist der Zusatz von Aminosäuren (HAND et al., 2002).

In Diätfuttermitteln der Firmen Royal Canin und Hill's für Hunde werden L-Lysin, L-Lysinhydrochlorid, Taurin, DL-Methionin, L-Tyrosin, L-Tryptophan, L-Arginin und L-Threonin zugesetzt (aus Produktbuch Diätfuttermittel von Royal Canin und aus Ernährungsschlüssel 2008 von Hill's).

2.6. Aminosäurebioverfügbarkeit beim Hund

Die Aminosäurezusammensetzung eines Futtermittels oder einer Diät kann durch chemische Verfahren, Ionenaustauschchromatographie (Säurehydrolyse) mit kolorimetrischer oder fluorimetrischer Detektion der Aminosäuren analysiert werden. Wie hoch der Anteil ist, der resorbiert wird und zur Verfügung steht, kann nicht mit einfachen Labormethoden bestimmt werden. Bioverfügbar bedeutet, dass eine Aminosäure absorbiert wird und dem Gewebe für normale metabolische Funktionen zur Verfügung steht (AMMERMAN et al., 1995).

2.6.1. Methoden zur Bestimmung der Aminosäurenverfügbarkeit

Zur Bestimmung der Aminosäurenverfügbarkeit in den Futtermitteln wurden verschiedene Methoden entwickelt. Es gibt kein ausschließliches Verfahren, das als einziges eine gesicherte Aussage erlaubt. Die zur Verfügung stehende Methoden können in drei Gruppen unterteilt werden: *in vitro*, indirekte *in vivo* und direkte *in vivo* (AMMERMAN et al., 1995).

2.6.1.1. *In vitro* Methoden

Ziel dieser Methoden ist es, aus Laborversuchen mit Futtermitteln die Menge an Aminosäuren zu bestimmen, die den Tieren zur Verfügung stehen. *In vitro* Verfahren können in 3 Gruppen unterteilt werden: *chemische, enzymatische und bakteriologische Tests* (AMMERMAN et al., 1995).

2.6.1.1.1. *Chemische Tests*

Chemische Tests der Verfügbarkeit sind spezifisch für Lysin. Diese Tests basieren auf der Voraussetzung, dass die *e*-amino-Gruppe von Lysin frei (nicht verbunden mit anderen Molekülen) sein muss, weil Lysin nur in dieser Form biologisch verfügbar ist (AMMERMAN et al., 1995).

2.6.1.1.2. *Enzymatische Verfahren*

Bei diesen Tests werden Verdauungsenzyme für die Simulation der Verdauung im Dünndarm verwendet. Mehrere Enzyme, inklusiv Pepsin, Pronase, Pankreatin und Papain können für diese Verfahren verwendet werden (AMMERMAN et al., 1995).

2.6.1.1.3. *Mikrobiologische Assays*

Ein mikrobiologischer Assay ist eine primäre Methode zur Bestimmung der Aminosäurezusammensetzung der Futtermittel und wird für die Bestimmung der biologischen Verfügbarkeit verwendet. Die Methode basiert auf dem Wachstum der Mikroorganismen, die einen spezifischen Bedarf an der jeweils untersuchten Aminosäure haben (AMMERMAN et al., 1995).

2.6.1.2. Direkte in vivo Methode (Verdaulichkeit der Aminosäuren und Wachstumstest)

2.6.1.2.1. Verdaulichkeit der Aminosäuren

Für eine exakte Abschätzung der Proteinqualität muss die Verdaulichkeit der einzelnen Aminosäuren im Futter berücksichtigt werden (KIRCHGEßNER et al., 2011).

2.6.1.2.1.1. Definition der Verdauung

Unter „Verdauung“ wird die Summe mechanischer und chemischer Vorgänge verstanden, die dazu beitragen, dass die in der Nahrung enthaltenen lebensnotwendigen Stoffe in eine solche Form überführt werden, die einen Durchtritt durch die Wand des Magen-Darm-Kanals und damit den Eintritt in die Körperflüssigkeiten Blut oder Lymphe ermöglichen (SCHEUNERT u. TRAUTMANN, 1987).

2.6.1.2.1.2. Verdauung der Proteine

Die Verdauung der Proteine beginnt im Magen mit dem Enzym Pepsin in Gegenwart von Salzsäure. Dabei entstehen hauptsächlich große Polypeptide, die jedoch kaum resorbiert werden. Im Dünndarm befinden sich weitere Enzyme – Proteasen (Endopeptidasen und Exopeptidasen) aus der Bauchspeicheldrüse und den Zellen des Dünndarms (HAND et al., 2002).

Die Endprodukte der Proteinverdauung sind kurzkettige Peptide (hauptsächlich Di- und Tripeptide) und Aminosäuren, welche vom Dünndarmepithel überwiegend durch sekundär aktiven Transport resorbiert werden (Von ENGELHARDT u. BREVES, 2000).

Während der Hydrolyse durch Proteasen verlieren Futterproteine ihre Artspezifität, sodass die aus der Schleimhaut des Dünndarms in das Blut übertretenden freien Aminosäuren für den Organismus nicht als Fremdstoff wirken (SCHEUNERT u. TRAUTMANN, 1987).

2.6.1.2.1.3. Absorption

Die Hauptvorgänge der Absorption finden im Dünndarm statt.

Neutrale Aminosäuren, saure Aminosäuren, basische Aminosäuren, Iminosäuren (Prolin) und β -Aminosäuren (Taurin, β -Alanin) werden durch separate Na^+ -Cotransport-Systeme der Bürstensaummembran in die Dünndarmepithelzelle aufgenommen. Die Aufnahme von Di- und Tripeptiden durch die Bürstensaummembran kann gegen ein Konzentrationsgefälle erfolgen. Dieser „Bergauftransport“ wird durch einen über die Bürstensaummembran hinweg bestehenden elektrochemischen H^+ -Gradienten energetisiert (Von ENGELHARDT u. BREVES, 2000).

Resorbierte Aminosäuren und Di- und Tripeptide werden von der Leber oder anderen Geweben des Körpers zu „neuen“ Proteinen zusammgebaut. Aminosäuren aus dem Futter werden von der Leber in Form von Serumalbumin oder als freie Aminosäuren zu anderen Geweben transportiert. Sie werden verwendet (1) zur Synthese von Gewebeproteinen,

besonders in den Muskeln und in der Leber, (2) Synthese von Enzymen, Albuminen, Hormonen und anderen stickstoffhaltigen Substanzen und (3) zur Desaminierung und Nutzung des verbleibenden Kohlenstoffgerüsts als Energielieferant (HAND et al., 2002).

Im Blut zirkulieren stickstoffhaltige Substanzen im Wesentlichen in Form von Eiweiß, freien Aminosäuren und Eiweißabbauprodukten. Der Gesamteiweißgehalt umfasst Albumine und Globuline. Er liegt beim gesunden Hund etwa bei 65 g/l. Von den im Blut zirkulierenden Eiweißabbauprodukten kommt dem Harnstoff die größte Bedeutung zu. Ammoniak ist im Blut nur bei Funktionsstörungen der Leber sowie schwerwiegender Eiweißdysfermentation im Dickdarm in erhöhtem Umfang nachzuweisen, üblicherweise liegen die Konzentrationen unter 60 µmol/l (MEYER u. ZENTEK, 2005).

2.6.1.2.1.4. Proteinverdaulichkeit

Der im Kot nicht erscheinende Anteil wird als verdaut bezeichnet. Die Differenz zwischen Nährstoffmenge im Futter und Nährstoffmenge im Kot gibt somit die verdauliche Menge des betreffenden Nährstoffs an. Wird die verdaute Menge ins Verhältnis zur aufgenommenen Menge gesetzt, erhält man die scheinbare Verdaulichkeit. Bei der Ermittlung der scheinbaren Verdaulichkeit wird im Gegensatz zur wahren Verdaulichkeit die endogene Sekretion nicht berücksichtigt. Proteinverdaulichkeitskoeffizienten, die auf der Analyse der Verdauungsprodukte aus dem letzten Abschnitt des Ileum beruhen, geben die Menge an resorbiertem Proteinstickstoff genauer an als die Koeffizienten, die aus dem Proteingehalt im Kot bestimmt werden. Die aus dem Darminhalt am Ende des letzten Abschnitts des Ileum bestimmten Werte berücksichtigen nicht die endogene Proteinsekretion im Magen-Darm-Trakt und die von der Mikroflora im Dickdarm produzierten Proteine und schließen damit die Fermentation im Dickdarm und die bakterielle Fermentation als Fehlerquellen aus. Die so erhaltenen Werte werden als wahre Proteinverdaulichkeitskoeffizienten bezeichnet (KIRCHGEBNER et al., 2011). In analoger Weise kann die scheinbare und wahre Verdaulichkeit für jede aufgenommene Aminosäure bestimmt werden (HAND et al., 2002).

2.6.1.2.1.5. Ileale Verdaulichkeit

Man bezeichnet die Verdaulichkeit bis vor Eintritt des Nahrungsbreis in den Dickdarm als ileale Verdaulichkeit. Die Messung der ilealen Verdaulichkeit der Aminosäuren ist als ein besserer Maßstab zur Bewertung der Futteramino-säuren anzusehen als die fäkale Verdaulichkeit. Die Probennahme erfolgt im Wesentlichen mit Hilfe verschiedener Kanülentechniken. Aus der Differenz zwischen Aufnahme mit dem Futter und Gehalt am Ende des Ileums ergeben sich die verdauten Aminosäuren. Bei der Fermentation im Dickdarm wird Stickstoff endogener Herkunft sowie auch einströmender Futterstickstoff zum großen Teil in Bakterienprotein umgewandelt.

Dies bedingt, dass die Verdaulichkeit der einzelnen Aminosäuren aus der Differenz zwischen Aminosäurenmenge im Futter und Kot (sogenannte fäkale Verdaulichkeit) von der enzymatischen Verdauung im Dünndarm deutlich abweichen kann. Allerdings beeinflussen Aminosäuren aus Verdauungsekreten das Ergebnis, so dass die ileale Verdaulichkeit trotz Abgrenzung von den mikrobiellen Umsetzungen im Dickdarm nicht die wahre Verdaulichkeit der Aminosäuren des Futters widerspiegelt. Um die ileale Absorbierbarkeit der Aminosäuren zu ermitteln, sind noch Korrekturen für die endogenen Sekretionen notwendig, die über gestaffelte Proteinmengen oder Markierung von Aminosäuren gemessen werden (KIRCHGEßNER et al., 2011).

2.6.1.2.1.6. Eiweiß- und Aminosäuren-Verdaulichkeit bei Hunden

Die Verdaulichkeit unterschiedlicher Proteinquellen kann zwischen weniger als 35 und über 90 % schwanken. Für die Herstellung von Futtermitteln für Hunde werden im Allgemeinen nur Proteinquellen mit einer Verdaulichkeit von über 70 % eingesetzt (RADE, 2008).

Hochwertige Futtereipweiße weisen eine präzäkale Verdaulichkeit von über 85 % auf, sodass der kolonale Abbau über Mikroorganismen weniger bedeutsam ist (MEYER u. ZENTEK, 2005).

Die scheinbare ileale Verdaulichkeit des Rohproteins ist ca. 1-20 % niedriger als die scheinbare Verdaulichkeit im gesamten Darmtrakt (NRC, 2006).

Die Verdaulichkeit des Proteins in Hundefutter von durchschnittlicher Qualität beträgt annähernd 80 %, bei bestimmten Diäten bis zu 90 % (HAND et al., 2002).

Tabelle 6: Verdaulichkeit der Verarbeitungsprodukte der Sojabohnen

Verarbeitungsprodukte der Sojabohnen	Rohprotein (%)	Verdaulichkeit des Rohproteins	
		Präzäkal (%)	Gesamt (%)
Sojaextraktionsschrot	44-48	81	84
Sojaeiweißkonzentrat	62-69	83-86	85-89
Sojaproteinisolat	86-87	91	94

(MEYER u. ZENTEK, 2005)

Die ileale Verdaulichkeit von Rohprotein beträgt 63 bis 96 Prozent, während die Proteinverdaulichkeit im gesamten Verdauungstrakt von 71 bis 98 Prozent reicht (NRC, 2006).

Leicht verdauliche Aminosäuren werden schnell resorbiert. Die Proteine, die solche Aminosäuren enthalten, haben einen hohen ernährungsphysiologischen Wert, und man benötigt zur Bedarfsdeckung eine kleinere Menge, denn mit ansteigender Proteinqualität verringert sich die erforderliche Proteinmenge in einem Futtermittel (HAND et al., 2002).

2.6.1.2.1.7. Einflüsse auf die Eiweißverdauung beim Hund

Der Abbau des Eiweißes im Verdauungstrakt wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst.

2.6.1.2.1.7.1. Hunderasse und Alter

Pointer haben eine höhere scheinbare Gesamtverdaulichkeit von Proteinen als Huskies (85 vs. 81 Prozent). Junge Kleinpudel oder Schnauzer haben eine höhere scheinbare Gesamtverdaulichkeit (ca. 4 Prozent höher) als die Älteren (NRC, 2006).

2.6.1.2.1.7.2. Zusammensetzung der Nahrung

Der Fasergehalt der Nahrung hat wenig Einfluss auf die ileale Verdaulichkeit des Rohproteins, abgesehen von löslichen Ballaststoffen wie Pektin. Die Zugabe von 50 g Pectin·kg⁻¹ zur Diät verursacht einen Rückgang der Verdaulichkeit des Proteins im Ileum um rund 7 %, aber nur um 2 % der Verdaulichkeit im gesamten Darmtrakt (NRC, 2006).

2.6.1.2.1.7.3. Erhitzung

Durch leichte Erhitzung denaturiertes Eiweiß ist von den Proteasen besser angreifbar als native Eiweißkörper. Stärkere Erhitzung kann die Aminosäurenverfügbarkeit beeinträchtigen. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn die erhitzten Futtermittel neben Eiweiß auch Kohlenhydrate mit reduzierenden Gruppen enthalten. Es tritt dann häufig die sogenannte „Maillard-Reaktion“ ein, wobei sich aus Aminosäuren und Kohlenhydraten Produkte bilden, die nicht mehr spaltbar sind. Besonders betroffen sind dabei die Aminosäuren Lysin und Arginin. Neben der Maillard-Reaktion treten noch weitere Hitzeschädigungen auf, wodurch unter anderem die Verfügbarkeit von Cystein, Methionin und Threonin vermindert wird. Diese Schädigungen sind teilweise auf intramolekulare Reaktionen zwischen Seitengruppen im Proteinverband zurückzuführen, vielfach sind sie auch noch unbekannt (KIRCHGEßNER et al., 2011).

Bei der Trocknung proteinhaltiger Futtermittel wie zum Beispiel Magermilch, Molke, Fischmehl oder Sojaschrot sind deshalb Temperatur und Dauer der Erhitzung wesentlich (KIRCHGEßNER et al., 2011).

Hitzeanwendung bei der Herstellung des Futters erhöht die Verdaulichkeit von einigen Proteinen, weil trypsinantagonistische Aktivitäten durch Hitze zerstört werden (NRC, 2006).

2.6.1.2.2. Wachstumstests (Growth Assays)

In den Wachstumstests für die Aminosäurenverfügbarkeit wird die Kapazität eines Proteins mit einer limitierenden Aminosäure zur Förderung des Wachstums gemessen. Diese Ergebnisse werden mit Ergebnissen, die mit kristallinen Aminosäuren erzielt wurden, verglichen. Man nimmt an, dass kristalline Aminosäuren zu 100 % verfügbar sind. Die Wachstumstests sind teuer und arbeitsaufwendig und deswegen als Routinemethode für die Futterevaluierung nicht geeignet. Sie sind allerdings wichtig und bleiben die einzige direkte Möglichkeit zur Überprüfung der Richtigkeit ernährungsrelevanter Werte, die durch andere Vorgehensweise erzielt wurden (AMMERMAN et al., 1995).

2.6.1.3. Indirekte in vivo Methode

Zwei dieser Methoden sind die Bestimmung der Aminosäuren im Plasma und die Messung des Stickstoffs (AMMERMAN et al., 1995).

2.6.1.3.1. Bewertung des Protein und Aminosäurenstatus im Plasma

Der langfristige Proteinstatus kann durch die Bestimmungen von Serumalbumin und der fettfreien Körpermaße bestimmt werden. Die Untersuchung der Konzentrationen von Aminosäuren im Plasma basiert auf der Festlegung, welche Aminosäuren limitierend in einer bestimmten Diät sein können. Akuter Proteinmangel mit ausreichender Zufuhr von Energie (zum Beispiel sehr niedriger Proteingehalt oder proteinfreie Diät) bewirkt eine Abnahme aller Aminosäuren im Plasma (NRC, 2006).

Bei langfristigem Proteinmangel (Protein- und Energie-Mangelernährung) sind die Konzentrationen von Serumalbumin und der essentiellen Aminosäuren (außer Histidin und Phenylalanin) sowie Tyrosin und Cystein viel niedriger als normal, nicht-essentielle Aminosäuren (insbesondere Prolin, Alanin, Serin und Glycin) sind höher als normal. Die Änderungen der Konzentration von Glycin und Valin sind nach der Fütterung einer sehr proteinarmen Diät extrem hoch. Der Umfang der Verzerrung des normalen Verhältnisses von Glycin:Valin wurde als Index für schwere Protein-Unterernährung verwendet. Die einzige bekannte Ursache für dieses einzigartige Verhältnis ist eine Protein-Energie-Fehlerernährung. Durch allgemeinen Nahrungsentzug wird kein solches Aminosäuren-Verhältnis hervorgerufen und es bleibt ein eher normales Muster der Aminosäuren im Plasma erhalten (NRC, 2006).

Die essentielle Aminosäure, die am meisten sinkt oder sich am wenigsten erhöht, (ausgedrückt als Prozentsatz nach der Fütterung der kompletten Mahlzeit, die das in Frage zu stellende Protein enthält) ist die Aminosäure, die am meisten limitierend ist; die nächste Aminosäure, die am meistens sinkt, ist die zweite limitierende usw. Obwohl die Hunde keinen Proteinmangel hatten, konnte eine limitierende Futteraminosäure (manchmal auch die zweite limitierende oder dritte limitierende) aus dem Plasma-Aminosäurenmuster bestimmt werden (NRC, 2006).

HARDY et al. (1977) berichteten, dass der Plasma-Valin-Gehalt deutlich sank, wenn Valin in der Diät limitierend war, von mehr als $300 \text{ nmol}\cdot\text{mL}^{-1}$ auf $66 \text{ nmol}\cdot\text{mL}^{-1}$ und auf $33 \text{ nmol}\cdot\text{mL}^{-1}$, wenn Valin überhaupt nicht in der Diät enthalten war (zitiert aus NRC, 2006).

Berichte über normale Aminosäurenkonzentrationen im Plasma beim Hund sowie einige Informationen über Arginin, Leucin, Lysin, Phenylalanin und Tyrosin sind in der Literatur verfügbar (Tabellen 7 und 8).

Tabelle 7: Aminosäurenkonzentrationen (nmol·mL⁻¹) im Plasma bei Welpen

Aminosäure	-AA ^a	MR ^b	AI ^c	SUL ^d
Arginin	25	72	135	--
Leucin	18	100	150	--
Lysin	30	85	190	--
Phenylalanin	30 ^e	85 ^e	60 ^f	--
Tyrosin	4 ^{e,g}	12 ^g	50 ^f	--

a Aminosäurenkonzentration bei Welpen, die mit einer Diät gefüttert wurden, in der jede Aminosäure im Mangel war.

b Aminosäurenkonzentration bei Welpen, die mit einer Diät gefüttert wurden, in der jede Aminosäure am Minimum des Bedarfs war.

c Aminosäurenkonzentration bei Welpen, die mit einer Diät gefüttert wurden, in der Aminosäuren zu 150 % oder mehr des Bedarfs vorhanden waren (d.h. ausreichende Zufuhr).

d Aminosäurenkonzentration bei Welpen, die mit einer Diät gefüttert wurden, in der jede Aminosäure im Überschuss vorhanden war.

e Konzentration von Phenylalanin, wenn in der Diät Tyrosin nicht vorhanden war.

f Konzentration von Phenylalanin und Tyrosin, wenn in der Diät die beiden Aminosäuren nicht vorhanden waren.

g Konzentration von Tyrosin, wenn es in der Diät nicht vorhanden in war (NRC, 2006).

Tabelle 8: Serum-Aminosäurenkonzentrationen (nmol·mL⁻¹) bei normalen, kleinen und großen Hunderassen (erwachsene Hunde, n=131), die mit verschiedenen kommerziellen Diäten, die als ausreichend für die Ernährung bekannt sind, gefüttert wurden

Aminosäure	Mittelwert	SEM
Alanin	388	9.6
Arginin	102	2.6
Asparagin	40	1.1
Aspartat	7	0.2
Citrullin	71	1.9
Cystein	46	1.3
Glutamat	23	1.2
Glutamin	495	9.4
Glycin	268	8.4
Histidin	71	1.6
Hydroxyprolin	67	4.1
Isoleucin	51	1.3
Leucin	120	3.2
Lysin	132	5.0
Methionin	57	1.6
Ornithin	35	1.5
Phenylalanin	45	0.9
Prolin	246	8.2
Serin	107	2.6
Taurin	77	2.1
Vollblut	266	5.1
Threonin	178	5.0
Tryptophan	60	1.7
Tyrosin	39	1.1
Valin	157	4.1

SEM= Standardfehler des Mittelwertes (DELANEY et al., 2003)

2.6.2. Bioverfügbarkeit von D-Aminosäuren

Das Gewebe der Tiere enthält normalerweise keine D-Aminosäuren. Bevor ein Tier eine D-Aminosäure nutzen kann, müssen diese in die L-Form umgewandelt werden. Der Umfang, in dem der tierische Organismus D-Aminosäuren invertieren kann, ist sehr unterschiedlich und das beeinflusst ganz wesentlich den Grad der Bioverfügbarkeit. Einige D-Aminosäuren wie zum Beispiel Methionin können leicht invertiert werden und sind damit vollständig bioverfügbar. Von vier Isomeren von Isoleucin (L- und D-Isoleucin und L- und D-Alloisoleucin) können nur L-Isoleucin und D-Alloisoleucin verwertet werden. DL-Isoleucin für den kommerziellen Verkauf enthält üblicherweise 25 % von jedem Isomer, deshalb ist zu erwarten, dass seine Biowirksamkeit 40 % ist. Bei Ratten und Schweinen ist die Bioverfügbarkeit von D-Tryptophan hoch und fast gleich hoch wie vom L-Isomer. Bei Hunden ist die Bioverfügbarkeit von D-Tryptophan viel niedriger und beträgt 36 % (AMMERMANN et al., 1995).

2.7. Biologische Wertigkeit des Proteins

Proteine, die leicht verdaulich sind und alle essentiellen Aminosäuren in einem für den Bedarf des Tieres korrekten Verhältnis enthalten, gelten als hochwertige Proteine (CASE et al., 1997).

Eine Methode zur Bestimmung der Eiweißqualität ist der Vergleich des Gehalts an Aminosäuren eines Futtereiweißes mit dem Bedarf des Tieres an jeder einzelnen Aminosäure unter Berücksichtigung der Leistung, die durch die Diät ermöglicht werden soll (HAND et al., 2002).

Der Organismus hat für die Erhaltung und Leistung einen bestimmten Bedarf an Aminosäuren. Das Fehlen einer essentiellen Aminosäure hemmt die Eiweißneubildung. Der Mangel an einer essentiellen Aminosäure begrenzt daher den Wert des gesamten Eiweißes der Ration. Man bezeichnet solche im Mangel vorkommenden Aminosäuren als begrenzend oder limitierende Aminosäuren (KIRCHGEßNER et al., 2011).

Alle Proteine enthalten ca. 16 % Stickstoff. Aufgrund dieser Tatsache konnte ein Stickstoffbilanztest entwickelt werden, mit dem der Proteinstatus im Körper eines Tieres bewertet werden kann (CASE et al., 1997).

Die biologischen Methoden beruhen im Wesentlichen darauf, die Wirkung der Nahrungsproteine auf die Körpersubstanz zu messen, sei es als Veränderung der Körpermasse oder auch als Veränderung des N-Gehaltes des Körpers (KIRCHGEßNER et al., 2011).

2.7.1. Methoden zur Bestimmung der Proteinqualität

Tabelle 9: Methoden zur Bestimmung der Proteinqualität:

Chemical Score	$\frac{\text{Limitierende Aminosäure im Testprotein}(\%)}{\text{Bestimmte Aminosäure im Referenzprotein}(\%)}$
Essential Amino Acid Index (EAAI) Summe aller essentieller Aminosäuren	$\frac{\text{Aminosäure im Testprotein}(\%)}{\text{gleiche Aminosäure im Referenzprotein}(\%)}$
Gesamtgehalt an essentiellen Aminosäuren (E/G)	$\frac{\text{Stickstoffmenge aus den essentiellen Aminosäuren in der Proteinquelle}}{\text{Menge des Gesamtstickstoffs in der Proteinquelle}}$
Proteinwirkungsverhältnis (PER)	$\frac{\text{Gewichtszunahme der Tiere (g)}}{\text{Protein- bzw. N-Aufnahme (g)}}$
Biologische Wertigkeit (BW)	$\frac{\text{Stickstoff des Futters} - (\text{Stickstoff in Fäzes} + \text{Stickstoff in Urin})}{\text{Stickstoff des Futters} - \text{Stickstoff in Fäzes}}$
Net Protein Utilization (NPU)	$\text{BW des Proteins} \times \text{Verdaulichkeit des Proteins}$

(CASE et al., 1997)

2.7.2. Biologische Wertigkeit - ein Vergleich der verschiedenen Futtermittel

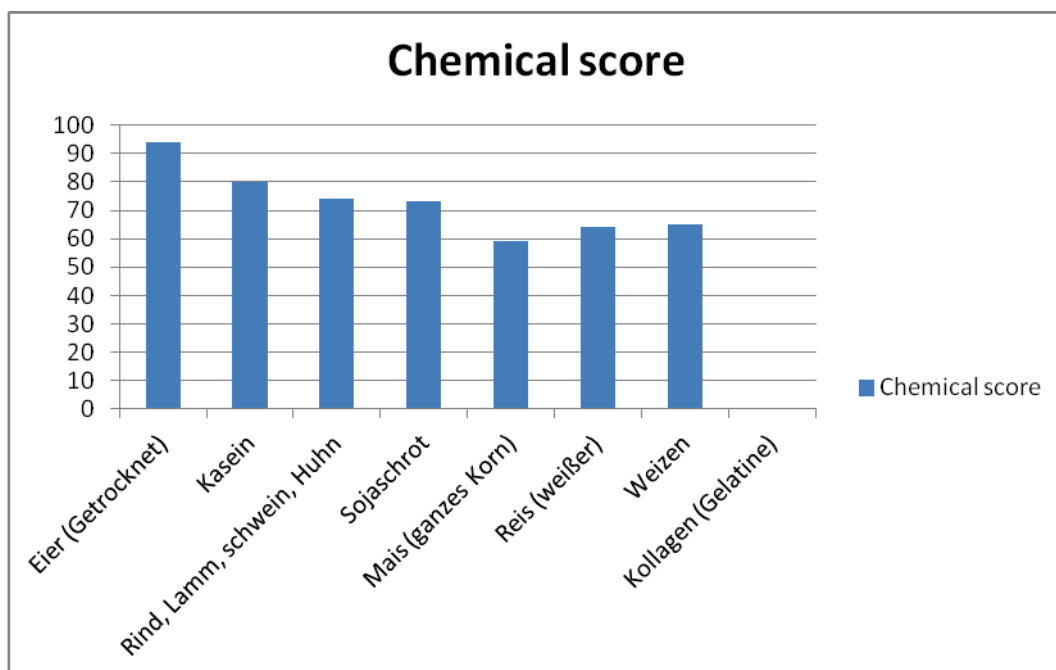


Abb. 1: Biologische Wertigkeit - ein Vergleich der verschiedenen Futtermittel (Zur Erstellung dieses Diagramms wurden Daten aus Tabelle 10 benutzt)

Tabelle 10: Proteinqualität einiger häufig in Kleintierfutter verwendeter Futtermittel

Futtermittel	Protein (%)	Aminosäurequalität (Proteinqualität)	Weitere Eigenschaften
Eier (getrocknet)	45-94	Gut Hohe Qualität, dient als Standard, mit dem viele andere Proteinquellen verglichen werden CS=100, BW=94, NPU=94, PER=3,92	Enthält außerdem Lecithin
Kasein	80	Gut Viel Tryptophan und Lysin CS=58, BW=80, NPU=72, PER=2,86	
Molke	12	Gut Viel Lysin, Isoleucin, Threonin und Tryptophan	
Rind, Lamm, Schwein, Huhn	29	Gut Wenig Tryptophan CS=69, BW=74, NPU=67, PER=2,86	Gehalt an Fett und Bindegewebe kann schwanken
Leber	20	Gut	Gute Vitamin-A-Quelle
Fischmehl	59	Gut Viel Tryptophan, Lysin, Methionin	Sehr variabel
Fleisch- und Knochenmehl	45-50	Gut	Sehr variabel, kann einen hohen Knochenanteil enthalten, der zu einem Überschuss an Kalzium, Phosphor und Magnesium im Futter beiträgt
Lammfleischmehl	55	Gut	Sehr variabel, kann einen hohen Knochenanteil enthalten, der zu einem Überschuss an Kalzium, Phosphor und Magnesium im Futter beiträgt
Hühner/ Geflügelabfallprodukte	58	Gut Viel Lysin, Methionin	Mineralstoffgehalt kann schwanken
Sojaschrot	48	Gut Viel Tryptophan und Lysin CS=47, BW=73, NPU=61, PER=2,32	Gute ergänzende Proteinquelle bei Fütterung von Fleisch, Fischmehl und Mais
Maisglutenmehl	60	Ausreichend	Gute ergänzende Proteinquelle bei Fütterung von Fleisch und Fischmehl
Mais (ganzes Korn)	8	Ausreichend Wenig Tryptophan, Lysin, Methionin CS=41, BW=59, NPU=51, PER=1,12	Gute Quelle für Linolsäure
Reis (weißer)	7	Ausreichend CS=56, BW=64, NPU=57, PER=2,18	Geringer Gehalt an Mineralstoffen
Weizen	14	Ausreichend Wenig Tryptophan und Lysin CS=43, BW=65, NPU=40, PER=1,53	Enthält Gliadin
Gerste	12	Ausreichend Wenig Tryptophan und Methionin	Enthält Gliadin
Kollagen (Gelatine)	88	Schlecht Tryptophan fehlt CS=0, BW=0, NPU=0, PER=0	

Abkürzungen: CS=chemical score, BW= biologische Wertigkeit, NPU=Nettonutzwert, PER=Proteinwirkungsverhältnis (HAND et al., 2002)

2.8. Eiweißbedarf des Hundes

2.8.1. Definition des Proteinbedarfes

Der Proteinbedarf eines Tieres wird definiert als die Mindestaufnahme von Protein, die eine optimale Leistung fördert. Tiere benötigen kein Protein per se, jedoch essentielle Aminosäuren und eine bestimmte Menge an Stickstoff (CASE et al., 1997).

2.8.2. Stickstoffbilanz

Die am häufigsten zur Bewertung der Leistung verwendeten Kriterien bei der Bestimmung des Proteinbedarfs von Hunden sind die Stickstoffbilanz und die Wachstumsrate (Stickstoffbilanz = Stickstoffaufnahme – Stickstoffausscheidung in Urin und Fäzes).

Tabelle 11: Mögliche Stickstoffbilanzzustände

Zustand	Bilanz	Physiologisches Stadium
<i>Null</i>	N-Aufnahme=N-Ausscheidung	Erhaltung
<i>Positiv</i>	N-Aufnahme>N-Ausscheidung	Wachstum, Trächtigkeit, Rekonvaleszenz nach Krankheit
<i>Negativ</i>	N-Aufnahme<N-Ausscheidung	Inadäquate Ernährung, schwere Krankheit oder Verletzung, Verlust von Stickstoff im Urin bei Nierenversagen, Verluste aus dem Gastrointestinaltrakt bei bestimmten Erkrankungen

(CASE et al., 1997)

Obwohl in den meisten Studien zur Bedarfsermittlung die Null-Stickstoffbilanz zur Bewertung des Proteinbedarfs von erwachsenen Tieren verwendet wurde, muss darauf hingewiesen werden, dass Rationen mit diesem Proteingehalt eventuell nicht ausreichen können, um eine optimale Gesundheit und Leistung zu fördern. Beispielsweise ergab sich aus Studien an erwachsenen Hunden, die Futtermittel mit der für eine Null-Stickstoffbilanz erforderlichen Proteinmenge erhalten hatten, dass diese Tiere gegenüber der Toxizität bestimmter Medikamente anfälliger waren. Darüber hinaus kann ein höherer Proteingehalt im Futter erforderlich sein, um optimale Proteinreserven aufrechtzuerhalten (CASE et al., 1997).

2.8.3. Empfehlungen zum Eiweiß- und Aminosäuregehalt in Alleinfuttermitteln

2.8.3.1. Empfehlungen zum Eiweißgehalt in Alleinfuttermitteln (NRC, 2006)

Frühere Schätzungen des Rohproteinbedarfs für erwachsene Hunde variierten von etwa 35-90 g·kg⁻¹ in einer Diät mit 4.0 kcal ME·g⁻¹ (die Stickstoffbilanz wurde als Kriterium verwendet). Diese Werte stammen aus den Experimenten mit Proteinen aus einem bestimmten Futter aber ohne Kenntnisse des Aminosäurenbedarfs für das Wachstum oder die Erhaltung (NRC, 2006).

MEYER et al. (1985) haben eine faktorielle Berechnung aufgestellt, die auf experimentellen Arbeiten über die Milchleistung und die Milch-Zusammensetzung von Hündinnen basiert.

Sie empfehlen 210 g CP·kg⁻¹ in einer Diät mit 4 kcal ME·g⁻¹ sofern die Proteinqualität gut ist und wenn die Diät Kohlenhydrate enthält (zitiert aus NRC, 2006).

ROMOS et al. (1981) evaluierten die Fortpflanzung mit Diäten (mit und ohne Kohlenhydraten), in denen 260 g·kg⁻¹ Rohprotein vorhanden waren (180-210 g verdauliches Rohprotein·kg⁻¹ bei 4 kcal ME·g⁻¹) und zeigten, dass diese Protein-Konzentration für die Trächtigkeit und Laktation ausreichend ist, aber nur wenn die Diät Kohlenhydrate enthält. Wenn Kohlenhydrate nicht in der Diät vorhanden waren, war die Diät mit 260 g·kg⁻¹ nicht ausreichend für die zweite Hälfte der Trächtigkeit, aber sie war ausreichend für die Laktation (zitiert aus NRC, 2006).

KIENZLE et al. (1985) zeigten, als trächtige Hündinnen und Hündinnen in der Laktation mit einer kohlenhydratfreien Diät gefüttert wurden, dass der Proteingehalt von 400 g·kg⁻¹ ausreichend für eine erfolgreiche Reproduktion war. Ein Proteingehalt von nur 200 g·kg⁻¹ führte zu einer schweren Beeinträchtigung der Fortpflanzung einschließlich Hypoglykämie bei Hündinnen, hohen Verlusten der Welpen, niedrigen Glykogenwerten in der Leber der Welpen, erhöhten Milchfettgehalten, verringerten Laktose- und Wassergehalten und einer verminderten Milchleistung (zitiert aus NRC, 2006).

Aus vorstehenden Ergebnissen ist, unter der Voraussetzung, dass in der Diät Kohlenhydrate vorhanden sind, ein Gehalt von 200 g·kg⁻¹ an hoch verdaulichem Rohprotein für die Trächtigkeit und Laktation in einer Diät mit 4.0 kcal ME·g⁻¹ notwendig (NRC, 2006).

2.8.3.1.1. Proteinbedarf - Empfehlungen von NRC (National Research Council), AAFCO ("Canine Nutrition Expert Committee" der Association of American Feed Control Officials) und FEDIAF (European Pet Food Industry Federation)

Tabelle 12: Proteinbedarf - Empfehlungen von NRC, AAFCO und FEDIAF

NRC				AAFCO – Mindestbedarf für		FEDIAF – Höchstwerte für			
Wachstum Mindestbedarf		Reproduktion	Erhaltung Min.Bed.	Wachstum u. Reproduktion	Erhaltung	Wachstum		Reproduktion	Erhaltung
<14 Woch.	>14 Woch.					<14 Woch.	>14 Woch.		
250 g	200 g	200 g	80 g	252 g	204 g	250 g	200 g	250 g	180 g

(basierend auf einem Futter mit einem ME-Gehalt von 4,000 kcal/kg)

2.8.3.2. Empfehlungen zum Aminosäuregehalt in Alleinfuttermitteln

2.8.3.2.1. Empfehlungen zum Argininbedarf

Der Name leitet sich vom lateinischen Wort *argentum* (Silber) ab, da die Aminosäure zuerst als Silber-Salz isoliert werden konnte. Diese Aminosäure hat den höchsten Masseanteil an Stickstoff von allen proteinogenen Aminosäuren (WIKIPEDIA).

Tabelle 13: Argininbedarf - Empfehlungen von NRC, AAFCO und FEDIAF

NRC		AAFCO – Mindestbedarf für		FEDIAF – Höchstwerte für					
Wachstum Mindestbedarf		Reproduktion	Erhaltung Min.Bed.	Wachstum u. Reproduktion	Erhaltung	Wachstum		Reproduktion	Erhaltung
<14 Woch.	>14 Woch.					<14 Woch.	>14 Woch.		
6,3 g	5,3 g	10,0 g	2,8 g	7,08 g	5,84 g	8,2 g	6,92 g	8,2 g	5,2 g

(basierend auf einem Futter mit einem ME-Gehalt von 4,000 kcal/kg)

2.8.3.2.2. Empfehlungen zum Lysinbedarf

1889 isolierte DRECHSEL aus Kasein eine Substanz, die die Eigenschaften einer α -Aminosäure zeigte. Die freie Verbindung war hygroskopisch und relativ schwer zu reinigen. Erst durch Salzbildung, insbesondere mit Salzsäure, gelang eine Stabilisierung. Als Name für diese Aminosäure wurde Lysin gewählt (DEGUSSA, 1984).

Tabelle 14: Lysinbedarf - Empfehlungen von NRC, AAFCO und FEDIAF

NRC		AAFCO – Mindestbedarf für		FEDIAF – Höchstwerte für					
Wachstum Mindestbedarf		Reproduktion	Erhaltung Min.Bed.	Wachstum u. Reproduktion	Erhaltung	Wachstum		Reproduktion	Erhaltung
<14 Woch.	>14 Woch.					<14 Woch.	>14 Woch.		
7,0 g	5,6 g	9,0 g	2,8 g	8,8 g	7,2 g	8,8 g	7,0 g	8,8 g	4,2 g

(basierend auf einem Futter mit einem ME-Gehalt von 4,000 kcal/kg)

Die Toleranzgrenze für Lysin ist $>20 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ und $<40 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in einer Diät mit $4.0 \text{ kcal ME}\cdot\text{g}^{-1}$ (NRC, 2006).

2.8.3.2.3. Empfehlungen zum Tryptophanbedarf

Tryptophan wurde 1902 von Hopkins und Cole aus Kasein isoliert. Es ist eine der empfindlichsten Aminosäuren (DEGUSSA, 1984).

Tabelle 15: Tryptophanbedarf - Empfehlungen von NRC, AAFCO und FEDIAF

NRC		AAFCO – Mindestbedarf für		FEDIAF – Höchstwerte für					
Wachstum Mindestbedarf		Reproduktion	Erhaltung Min.Bed.	Wachstum u. Reproduktion	Erhaltung	Wachstum		Reproduktion	Erhaltung
<14 Woch.	>14 Woch.					<14 Woch.	>14 Woch.		
1,8 g	1,4 g	1,2 g	1,1 g	2,28 g	1,84 g	2,32 g	2,12 g	2,32 g	1,72 g

(basierend auf einem Futter mit einem ME-Gehalt von 4,000 kcal/kg)

Es gibt keine Berichte über eine akute oder chronische Toxizität im Zusammenhang mit einer Fütterung von großen Mengen an freiem Tryptophan bei Hunden bei einer Diät mit 4.0 kcal ME·g⁻¹ (NRC, 2006).

2.8.3.2.4. Empfehlungen zum Threoninbedarf

Threonin wurde als letzte der proteinogenen Aminosäuren 1925 von Schryver und Buston in Haferproteinen entdeckt. Threonin enthält eine zusätzliche Hydroxylgruppe und besitzt 2 optisch aktive Zentren. Insgesamt existieren somit 4 Isomere (DEGUSSA, 1984).

Tabelle 16: Threoninbedarf - Empfehlungen von NRC, AAFCO und FEDIAF

NRC				AAFCO – Mindestbedarf für		FEDIAF– Höchstwerte für			
Wachstum Mindestbedarf		Reproduktion	Erhaltung Min.Bed.	Wachstum u. Reproduktion	Erhaltung	Wachstum		Reproduktion	Erhaltung
<14 Woch.	>14 Woch.					<14 Woch.	>14 Woch.		
6,5 g	5,0 g	10,4 g	3,4 g	6,64 g	5,48 g	8,12 g	6,4 g	8,12 g	5,2 g

(basierend auf einem Futter mit einem ME-Gehalt von 4,000 kcal/kg)

Es gibt keine Berichte über eine akute oder chronische Toxizität im Zusammenhang mit der Fütterung von großen Mengen an freiem Threonin bei den Hunden bei einer Diät mit 4.0 kcal ME·g⁻¹ (NRC, 2006).

2.8.3.2.5. Empfehlungen zum Bedarf an Methionin und Cystin (schwefelhaltige Aminosäuren)

1923 wurde aus Kaseinhydrolysat eine schwefelhaltige Verbindung isoliert, die weder mit Cystin noch mit Cystein identisch war. Sie zeichnete sich durch eine besonders hohe Stabilität aus. Sie erhielt den Namen Methionin, da es sich um einen Methylthioäther handelte (DEGUSSA, 1984).

Tabelle 17: Bedarf an Methionin und Cystin - Empfehlungen von NRC, AAFCO und FEDIAF

NRC				AAFCO – Mindestbedarf für		FEDIAF– Höchstwerte für			
Wachstum Mindestbedarf		Reproduktion	Erhaltung Min.Bed.	Wachstum u. Reproduktion	Erhaltung	Wachstum		Reproduktion	Erhaltung
<14 Woch.	>14 Woch.					<14 Woch.	>14 Woch.		
*	**	6,2 g	5,2 g	6,04 g	4,92 g	7,0 g	5,32 g	7,0 g	6,2 g

* Nach der Empfehlung des NRC ist der Mindestgesamtbedarf an schwefelhaltigen Aminosäuren und Methionin für 4-14 Wochen alte Welpen 5,6 g und 2,8 g.

**Für Welpen über 14 Wochen ist der Mindestbedarf an schwefelhaltigen Aminosäuren und Methionin 4,2 g und 2,1 g.

(basierend auf einem Futter mit einem ME-Gehalt von 4,000 kcal/kg)

BIOURGE et al. (2002) berichteten über eine Toxizität von Methionin bei sechs Jagdhunden, die mit einem handelsüblichen Futter (Mahlzeit= etwa 300g) gefüttert wurden. Das Futter enthielt 47 g DL-Methionin und das war offensichtlich ein Fehler in der Rezeptur. Innerhalb von 3-4 Stunden waren diese Hunde ataktisch, desorientiert und hyperaktiv, es entwickelte sich Lethargie, Zittern, Speichelfluss und Erbrechen (unverdautes Futter). Der jüngste Hund (6 Monate alt) war sehr apathisch, konnte nicht stehen und hatte Krampfanfälle (NRC, 2006). Die obere Toleranzgrenze für L-Methionin im Hundefutter konnte nicht bestimmt werden, aber für DL-Methionin ist sie deutlich unter $47 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in einer Diät mit $4 \text{ kcal ME}\cdot\text{g}^{-1}$ (zitiert aus NRC, 2006).

2.8.3.2.6. Empfehlungen zum Bedarf an Tyrosin und Phenylalanin

Tabelle 18: Bedarf an Phenylalanin und Tyrosin - Empfehlungen von NRC, AAFCO und FEDIAF

NRC				AAFCO – Mindestbedarf für		FEDIAF – Höchstwerte für			
Wachstum Mindestbedarf		Reproduktion	Erhaltung Min.Bed.	Wachstum u. Reproduktion	Erhaltung	Wachstum		Reproduktion	Erhaltung
<14 Woch.	>14 Woch.					<14 Woch.	>14 Woch.		
10,4 g	8,0 g	12,3 g	5,9 g	10,16 g	8,36 g	13,0 g	10,0 g	13,0 g	8,92 g

Hundefutter (basierend auf einem Futter mit einem ME-Gehalt von 4,000 kcal/kg)

Es gibt keine Berichte über eine akute oder chronische Toxizität in Zusammenhang mit der Fütterung von großen Mengen an freiem Phenylalanin und Tyrosin bei Hunden (NRC, 2006).

2.8.3.2.7. Empfehlungen zum Histidinbedarf

Tabelle 19: Histidinbedarf - Empfehlungen von NRC, AAFCO und FEDIAF

NRC				AAFCO – Mindestbedarf für		FEDIAF– Höchstwerte für			
Wachstum Mindestbedarf		Reproduktion	Erhaltung Min.Bed.	Wachstum u. Reproduktion	Erhaltung	Wachstum		Reproduktion	Erhaltung
<14 Woch.	>14 Woch.					<14 Woch.	>14 Woch.		
3,1 g	2,0 g	4,4 g	1,5 g	2,52 g	2,04 g	3,92 g	2,52 g	3,92 g	2,32 g

(basierend auf einem Futter mit einem ME-Gehalt von 4,000 kcal/kg)

Es gibt keine Berichte über eine akute oder chronische Toxizität in Zusammenhang mit der Fütterung von großen Mengen an freiem Histidin bei Hunden (NRC, 2006).

2.8.3.2.8. Empfehlungen zum Leucinbedarf

Tabelle 20: Leucinbedarf - Empfehlungen von NRC, AAFCO und FEDIAF

NRC				AAFCO – Mindestbedarf für		FEDIAF – Höchstwerte für			
Wachstum Mindestbedarf		Reproduktion	Erhaltung Min.Bed.	Wachstum u. Reproduktion	Erhaltung	Wachstum		Reproduktion	Erhaltung
<14 Woch.	>14 Woch.					<14 Woch.	>14 Woch.		
10,3 g	6,5 g	20,0 g	5,4 g	8,24 g	6,76 g	12,9 g	8,0 g	12,9 g	8,2 g

(basierend auf einem Futter mit einem ME-Gehalt von 4,000 kcal/kg)

Es gibt einen Bericht, dass die Zugabe von 12 g Leucin·kg⁻¹ in einer Diät mit 180 Kasein·kg⁻¹, aber ohne Zugabe von Niacin bei Hunden „black tongue“ induzierte, aber das konnte nicht bestätigt werden (NRC, 2006).

Es gibt keine Berichte über eine akute oder chronische Toxizität in Zusammenhang mit der Fütterung von großen Mengen an freiem Leucin bei Hunden (NRC, 2006).

2.8.3.2.9. Empfehlungen zum Isoleucinbedarf

Tabelle 21: Isoleucinbedarf - Empfehlungen von NRC, AAFCO und FEDIAF

NRC				AAFCO – Mindestbedarf für		FEDIAF – Höchstwerte für			
Wachstum Mindestbedarf		Reproduktion	Erhaltung Min.Bed.	Wachstum u. Reproduktion	Erhaltung	Wachstum		Reproduktion	Erhaltung
<14 Woch.	>14 Woch.					<14 Woch.	>14 Woch.		
5,2 g	4,0 g	7,1 g	3,0 g	5,16 g	4,24 g	6,52 g	5,0 g	6,52 g	4,6 g

Hundefutter (basierend auf einem Futter mit einem ME-Gehalt von 4,000 kcal/kg)

Es gibt keine Berichte über eine akute oder chronische Toxizität in Zusammenhang mit der Fütterung von großen Mengen an freiem Isoleucin bei Hunden (NRC, 2006).

2.8.3.2.10. Empfehlungen zum Valinbedarf

Tabelle 22: Valinbedarf - Empfehlungen von NRC, AAFCO und FEDIAF

NRC				AAFCO – Mindestbedarf für		FEDIAF – Höchstwerte für			
Wachstum Mindestbedarf		Reproduktion	Erhaltung Min.Bed.	Wachstum u. Reproduktion	Erhaltung	Wachstum		Reproduktion	Erhaltung
<14 Woch.	>14 Woch.					<14 Woch.	>14 Woch.		
5,4 g	4,5 g	13,00 g	3,9 g	5,48 g	4,44 g	6,8 g	5,6 g	6,8 g	5,92 g

(basierend auf einem Futter mit einem ME-Gehalt von 4,000 kcal/kg)

Es gibt keine Berichte über eine akute oder chronische Toxizität in Zusammenhang mit der Fütterung von großen Mengen an freiem Valin bei Hunden (NRC, 2006).

2.8.3.3. Symptome des Aminosäurenmangels, Funktion im Organismus und natürliche Quellen der Aminosäuren

Tabelle 23: Symptome des Aminosäurenmangels, Funktion im Organismus und natürliche Quellen der Aminosäuren

Aminosäure	Symptome des Mangels	Funktion im Organismus	Natürliche Quellen
Arginin	Zittern, Erbrechen, Ataxie, Speichelproduktion, Hyperglykämie, bei neugeborenen Welpen Katarakt und Blindheit	Schlüsselsubstanz im Harnstoffzyklus, Detoxifikation stickstoffhaltiger Metaboliten, wirkt unterstützend bei Nierenerkrankungen und Herzinsuffizienz	Gewebe tierischer Herkunft wie Muskeln, Haut oder Haare, Gelatine
Lysin	bei Welpen Wachstumsverzögerung	Baustein aller natürlich vorkommenden Eiweißstoffe, mindert die Intensität einer Virusausscheidung	Milchkasein, Tierische Proteine, Fleisch, Sojaproteinen
Tryptophan		Ausgangssubstanz für Serotonin und Melatonin, im Organismus kann auch zu Nicotinsäure/Nicotinamid (Vitamin B3, Vitamin PP) abgebaut werden	Kasein
Methionin und Cystin	Haarausfall, verlangsamter Haarwuchs, stumpfes und brüchiges Fell	Synthese des Keratins	Proteine von Ei, Fisch und Milchkasein
Glutamin		wichtig für den Stoffwechsel von Zellen, die sich schnell erneuern, wichtige Stickstoffquelle, dient den Mucosazellen als Energiequelle, Rückbildung der Darmzotten und die Genesung nach Verdauungsproblemen, wichtig für die parenterale Ernährung	Kasein, 60 % des Glutaminvorrats liegt in freier Form in den Muskeln vor, Weizengluten
Tyrosin und Phenylalanin	bei Tieren mit dunklem oder schwarzem Haarkleid eine Rotfärbung der Haare	Pigmentierung des Haars, Haarwachstum	Milch und Milchprodukte, Reis
Leucin, Isoleucin und Valin		klinische Studien an Menschen haben eine Beziehung zwischen einer Beigabe von BCAA (branched chained amino acids) und einer längeren Überlebenszeit gezeigt	Thunfisch, Lachs, Rindfleisch
Taurin	dilatative Kardiomyopathie		alle Arten von Fleisch und Eingeweide von Geflügel

(DEGUSSA, 1984; FARLOPULOS, 2000; GRANDJEAN, 2006)

3. Methoden

Für die Suche nach wissenschaftlichen Studien über den Aminosäurenbedarf und die Aminosäurenverfügbarkeit beim Hund wurden folgende Suchmaschinen des Datenbank-Infosystems der veterinärmedizinischen Universität in Wien benutzt: E-Journals, E-Books, Top-DB der Vetmeduni, Ovid SP, SCOPUS, vetmed:seeker und ISI / WEB OF KNOWLEDGE. Einige Daten wurden auch mit der Hilfe der Suchmaschinen GOOGLE und YAHOO und der online Enzyklopädie WIKIPEDIA gefunden.

4. Ergebnisse

4.1. Verdaulichkeit von Proteinen und Aminosäuren beim Hund

Die Verdaulichkeit von pflanzlichen Proteinen ist niedriger als von tierischen Proteinen. Die Proteinqualität kann durch eine Supplementierung mit essentiellen Aminosäuren verbessert werden (NEIRINCK et al., 1991).

Durch die Entfernung unerwünschter Nahrungsfasern und Zucker (Stachyose, Raffinose) mit Hilfe spezieller Separationsprozesse können Proteine pflanzlicher Herkunft eine Verdaulichkeit erreichen, die jener von tierischen Proteinen durchaus ebenbürtig ist oder diese sogar noch übertrifft. Dank der technologischen Fortschritte der Futtermittelindustrie bei der Behandlung pflanzlicher Proteine können daraus heute Proteinquellen außergewöhnlich hoher Qualität gewonnen werden (BILLEREY et al., 2004).

HENDRIKS u. SRITHARAN (2002) stellten in ihren Versuchen mit 5 erwachsenen Hunden fest, dass die Werte der fäkalen Verdaulichkeit höher sind als die Werte der scheinbaren ilealen Verdaulichkeit im distalen Ileum (außer Methionin). Obwohl die Hunde einen relativ kurzen Dickdarm haben, kann die Messung der fäkalen Verdaulichkeit nicht als sichere Methode zur Bestimmung der Aminosäurenabsorption bei Hunden verwendet werden, weil die Nährstoffe aus den Futtermitteln gemeinsam mit endogenen Materien durch die Darmflora fermentiert werden.

HENDRIKS et al. (2002) verglichen die endogene ileale und fäkale Exkretion von Aminosäuren und Stickstoff bei Hunden und Ratten durch Fütterung mit proteinfreien Diäten und mit Diäten, die enzymatisch hydrolysiertes Kasein enthielten. Chromoxid wurde als Indikator benutzt. Als die Diät mit enzymatisch hydrolysiertem Kasein verwendet wurde, war die endogene ileale Exkretion der Aminosäuren (außer Glycin, Isoleucin und Leucin) und des Stickstoffes bei Hunden und Ratten höher im Vergleich zu der proteinfreien Diät. Die Hunde haben im Vergleich mit den Ratten ileal höhere Mengen an AA-Stickstoff ausgeschieden (1,27 g/kg versus 0,70 g/kg als die proteinfreie Diät verwendet wurde und 3,32 g/kg versus 1,22 g/kg bei der Diät mit enzymatisch hydrolysiertem Kasein).

Die endogene fäkale Exkretion des Stickstoffes bei Hunden (bei der proteinfreien Diät) war 73 mg/kg $KM^{0,75}$ pro Tag.

JOHNSON et al. (1998) veröffentlichten eine Studie über den Einfluss der Art der Rohstoffquellen, des Aschegehaltes und der Verarbeitungstemperatur im Futter auf die Aminosäurenverdaulichkeit bei fistulierten Hunden. In Tabelle 24 ist die chemische Zusammensetzung des Futters dargestellt, mit dem die fistulierten Hunde gefüttert wurden. In Tabelle 25 sind Verdaulichkeitswerte angeführt.

Tabelle 24: Chemische Zusammensetzung des Futters (% air dry basis):

Bestandteile	MBM ^a hoher Aschegehalt	MBM niedriger Aschegehalt	MBM niedrige Temperatur	Lammfleischration niedriger Aschegehalt	PBP ^a hoher Aschegehalt	PBP niedriger Aschegehalt
Trockensubstanz	94	94	95	96	95	94
organische Substanz	89	92	91	91	93	93
Rohprotein	20	21	21	21	19	19
Asche	10,0	5,9	8,8	8,4	7,0	7,4
Fett	10,9	11,3	9,9	11,5	12,4	11,2
Brutto-Energie, kcal/g	4,24	4,48	4,39	4,48	4,45	4,40
essentielle Aminosäuren:						
Arginin	1,13	1,05	1,16	1,01	0,95	0,94
Histidin	0,49	0,40	0,47	0,43	0,40	0,40
Isoleucin	0,59	0,44	0,52	0,52	0,50	0,56
Leucin	1,59	1,27	1,42	1,47	1,33	1,41
Lysin	0,99	0,77	0,93	0,85	0,79	0,83
Methionin	0,60	0,50	0,55	0,53	0,54	0,54
Phenylalanin	0,83	0,65	0,73	0,73	0,68	0,73
Threonin	0,77	0,57	0,67	0,68	0,63	0,67
Valin	0,82	0,66	0,75	0,73	0,66	0,75
nicht essentielle Aminosäuren:						
Alanin	1,43	1,35	1,42	1,24	1,20	1,16
Aspartat	1,58	1,25	1,45	1,36	1,26	1,31
Glutamat	2,75	2,33	2,62	2,53	2,37	2,42
Glycin	1,73	2,09	2,07	1,47	1,50	1,26
Cystin	0,30	0,22	0,29	0,28	0,28	0,31
Prolin	1,24	1,37	1,43	1,08	1,09	1,03
Serin	0,90	0,77	0,87	0,85	0,80	0,84
Tyrosin	0,51	0,40	0,45	0,50	0,42	0,45

^a MBM= Fleisch- und Knochenration, PBP= Geflügelnebenprodukteration (JOHNSON et al., 1998)

Tabelle 25: Präzäkale Verdaulichkeit der Aminosäuren (%)

Aminosäuren	MBM ^b hoher Aschegehalt	MBM niedriger Aschegehalt	MBM niedrige Temperatur	Lammfleischration niedriger Aschegehalt	PBP ^b hoher Aschegehalt	PBP niedriger Aschegehalt	SEM(standard Fehler)
essentielle Aminosäuren:							
Arginin	88,5	83,7	88,8	77,4	78,3	78,0	1,71
Histidin	79,2	68,9	79,4	60,4	61,8	63,6	2,92
Isoleucin	85,6	69,8	83,7	66,7	67,7	69,8	2,42
Leucin	87,5	76,6	86,0	74,5	74,4	75,0	1,95
Lysin	83,8	69,7	83,4	62,4	64,1	65,5	2,72
Methionin	92,7	86,6	93,3	84,3	84,7	83,4	1,25
Phenylalanin	77,4	62,6	75,5	57,0	55,0	56,7	1,12
Threonin	77,9	59,9	75,8	52,0	52,7	54,2	3,53
Valin	82,8	70,0	82,4	63,8	63,2	65,5	2,66
nicht essentielle Aminosäuren:							
Alanin	85,4	81,0	88,5	71,8	75,0	73,5	2,04
Aspartat	72,4	56,5	75,9	39,4	44,1	44,5	4,55
Cystin	65,9	51,3	62,6	29,2	35,4	42,4	4,74
Glutamat	85,5	76,9	86,3	69,1	71,1	70,5	2,31
Glycin	79,2	83,5	86,5	64,5	69,3	66,9	2,67
Prolin	81,2	81,7	85,8	63,9	66,1	66,6	2,88
Serin	79,1	70,5	79,0	57,2	59,0	61,7	3,07
Tyrosin	81,3	64,9	77,7	64,4	59,5	61,2	3,56
TEAA ^b	83,9	72,0	83,1	66,5	66,9	68,0	2,89
TNEEA ^b	78,8	70,8	80,3	57,4	59,9	60,9	4,13
TAA ^b	81,5	71,4	81,8	62,2	63,6	64,6	2,51

^aDaten sind Werte von 6 fistulierten Hunden

^bMBM= Fleisch- und Knochenration, PBP= Geflügelnebenprodukteration, TEAA= gesamte essentielle Aminosäuren, TNEEA= gesamte nicht essentielle Aminosäuren (JOHNSON et al., 1998)

Die wahre präzäkale Verdaulichkeit einiger Aminosäuren wie Arginin variiert von 77 bis 87 %, bei Cystein von 29-69 %, bei Threonin von 52-78 % und bei Lysin von 62-84 %. Verarbeitetes Lammfleisch hat die niedrigste Aminosäurenverdaulichkeit, wahrscheinlich wegen der Erhitzung während des Trocknungsprozesses. Besonders bedeutend ist die niedrige Cystinverdaulichkeit von 29 % in Lammfleisch. Überraschenderweise ist die Verdaulichkeit von Methionin nicht so niedrig, sie liegt zwischen 83 und 93 % (JOHNSON et al., 1998).

4.2. Proteinbedarf des Hundes

4.2.1. Proteinbedarf im Wachstum

Für kürzlich abgesetzte ca. 10-14 Wochen alte Welpen (kleine- oder große Rassen) ist der Bedarf 180 g Rohprotein·kg⁻¹ in einer Diät mit 4.0 kcal ME·g⁻¹ (MILNER, 1981; BURNS u. MILNER, 1982). In diesen Studien wurden hochverdauliche Proteine und Diäten mit freien Aminosäuren verwendet, und damit wurden die Anforderungen für eine maximale Stickstoffretention erfüllt.

4.2.2. Proteinbedarf im Erhaltungsstoffwechsel

SANDERSON et al. (2001) veröffentlichten eine Studie, in der erwachsene Hunde der Rasse Beagle mit $82 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in einer Diät mit $4.0 \text{ kcal ME}\cdot\text{g}^{-1}$ (leicht verdauliches, hochwertiges Protein) während 42-48 Monaten gefüttert wurden. In dieser Studie haben die Hunde ihr zu erwartendes Körpergewicht erreicht, normale blutchemischen Werte aufgewiesen, und sie waren klinisch gesund, mit Ausnahme eines Hundes, bei dem sich eine dilatative Kardiomyopathie entwickelt hatte, die durch Supplementierung von Taurin behoben wurde.

HELMAN et al. (2003) führten eine Studie über den Einfluss des Diätproteins auf das Calpastatin in der Skelettmuskulatur bei Hunden durch. 56 erwachsene Hunde wurden mit 8 verschiedenen Diäten (Tabelle 26) gefüttert. Die Hunde wurden in 8 Gruppen geteilt und jede Gruppe wurde mit einer bestimmten Diät gefüttert. Es wurde von allen 56 Hunden vom M. biceps femoris eine Biopsie vor dem Beginn des Versuches und 10 Wochen nach der Fütterung durchgeführt. In den Muskeln der Hunde, die mit der Diät 5 gefüttert wurden, wurde eine größere Erhöhung der Wirkintensität des Calpastatins nachgewiesen als in den Muskeln der Hunde, die mit der Diät 8 gefüttert wurden. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass Hunde, die mit einer Diät mit einem höheren prozentualen Gehalt an Proteinen aus Hühnerfleisch gefüttert wurden ein höheres Potential zur Regulierung des calpain-vermittelten Muskelabbaus haben.

Tabelle 26: Zusammensetzung der experimentellen Diäten

	Diät 1	Diät 2	Diät 3	Diät 4	Diät 5	Diät 6	Diät 7	Diät 8
Protein % (Trockensubstanz)	13,2	12,8	12,1	14,4	29,4	30,8	31,3	31,5
Verhältnis Geflügel:Maisgluten	100:0	67:33	33:67	0:100	100:0	67:33	33:67	0:100
Aminosäuren % (Trockensubstanz):								
Arginin	0,85	0,53	0,46	0,42	1,85	1,75	1,14	0,98
Histidin	0,33	0,36	0,29	0,30	0,68	0,68	0,58	0,63
Isoleucin	0,52	0,44	0,34	0,42	1,23	1,31	1,00	1,10
Leucin	1,13	1,16	1,48	1,79	2,28	3,43	3,79	4,82
Lysin	0,87	0,64	0,45	0,26	2,01	1,66	0,87	0,53
Methionin	0,29	0,26	0,31	0,41	0,60	0,75	0,88	1,34
Cystin	0,25	0,31	0,33	0,40	0,67	0,82	0,94	0,96
Phenylalanin	0,54	0,51	0,57	0,68	1,15	1,51	1,50	1,82
Tyrosin	0,24	0,17	0,26	0,38	0,62	0,87	0,91	1,10
Threonin	0,66	0,52	0,47	0,48	1,34	1,37	1,13	1,13
Valin	0,57	0,52	0,49	0,51	1,31	1,43	1,20	1,25
Bruttoenergie, kcal/kg	4,950	5,035	5,013	5,137	5,215	5,251	5,310	5,341

HELMAN et al. (2003)

4.2.3. Proteinbedarf für die Reproduktion und Laktation

Aus experimentellen Arbeiten mit natürlichen Inhaltsstoffen (VISEK et al., 1976) und einer Bewertung des kommerziellen Trockenfutters, das im Rahmen einer Trächtigkeit verfüttert wurde, wurde eine ausreichende Rohprotein-Zufuhr von 180-210 g·kg⁻¹ in einer Diät mit 4.0 kcal ME·g⁻¹ nachgewiesen.

4.2.4. Protein – Turnover

WILLIAMS et al. (2001) stellten in ihrer Studie über den Einfluss von Proteinen aus verschiedenen Diäten auf den Turnover von Proteinen bei erwachsenen und älteren Hunden fest, dass eine Diät mit 16 % Protein (Tabelle 27) nicht ausreichend für eine optimale Stickstoffbilanz von Hunden ist. In dieser Studie wurde die Stickstoffbilanz mit Hilfe des ¹⁵N-Glycins (perorale Anwendung) und einer Sammlung der gesamten Exkremente bestimmt.

Tabelle 27: Chemische Zusammensetzung der experimentellen Diäten

Protein (%)	16	24	32
Aminosäuren (%)			
Arginin	5,8	5,7	6,2
Histidin	2,5	3,2	3,2
Isoleucin	3,1	3,4	3,4
Leucin	8,0	7,7	7,4
Lysin	4,7	5,2	4,8
Methionin	3,2	3,2	3,2
Cystin	3,0	2,7	2,7
Phenylalanin	3,8	3,8	3,5
Tyrosin	2,9	2,2	3,0
Threonin	4,2	4,1	3,8
Tryptophan	1,2	0,8	0,8
Valin	4,3	4,3	4,3
Aspartat	7,8	7,7	7,5
Serin	4,8	4,5	4,1
Hydroxyprolin	1,9	2,2	2,0
Prolin	6,2	6,0	6,0
Glutamat	13,6	12,9	11,9
Glycin	6,5	6,9	6,6
Alanin	6,4	6,6	6,2

Basieren auf einer Diät mit 4400 kcal/kg (WILLIAMS et al., 2001)

HUMBERT et al. (2001) verwendeten ^{13}C -Leucin zur Bestimmung der Schwankungen des Protein-Turnovers und des Einflusses des Aminosäuren- und Proteinmangels auf den Proteinstoffwechsel bei Hunden. 8 Hunde wurden mit 3 verschiedenen Diäten gefüttert. Die Kontrolldiät enthielt 63 g Rohprotein/Mcal umsetzbarer Energie (ME). Die zwei Diäten mit reduziertem Proteingehalt enthielten 32 g und 31 g Rohprotein/Mcal ME. Die Hunde wurden 2 Wochen lang an jede Diät gewöhnt. Nach einer 24-stündigen Fastenperiode wurde 3 Stunden lang eine Infusion mit ^{13}C -Bicarbonat verabreicht, gefolgt von einer 3-stündigen Infusion mit ^{13}C -Leucin. Blut- und Atemproben wurden vor und während der letzten Stunde jeder Isotop-Infusion gesammelt um die Plasma ^{13}C - α -Ketoisocaproate und die Anreicherung des Atem $^{13}\text{CO}_2$ mittels Massenspektrometrie zu bestimmen. Die Ergebnisse dieses Versuches zeigten, dass Hunde die Kapazität haben ihren Protein-Turnover an das Maß und die Qualität ihrer Proteinversorgung (aus dem Futter) anzupassen. Die Autoren nehmen an, dass der Stickstoffbedarf für Hunde im Erhaltungsstoffwechsel zwischen 0,41 und 0,55 g N/kg $\text{KM}^{0.75}$ pro Tag liegt.

HUMBERT et al. (2002) verwendeten die ^{13}C -Leucin-Methode (genauso wie bei der Studie von HUMBERT et al., 2001) zur Bestimmung der Proteinsynthese, der Oxidation und des Proteinabbaus bei erwachsenen Hunden der Rasse Beagle. Die Hunde wurden mit 4 Diäten gefüttert. Diät P1 enthielt 430 kcal ME/100 g (32 g Rohprotein/Mcal ME), Diät P2 380 kcal ME/100g (63 g Rohprotein/Mcal ME), Diät P3 375 kcal ME/100 g (100 g Rohprotein/Mcal ME), und Diät P4 380 kcal ME/100g (148 g Rohprotein /Mcal ME). Die Autoren haben folgende Ergebnisse bekommen:

Tabelle 28: Leucin-Flux bei erwachsenen Beagles

Diät	Leucinwerte im Plasma	Leucin-Oxidation	Nicht oxidierte Leucinreste
P1	263±14	42±4	221±11
P2	298±17	51±4	248±13
P3	250±10	54±5	195±7
P4	191±15	43±6	148±11

Als die Hunde mit den Diäten P1, P2 und P3 gefüttert wurden, wurde eine konstante Steigerung der Leucinoxidation nachgewiesen. Diät P4 wies nur eine geringgrößere Leucinoxidation als Diät P1 auf. Der Proteinabbau, Proteinsynthese und Proteinoxidation wurden aus dem Leucin-Flux berechnet und folgende Ergebnisse wurden gefunden. Bei Diät P1 zeigte sich im Vergleich zu Diät P2 eine leichte (nicht statistisch signifikante) Reduktion im Proteinabbau (-11 %) und in der Proteinsynthese (-10 %). Im Vergleich zu Diät P2 verringerte Diät P4 signifikant den Proteinabbau (-32 %) und die Proteinsynthese (-37 %). Im Vergleich zur Diät P3 trat bei P4 Diät eine Reduktion im Proteinabbau um 20 % auf und eine Reduktion in der Proteinsynthese um 21 %. Daraus kann man schließen, dass das Futter mit dem höchsten Rohproteingehalt nicht die günstigste Wirkung auf den Proteinstoffwechsel zeigt.

4.3. Aminosäurenbedarf des Hundes

MILNER veröffentlichte 1979 zwei Studien über die Essentialität der Aminosäuren bei wachsenden Beagles. In den Versuchen wurden reine L-Aminosäuren-Diäten verwendet. Als die Hunde im Wachstum mit den Diäten ohne Methionin, Threonin, Tryptophan, Histidin oder Isoleucin gefüttert wurden, zeigten die Beagles eine Verminderung der Nahrungsaufnahme, Gewichtsverlust und eine eindeutig negative Stickstoffbilanz.

Die partielle oder totale Entfernung dieser Aminosäuren bewirkte eine deutliche Erhöhung des Harnstoffgehaltes im Blut und im Urin. Die Entfernung von Leucin, Lysin, Valin, Phenylalanin oder Arginin aus der Diät resultierte in einer eindeutig negativen Stickstoffbilanz.

Als diese Aminosäuren im Mangel waren, wurde ebenfalls die Erhöhung des Harnstoffgehaltes im Blut und im Urin nachgewiesen.

4.3.1. Argininbedarf

BURNS et al. (1981) zeigten, dass eine Diät ($4.0 \text{ kcal ME}\cdot\text{g}^{-1}$) mit $2,8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ Arginin die Symptome eines Argininmangels bei erwachsenen Hunden verhindern kann. Als erwachsene Hunde der Rasse Pointer mit einer argininfreien Diät gefüttert wurden, zeigten die Hunde einen deutlichen Gewichtsverlust, Muskelzittern, Hypersalivation (Schaum um den Mund) und Erbrechen.

Der Bedarf an Arginin für optimales Wachstum beträgt etwa $4\text{-}5,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ für Labrador Retriever im Wachstum (HA et al., 1978) und Pointer (CZARNECKI u. BAKER, 1984) in einer Diät mit etwa $4.2 \text{ kcal ME}\cdot\text{g}^{-1}$. In Experimenten mit Welpen wurde publiziert, dass die erforderliche Menge an Arginin, die die Orotazidurie verhindert $5,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in einer Diät mit 140 g Rohprotein pro kg und $4.2 \text{ kcal ME}\cdot\text{g}^{-1}$ beträgt (CZARNECKI u. BAKER, 1984). Bei einer Anpassung auf eine Diät mit $4,0 \text{ kcal ME}\cdot\text{g}^{-1}$ und einer möglichen Erhöhung des Bedarfs, wenn eine Diät mit 180 g Rohprotein pro kg verwendet wurde, wurden $6,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ für 4-14 Wochen alte Welpen und $5,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ für Welpen über 14 Wochen empfohlen. Für eine Diät mit niedrigem Arginin-Gehalt oder bei einer argininfreien Diät wird empfohlen, dass $0,01 \text{ g}$ Arginin für jedes Gramm Rohprotein über den Bedarf zugegeben werden soll.

Nach Burns et al. (1981) ist die niedrigste Konzentration von Arginin, die Orotsäure in Urin minimierte $2,8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, und diese Konzentration stellt den Mindestbedarf für erwachsene Hunde dar.

4.3.2. Lysinbedarf

Junge Beagles im Wachstum, die mit einer lysinfreien Diät gefüttert wurden, zeigten eine Reduktion der Nahrungsaufnahme, einen Verlust der Körpermasse von ca. 29 g pro Tag und eine negative Stickstoffbilanz (MILNER, 1979). Über andere klinische Symptome wurde am Ende dieses 14-tägigen Experiments nicht berichtet.

MILNER (1981) berichtete, dass der Bedarf an Lysin für die Hunde im Wachstum für optimales Wachstum und eine optimale Stickstoffretention zwischen $4,61 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ und $5,77 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in einer Diät mit $4,0 \text{ kcal ME}\cdot\text{g}^{-1}$ beträgt.

Ein Lysin-Arginin-Antagonismus wurde von CZARNECKI et al. (1985) bei Englischen Pointer-Welpen im Wachstum berichtet. Sie zeigten, dass die Zugabe von 10 g oder 20 g freiem Lysin pro kg in einer Diät keinen Effekt hatte, aber die Zugabe von 40 g Lysin in der Diät mit $4 \text{ g Arginin}\cdot\text{kg}^{-1}$ verursachte eine Wachstumsverzögerung und klassische klinische Symptome des Argininmangels (Erbrechen, erhöhter Ammoniak im Plasma und Orotazidurie).

Eine Zugabe von 4 g Arginin zusätzlich hob die klinischen Symptome auf und verbesserte die Körpermassezunahme, aber es kam nicht zu einer vollen Wiederherstellung des normalen Zustandes.

4.3.3. Tryptophanbedarf

Junge Beagles, die mit einer tryptophanfreien Diät gefüttert wurden, zeigten eine Reduktion der Nahrungsaufnahme und verloren $29 \text{ g Körpermasse}\cdot\text{d}^{-1}$ (MILNER, 1979a), genauso wie bei anderen aminosäurefreien Diäten.

Die Körpermassezunahme bei jungen Beagles war etwa zu 75 % vermindert, als der Tryptophan-Gehalt in der Diät von $1,75 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ auf $0,88 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ reduziert wurde (MILNER, 1979a). Eine Zugabe von Tryptophan kann die Resistenz und Toleranz gegen Stress beeinflussen. Als Hunde mit einer Diät mit $3,0 \text{ g Tryptophan/kg}$ gefüttert wurden, zeigten die Tiere eine Verminderung der territorialen Aggressivität (BOSCH et al., 2007).

4.3.4. Threoninbedarf

Junge Beagles, die mit einer threoninfreien Diät gefüttert wurden, zeigten eine Reduktion der Nahrungsaufnahme und verloren $29 \text{ g Körpermasse}\cdot\text{d}^{-1}$ (MILNER, 1979a), genauso wie bei anderen aminosäurefreien Diäten.

Die Körpermassezunahme bei jungen Beagles war etwa 50 % vermindert, als der Threonin-gehalt in der Diät von $8,2 \text{ g/kg}$ auf $4,1 \text{ g/kg}$ reduziert wurde (MILNER, 1979a).

4.3.5. Bedarf an Methionin und Cystin

BURNS u. MILNER (1981) zeigten, als sie Hunde der Rasse Beagle im Wachstum mit einer Diät ($4.0 \text{ kcal ME}\cdot\text{g}^{-1}$) mit $6,0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ L-Cystin und $2,0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ oder mehr L-Methionin gefüttert hatten, dass diese Hunde das optimale Wachstum und eine optimale Stickstoffretention erreichten. In zwei weiteren Versuchen zeigten sie, dass das maximale Wachstum und eine optimale Stickstoffretention auch mit einer Diät mit $2,0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ Methionin und $1,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ L-Cystin erreicht werden kann.

Die Entfernung von Methionin aus einer Diät mit $3,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cystin führte bei Welpen (MILNER, 1979a) zur schnellen Verringerung der Nahrungsaufnahme und starkem Körpermasseverlust. Die Welpen zeigten Dermatitis, aber es wurde nicht über andere makroskopisch sichtbare Läsionen berichtet.

HIRAKAWA u. BAKER (1985) fanden heraus, dass bei einer Diät, in der Cystin im Überschuss und Methionin im Mangel vorhanden waren und diese an Welpen verfüttert wurde, starker Gewichtsverlust, Schwellung und Rötung der Haut und mit der Zeit hochgradige Dermatosen an den vorderen Fußballen auftraten. Diese Läsionen wurden nekrotisch und hyperkeratotisch mit Ulzeration des Epithels. Als die Konzentration von Methionin in der Diät erhöht wurde, sind die Läsionen schnell verschwunden.

MILNER (1979a) zeigte eine maximale Gewichtszunahme bei jungen Beagles ($1,5\text{-}2,2 \text{ kg}$), als eine Diät mit 140 g Rohprotein pro Kilogramm, mit $2,1 \text{ g}$ Methionin $\cdot\text{kg}^{-1}$ und mit $3,5 \text{ g}$ Cystin $\cdot\text{kg}^{-1}$ verfüttert wurde ($4.0 \text{ kcal ME}\cdot\text{g}^{-1}$).

BLAZA u. BURGER (1982) zeigten an Labradoren und Beagles, die mit einer auf Soja-Isolaten basierenden Diät mit etwa $200 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ Rohprotein und $4,7 \text{ kcal ME}\cdot\text{kg}^{-1}$ gefüttert wurden, dass der Gesamtbedarf an schwefelhaltigen Aminosäuren $6,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ betrug.

SANDERSON et al. (2001) berichten über Beagles, die mit einer Diät (4000 kcal/kg) mit $5,2 \text{ g}$ gesamt-schwefelhaltigen Aminosäuren gefüttert wurden. Die Beagles zeigten keine erkennbaren Auffälligkeiten. Als eine Diät mit höherem Fettgehalt und mit $4,8 \text{ g}$ gesamt-schwefelhaltigen Aminosäuren verwendet wurde, zeigte ein Hund eine dilatative Kardiomyopathie, die von einem Taurin-Mangel hervorgerufen wurde und durch Taurin-Supplementierung behoben werden konnte.

4.3.6. Bedarf an Tyrosin und Phenylalanin

Tyrosin kann aus Phenylalanin synthetisiert werden und Tyrosin ist ein direkter Vorläufer der Katecholamine (Dopamin, Noradrenalin und Adrenalin) (BOSCH et al., 2007).

BURNS u. MILNER (1982) zeigten mit 3 Versuchen an Rüden der Rasse Beagle im Wachstum, dass der Bedarf an Threonin $5,2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, an Tryptophan $1,7 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ und an Histidin $2,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in einer Diät mit $4,0 \text{ kcal ME}\cdot\text{g}^{-1}$ betrug. Als Kriterium zur Bestimmung des Aminosäurenbedarfs wurde der minimale quantitative Bedarf an jeder Aminosäure für das optimale Wachstum, die Futterverwertung und die Stickstoffretention genommen.

MILNER et al. (1984) berichteten, dass der Bedarf an Phenylalanin bei wachsenden Hunden der Rasse Beagle für optimales Wachstum und die Stickstoffretention $8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in einer Diät mit $4,0 \text{ kcal ME}\cdot\text{g}^{-1}$ beträgt. In einer getrennten Studie zeigten sie, dass der Bedarf an Tyrosin bei den Hunden im Wachstum ca. 46 % vom Bedarf an Phenylalanin betrug.

Die jungen Beagles, die mit einer phenylalanin-freien Diät mit $3,5 \text{ g Tyrosin}\cdot\text{kg}^{-1}$ gefüttert wurden, zeigten eine deutliche Reduktion der Futteraufnahme und verloren $19 \text{ g Körpergewicht}\cdot\text{d}^{-1}$. Das Wachstum bei jungen Beagles war um etwa 10 % reduziert, als sie mit einer Diät gefüttert wurden, in der $3,5 \text{ g Tyrosin}\cdot\text{kg}^{-1}$ vorhanden waren, und in der Phenylalanin von $11,6 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ auf $5,8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ reduziert wurde (MILNER, 1979b; NRC, 2006).

BIOURGE u. SERGHERAERT (2002) berichteten über rötlich-braune Fellhaare bei schwarzen Welpen. 12 Welpen (6 Welpen der Rasse Neufundländer und 6 Welpen der Rasse Labrador – schwarz) wurden in 3 Gruppen geteilt und sie wurden mit 3 ähnlichen Diäten (A, B, C) gefüttert. Die Diät A enthielt 1,9 mal mehr Phenylalanin+Tyrosin und die Diät B 2,6 mal mehr als die AAFCO für Hunde im Wachstum vorschlägt ($10,16 \text{ g}$ in einer Diät mit 4000 kcal/kg). Die Diät C war die gleiche wie die Diät B nur mit Supplementierung mit freiem Tyrosin (3,2 mal mehr vom Mindestbedarf der AAFCO). Die Hunde, die mit der Diät A gefüttert wurden, hatten nach 2 Monaten rote Fellhaare und nach 5 Monaten rötlich-braune Fellhaare. Die Hunde, die mit der Diät C gefüttert wurden, hatten nach 2 Monaten dunklere Fellhaare als die Hunde, die mit der Diät B gefüttert wurden. Nach 5 Monaten war es möglich einen Unterschied in der Intensität der schwarzen Fellfarbe bei den Hunden, die mit den Diäten B und C gefüttert wurden, zu erkennen. Die Hunde, die mit der Diät C gefüttert wurden, hatten eine dunklere Nuance der Fellfarbe, als jene Hunde, die mit der Diät B gefüttert wurden. Eine Supplementierung mit freiem Tyrosin kann bei schwarzen Hunden als Prävention gegen das „Red hair syndrome“, also für eine bessere Haarpigmentierung verwendet werden, wenn die Alleinfuttermittel nur die empfohlene Menge an Phenylalanin und Tyrosin enthalten.

BERGMANN-EISEN (1987) zeigte, dass durch die Tyrosingabe im Proöstrus der Hündin ein fördernder Einfluss auf die Läufigkeitsblutung, die Deckbereitschaft und den Deckerfolg erzielt werden kann. Den Hündinnen wurde L-Tyrosin am 5., 6. und 7. Tag ihrer Läufigkeit in einer Dosierung von 100 mg/kg KM unter das Futter gemischt. Die anschließende Belegung führte bei 37 der 51 Tiere zur Gravidität, wobei 16 Tiere in vorangegangenen Zyklen nicht aufgenommen hatten. Die Läufigkeit war bei 43 % der Hündinnen deutlicher als in vorherigen Zyklen. Die Deckbereitschaft war bei 31 % aller Tiere ausgeprägter.

4.3.7. Histidinbedarf

CIANCIARUSO u. JONES (1981) zeigten, als sie erwachsene Hunde mit einer Diät gefüttert hatten, in der kein Histidin vorhanden war, dass bei diesen Hunde innerhalb einer Woche keine Gesundheitsprobleme, aber nach längerer Zeit (mehrere Wochen) Körpermasseverlust und eine Senkung des Histidins im Plasma auftraten. Diese Hunde waren apathisch und zeigten Appetitlosigkeit.

Das Wachstum der jungen Beagles, die mit einer Diät mit $1,4 \text{ g Histidin}\cdot\text{kg}^{-1}$ gefüttert wurden, war deutlich reduziert (MILNER, 1979a).

4.3.8. Bedarf an Leucin, Isoleucin und Valin

BURNS et al. (1984) berichteten, dass der Bedarf bei den 10-12 Wochen alten Beagle-Welpen $6,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ an Leucin, $4,0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ an Isoleucin und $4,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ an Valin in einer Diät mit $4,0 \text{ kcal ME}\cdot\text{g}^{-1}$ betrug. Als Kriterium zur Bestimmung des Aminosäurenbedarfs wurde der minimale Bedarf an jeder Aminosäure für ein optimales Wachstum, die Futtermittelverwertung und die Stickstoffretention genommen.

Junge Beagles, die mit einer leucinfreien, isoleucinfreien und valinfreien Diät gefüttert wurden, zeigten eine Reduktion der Nahrungsaufnahme, einen Körpermasseverlust von etwa 34 g pro Tag bei der leucinfreien Diät, 32 g pro Tag bei der isoleucinfreien Diät und 49 g pro Tag bei der valinfreien Diät und auch eine negative Stickstoffbilanz (MILNER, 1979).

Die Gewichtszunahme bei jungen Beagles war etwa 75% reduziert, als der Valingehalt in der Diät von $8,2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ auf $4,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ reduziert wurde (MILNER, 1979b; NRC, 2006).

4.3.9. Taurinbedarf

FASCETTI et al. (2003) veröffentlichten eine retrospektive Studie über den Taurinmangel bei Hunden mit einer dilatativen Kardiomyopathie (DCM). 12 Hunde, die eine niedrige Taurinkonzentration im Plasma hatten oder bei denen schon eine DCM festgestellt wurde, wurden mit kommerziellen Trockenfuttern (Lammfleisch, Reis) gefüttert. Alle Hunde bekamen während dieser Studien 1000 bis 3000 mg Taurin per os täglich (24 h). Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass die niedrige Taurinkonzentration im Blut $< 150 \text{ nmol/ml}$ und im Plasma $< 40 \text{ nmol/ml}$ mit der Fütterung dieses Trockenfutters (Lammfleisch, Reis) verbunden sein kann. Durch eine Taurin-Supplementierung können die Herzfunktion und die Konzentration des Taurins im Plasma erhöht werden und die Überlebenszeit der Hunde, die eine niedrige Taurinkonzentration im Plasma aufgewiesen haben, verlängert werden.

BACKUS et al. (2003) veröffentlichten eine retrospektive Studie über den Taurinmangel bei Hunden der Rasse Neufundländer und den Einfluss der Fütterung mit einem kommerziellen Trockenfutter (Lamm, Reis) auf die Taurinkonzentration im Plasma. In dieser Studie wurde die Taurinkonzentration im Blut, im Plasma und im Urin und auch Konzentrationen des Methionins und Cystins im Plasma gemessen. Die Taurinkonzentration im Plasma variierte von 3 bis 228 nmol/ml. 12 von 19 Hunden hatten eine Plasma-Taurinkonzentration <40 nmol/ml, die linear mit der Taurinkonzentration im Blut korrelierte. 8 von 12 Hunden wurden mit einer Diät 30 Tage lang gefüttert, der 3 g Methionin/1000 kcal pro Tag zugesetzt wurden. Die durchschnittliche Taurinkonzentration im Plasma betrug vor der Supplementierung von Methionin 13 ± 5 nmol/ml und nach 30 Tagen 41 ± 22 nmol/ml. Die Konzentration des Methionins im Plasma betrug 56 ± 6 nmol/ml vor und 77 ± 6 nmol/ml nach der Supplementierung. Die Konzentration des Cystins im Plasma war 50 ± 3 nmol/ml vor und 61 ± 3 nmol/ml nach der Supplementierung. Bei den Hunden aus diesem Versuch, bei denen ein Taurinmangel festgestellt wurde, wurden keine Netzhautdegeneration, keine DCM und keine Cystinurie nachgewiesen.

5. Diskussion

5.1. Eiweißbedarf und Aminosäurenverfügbarkeit

Es gibt verschiedene Methoden zur Bestimmung der Aminosäurenbioverfügbarkeit wie z.B. in vitro Methoden (chemische, enzymatische und bakteriologische Tests), indirekte in vivo Methoden (Bestimmung der Aminosäuren im Plasma und Messung des Stickstoffs) und direkte in vivo Methoden (Verdaulichkeit der Aminosäuren und Wachstumstest).

In den durchsuchten wissenschaftlichen Datenbanken konnten nur sehr wenige Studien über die Aminosäurenverdaulichkeit bei Hunden gefunden werden. Zudem erschweren die unterschiedlichen Versuchsanordnungen einen Vergleich der Ergebnisse.

JOHNSON (1998) bestätigte in Versuchen mit verschiedenen Rohstoffquellen bei fistulierten Hunden, dass die präzäkale Argininverdaulichkeit sehr hoch ist (77,4-88,8 %) und dass die Cystinverdaulichkeit von verarbeitetem Lammfleisch sehr niedrig ist. Sie beträgt nur 29,2 %.

Im Vergleich zu den Werten der präzäkalen Verdaulichkeit bei Broilern (ABDEL-RAHEEM et al., 2011) ist die präzäkale Verdaulichkeit der Aminosäuren (außer Cystin) bei Hunden offensichtlich höher als beim Geflügel. Im Vergleich mit den Werten der präzäkalen Verdaulichkeit bei Schweinen (REN et al., 2011) stellte sich heraus, dass die präzäkale Verdaulichkeit von Arginin, Histidin, Leucin, Phenylalanin, Threonin und Cystin bei Schweinen höher ist als bei den Hunden.

Die Ergebnisse von HELMAN et al. (2003) weisen darauf hin, dass Hunde, die mit einer Diät mit einem höheren prozentualen Gehalt an Proteinen aus Hühnerfleisch gefüttert wurden, ein höheres Potential zur Regulierung des calpain-vermittelten Muskelabbaus haben.

Die Aminosäurenverdaulichkeit wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. NEIRINCK et al. (1991) berichteten, dass die Verdaulichkeit von pflanzlichen Proteinen niedriger ist als die von tierischen Proteinen und dass die Proteinqualität durch eine Supplementierung mit essentiellen Aminosäuren verbessert werden kann. Weitere Studien (BILLEREY et al., 2004) zeigten, dass die Proteine pflanzlicher Herkunft durch die Entfernung unerwünschter Nahrungsfasern und Zucker eine gleiche oder sogar höhere Verdaulichkeit erreichen als die der tierischen Proteine. Diese Kenntnisse sind sehr bedeutsam für eine optimale Verwertung knapper werdenden Ressourcen im Heimtierfutterbereich.

In Nutrient Requirements of dogs and cats des NRC (2006) wurde beschrieben, dass Pointer eine höhere scheinbare Gesamtverdaulichkeit von Protein als Huskies (85 vs. 81 %) aufweisen und dass junge Kleinpudel und Schnauzer eine höhere scheinbare Gesamtverdaulichkeit (ca. 4 %) als die Älteren haben.

Es wurde von AMMERMAN et al. (1995) beschrieben, dass die Bioverfügbarkeit von D-Aminosäuren bei Säugetieren ganz niedrig ist und dass die meisten D-Aminosäuren für Säugetiere überhaupt nicht bioverfügbar sind. Nach AMMERMAN et al. (1995) ist zu erwarten, dass die Bioverfügbarkeit von D-Isoleucin bei Tieren 40 % und die Bioverfügbarkeit des D-Tryptophans bei Hunden 36 % beträgt. D-Methionin ist für alle Tiere außer Primaten genauso gut verfügbar wie sein L-Isomer.

In dieser Arbeit wurde ein Vergleich der biologischen Wertigkeit (Chemical Score) von Proteinen in verschiedenen Futtermitteln (Abb. 1) dargestellt. Die niedrigste biologische Wertigkeit haben die Proteine aus Mais (ganzes Korn) und die höchste biologische Wertigkeit weisen die Proteine aus Eiern auf.

Die häufigsten zur Bewertung der Leistung verwendeten Kriterien bei der Bestimmung des Proteinbedarfs von Hunden sind die Stickstoffbilanz und die Wachstumsrate. Obwohl in den meisten Studien zur Bedarfsermittlung die Null-Stickstoffbilanz zur Bewertung des Proteinbedarfs von erwachsenen Tieren verwendet wurde, muss darauf hingewiesen werden, dass Rationen mit diesem Proteingehalt eventuell nicht ausreichen können, um eine optimale Gesundheit und Leistung zu fördern (CASE et al., 1997).

WILLIAMS et al. (2001) stellten in ihrer Studie über den Einfluss von Proteinen aus verschiedenen Diäten auf den Turnover von Proteinen bei erwachsenen und älteren Hunden fest, dass eine Diät mit 16 % Protein (4400 kcal/kg) nicht ausreichend für eine optimale Stickstoffbilanz von Hunden ist.

HENDRIKS et al. (2002) berichteten, dass die endogene fäkale Exkretion des Stickstoffes bei erwachsenen Hunden (bei der proteinfreien Diät) $73 \text{ mg/kg KM}^{0.75}$ pro Tag beträgt. Diese Ergebnisse der fäkalen N-Ausscheidung bei eiweißfreier Fütterung liefern sehr gute Angaben zum Bedarf der erwachsenen Hunde, weil eine optimale Stickstoffbilanz nur mit den genauen Kenntnissen der Stickstoffausscheidung berechnet werden kann. HUMBERT et al. (2001) veröffentlichten in ihrer Studie, dass der Stickstoffbedarf für Hunde im Erhaltungsstoffwechsel zwischen $0,41$ und $0,55 \text{ g N/kg BW}^{0.75}$ pro Tag liegen könnte. Es sind jedenfalls noch weitere Studien zur Abklärung des Stickstoffbedarfs erforderlich.

Bei experimentellen wissenschaftlichen Arbeiten (VISEK et al. 1976; MILNER, 1981; BURNS et al., 1981; SANDERSON, 2001) hat sich herausgestellt, dass 10-14 Wochen alte Welpen für eine optimale Stickstoffretention $180 \text{ g Rohprotein}\cdot\text{kg}^{-1}$, erwachsene Hunde $82 \text{ g Rohprotein}\cdot\text{kg}^{-1}$, trächtige Hündinnen $180\text{-}210 \text{ g Rohprotein}\cdot\text{kg}^{-1}$ in einer Diät mit $4.0 \text{ kcal ME}\cdot\text{g}^{-1}$ benötigen. WILLIAMS et al. (2001) stellten im Gegensatz dazu fest, dass eine Diät mit 160 g Rohprotein (4400 kcal) nicht ausreichend für eine optimale N-Bilanz bei erwachsenen Hunden war. Im Vergleich zu den Empfehlungen von NRC, AAFCO und FEDIAF zum Proteingehalt in Alleinfuttermitteln für Hunde hat sich herausgestellt, dass die empfohlenen Mengen an Proteinen für eine optimale Stickstoffretention ausreichend sind. Es sind jedenfalls noch weitere Studien zur Abklärung des Proteinbedarfs bei Hunden notwendig.

5.2. Aminosäurenbedarf des Hundes

Die folgenden Daten zum Bedarf der einzelnen Aminosäuren bei den Welpen und erwachsenen Hunden wurden in der Literatur gefunden:

Bei experimentellen wissenschaftlichen Arbeiten (MILNER, 1979b; HA et al., 1978; BURNS et al. 1981; CZARNECKI u. BAKER, 1984) hat sich herausgestellt, dass Welpen für ein optimales Wachstum $4\text{-}5,6 \text{ g Arginin}\cdot\text{kg}^{-1}$ benötigen und dass die erforderliche Menge an Arginin, die die Orotazidurie verhindert, $5,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in einer Diät mit $4.2 \text{ kcal ME}\cdot\text{g}^{-1}$ beträgt. Nach BURNS et al. (1981) ist die niedrigste Konzentration an Arginin bei erwachsenen Hunden, die Orotsäure in Urin minimiert $2,8 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ bei einer Diät mit 14% Proteinen.

MILNER (1981) berichtete, dass der Bedarf an Lysin für Hunde im Wachstum für ein optimales Wachstum und eine optimale Stickstoffretention zwischen $4,61 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ und $5,77 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in einer Diät mit $4.0 \text{ kcal ME}\cdot\text{g}^{-1}$ beträgt. Andere Untersuchungen und Studien über den Lysinbedarf bei erwachsenen Hunden konnten in der Literatur nicht gefunden werden. Im Vergleich zu den empfohlenen Werten zum Lysinbedarf bei Hunden im Wachstum (NRC, AAFCO u. FEDIAF) ist der Lysinbedarf für Schweine im Wachstum aufgrund der höheren Wachstumsraten höher als bei Hunden.

Junge Schweine (30 kg KM) benötigen 15,77 g Lysin in einer Diät mit 4.000 kcal ME/kg (KAMPHEUES et al., 2009). In normalen Alleinfuttermitteln für Mastschweine stellt Lysin die erstlimitierende Aminosäure dar. Die nächstbedeutsamen Aminosäuren Methionin+Cystin, Threonin und Tryprophan sollten in nachfolgenden Reaktionen stehen:

Tabelle 29: Das optimale Aminosäurenverhältnis in Alleinfuttermitteln für Mastschweine

pcv* Lysin : pcv Methionin+Cystin : pcv Threonin : pcv Tryprophan			
1	:	0,53-0,56	: 0,63-0,66 : 0,18

*präzäkal verdaulich (KAMPHEUES et al., 2009)

Junge Beagles, die mit einer tryptophanfreien Diät gefüttert wurden, zeigten eine Reduktion der Nahrungsaufnahme und verloren 29 g Körpermasse·d⁻¹. Die Körpermassezunahme bei jungen Beagles war etwa zu 75 % vermindert, als der Tryptophangehalt in der Diät von 1,75 g·kg⁻¹ auf 0,88 g·kg⁻¹ reduziert wurde (MILNER, 1979a). BURNS u. MILNER (1982) zeigten in 3 Versuchen an Rüden der Rasse Beagle im Wachstum, dass der Bedarf an Tryptophan 1,7 g·kg⁻¹ in einer Diät mit 4.0 kcal ME·g⁻¹ betrug. Eine Zugabe von Tryptophan kann die Resistenz und Toleranz gegen Stress beeinflussen. Als erwachsene Hunde mit einer Diät (3,0 g Tryptophan/kg) gefüttert wurden, zeigten die Tiere eine Verminderung der territorialen Aggressivität (BOSCH et al., 2007). Im Vergleich zu den empfohlenen Werten zum Tryptophanbedarf bei Hunden im Wachstum (NRC, AAFCO u. FEDIAF) ist der Tryptophanbedarf für Schweine im Wachstum höher als bei Hunden. Junge Schweine (30 kg KM) benötigen 2,84 g Tryptophan in einer Diät mit 4.000 kcal ME/kg (KAMPHEUES et al., 2009).

Die Körpermassezunahme bei jungen Beagles war etwa 50 % vermindert, als der Threonin-gehalt in der Diät von 8,2 g·kg⁻¹ auf 4,1 g·kg⁻¹ reduziert wurde (MILNER, 1979a). BURNS u. MILNER (1982) zeigten in 3 Versuchen an Rüden der Rasse Beagle im Wachstum, dass der Bedarf an Threonin 5,2 g·kg⁻¹ in einer Diät mit 4.0 kcal ME·g⁻¹ betrug. Als Kriterium zur Bestimmung des Aminosäurenbedarfs wurde der minimale quantitative Bedarf für jede Aminosäure in Bezug auf optimales Wachstum, Futterverwertung und die Stickstoffretention herangezogen. Im Vergleich zu den Hunden im Wachstum werden höhere Werte zum Threoninbedarf für die Schweine im Wachstum empfohlen. Junge Schweine (30 kg KM) benötigen 9,95 g – 10,54 g Threonin in einer Diät mit 4.000 kcal ME/kg (KAMPHEUES et al., 2009).

MILNER (1979a) , BURNS u. MILNER (1981) u. BLAZA u. BURGER (1982) veröffentlichten drei Studien über den Bedarf an Methionin und Cystin und zeigten, als die Hunde im Wachstum mit einer Diät mit 6,0 g·kg⁻¹ L-Cystin und 2,0 g·kg⁻¹ oder mehr L-Methionin gefüttert wurden, dass diese Hunde das optimale Wachstum und eine optimale Stickstoffretention erreichten. Eine maximale Gewichtszunahme bei jungen Beagles mit einer Körpermaße von 1,5-2,2 kg konnte auch erzielt werden, als eine Diät mit 140 g Rohprotein pro Kilogramm, mit 2,1 g Methionin·kg⁻¹ und mit 3,5 g Cystin·kg⁻¹ verfüttert wurde (4.0 kcal ME·g⁻¹).

Als die Hunde der Rasse Labrador und Beagles mit einer auf Soja-Isolaten basierenden Diät mit etwa $200 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ Rohprotein und $4,7 \text{ kcal ME}\cdot\text{kg}^{-1}$ gefüttert wurden, betrug der Gesamtbedarf an schwefelhaltigen Aminosäuren $6,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Schweine im Wachstum (30 kg KM) benötigen $8,37 \text{ g} - 8,96 \text{ g}$ Methionin+Cystin in einer Diät mit 4.000 kcal ME/kg (KAMPHEUES et al., 2009). Die Ergebnisse einer Studie (BACKUS et al., 2003) wiesen darauf hin, dass die durchschnittliche Taurinkonzentration im Plasma von $13\pm 5 \text{ nmol/ml}$ bei Hunden durch die Supplementierung von 3 g Methionin/1000 kcal pro Tag nach 30 Tage auf $41\pm 22 \text{ nmol/ml}$ erhöht werden kann.

Junge Beagles, die mit einer Phenylalanin-freien Diät mit $3,5 \text{ g Tyrosin}\cdot\text{kg}^{-1}$ gefüttert wurden, zeigten eine deutliche Reduktion der Futteraufnahme und verloren $19 \text{ g Körpermasse}\cdot\text{d}^{-1}$ (MILNER, 1979b). MILNER et al. (1984) berichteten, dass der Bedarf an Phenylalanin bei wachsenden Hunden der Rasse Beagle für optimales Wachstum, Futterverwertung und die Stickstoffretention $8,0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in einer Diät mit $4.0 \text{ kcal ME}\cdot\text{g}^{-1}$ beträgt. Eine Supplementierung mit freiem Tyrosin (3,2 mal mehr als der Mindestbedarf der AAFCO) kann bei schwarzen Hunden als Prävention gegen das „Red hair syndrome“ verwendet werden (BIOURGE u. SERGHERAERT, 2002).

Das Wachstum von jungen Beagles, die mit einer Diät mit $1,4 \text{ g Histidin}\cdot\text{kg}^{-1}$ gefüttert wurden, war deutlich reduziert (MILNER, 1979). BURNS u. MILNER (1982) zeigten in 3 Versuchen an Rüden der Rasse Beagle im Wachstum, dass der Bedarf an Histidin $2,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ in einer Diät mit $4.0 \text{ kcal ME}\cdot\text{g}^{-1}$ betrug. CIANCIARUSO et al. (1981) zeigten, als sie erwachsene Hunde mit einer Diät gefüttert hatten, in der kein Histidin vorhanden war, dass bei diesen Hunden innerhalb einer Woche keine Gesundheitsprobleme, aber nach längerer Zeit (mehrere Wochen) Körpermasseverlust und eine Senkung des Histidins im Plasma aufgetreten waren.

BURNS et al. (1984) berichteten, dass bei 10-12 Wochen alten Beagle-Welpen der Bedarf an Leucin $6,5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, an Isoleucin $4,0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ und an Valin $4,3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ betrug (Diät mit $4.0 \text{ kcal ME}\cdot\text{g}^{-1}$). Als Kriterium zur Bestimmung des Aminosäurenbedarfes wurde der minimale Bedarf an jeder Aminosäure für ein optimales Wachstum, die Futterverwertung und die Stickstoffretention herangezogen.

Beagles im Wachstum, die mit einer valinfreien Diät gefüttert wurden, zeigten eine Reduktion der Nahrungsaufnahme und verloren etwa $49 \text{ g Körpergewicht pro Tag}$ (MILNER, 1979b). Die Gewichtszunahme bei jungen Beagles war etwa 75 % reduziert, als der Valin-gehalt in der Diät von $8,2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ auf $4,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ reduziert wurde (MILNER, 1979b). Weitere Studien über den Bedarf an Leucin, Isoleucin für erwachsene Hunde konnten in der Literatur nicht gefunden werden.

Es gibt keinen Hinweis darauf, dass Taurin für Hunde eine essentielle Aminosäure ist. Ergebnisse aus den Studien weisen aber darauf hin, dass Taurin eine günstige Wirkung aufweisen kann. Bei den Hunden der Rasse Neufundländer gibt es einen Zusammenhang zwischen einer dilatative Kardiomyopathie und einem Taurinmangel im Plasma und im Herzmuskel (BACKUS et al., 2003). Durch eine Taurin-Supplementierung (1000 bis 3000 mg) können die Herzfunktion und die Konzentration des Taurins im Plasma erhöht werden und die Überlebenszeit der Hunde, die eine niedrige Taurinkonzentration im Plasma aufweisen, verlängert werden (FASCETTI et al., 2003).

Weitere Studien über den Aminosäurenbedarf für erwachsene Hunde konnten in der Literatur nicht gefunden werden.

5.3. Ergebnisse zum Aminosäuregehalt in Alleinfuttermitteln

Im Vergleich zu den Ergebnissen aus den gesichteten wissenschaftlichen Studien hat sich herausgestellt, dass die Bedarfsempfehlungen von NRC, AAFCO und FEDIAF zum Aminosäuregehalt in Alleinfuttermitteln für Hunde für ein optimales Wachstum ausreichend ist. Es sind jedenfalls noch weitere Studien zur Abklärung der Aminosäurenverfügbarkeit und des Aminosäurenbedarfs vor allem bei erwachsenen Hunden notwendig, um eine noch genauere Formulierung von Rationen ermöglichen zu können.

5.4. Ein Vergleich der Empfehlungen von NRC und AAFCO zum Eiweiß- und Aminosäuregehalt in Alleinfuttermitteln für Hunde im Erhaltungsstoffwechsel

Tabelle 30:

Ein Vergleich der Empfehlungen von NRC und AAFCO zum Eiweiß- und Aminosäuregehalt in Alleinfuttermitteln für Hunde im Erhaltungsstoffwechsel

	NRC - Mindestbedarf	AAFCO - Mindestbedarf
Protein (g)	80	204
Arginin (g)	2,8	5,84
Histidin (g)	1,5	2,04
Isoleucin (g)	3,0	4,24
Methionin u. Cystin (g)	5,2	4,92
Leucin (g)	5,4	6,76
Lysin (g)	2,8	7,2
Phenylalanin u. Tyrosin (g)	5,9	8,36
Threonin (g)	3,4	5,48
Tryptophan (g)	1,1	1,84
Valin (g)	3,9	4,44

(basierend auf einem Futter mit einem ME-Gehalt von 4,000 kcal/kg)

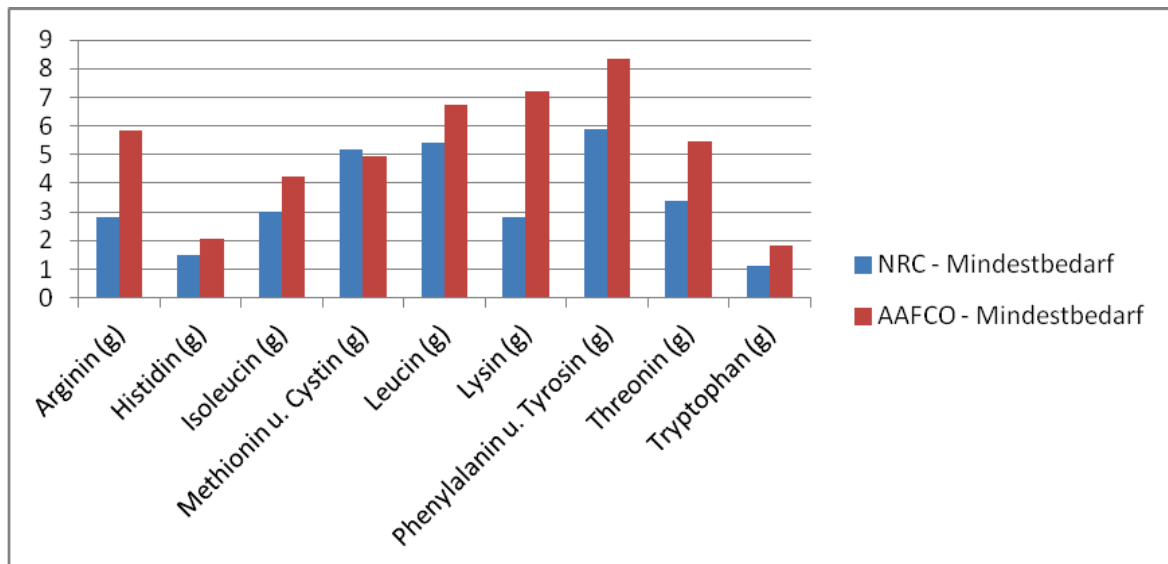


Abb. 2: Ein Vergleich der Empfehlungen von NRC und AAFCO zum Eiweiß- und Aminosäuregehalt in Alleinfuttermitteln für Hunde im Erhaltungsstoffwechsel

Im Vergleich der Empfehlungen von NRC und AAFCO zum Eiweiß- und Aminosäuregehalt in Alleinfuttermitteln (außer des Bedarfs an Methionin und Cystin) für Hunde im Erhaltungsstoffwechsel stellt sich heraus, dass der empfohlene Mindestbedarf von AAFCO wesentlich höher ist als der empfohlene Mindestbedarf des NRC.

5.5. Ein Vergleich der Empfehlungen von NRC und FEDIAF zum Eiweiß- und Aminosäuregehalt in Alleinfuttermitteln für Hunde im Erhaltungsstoffwechsel

Tabelle 31:

Ein Vergleich der Empfehlungen von NRC und FEDIAF zum Eiweiß- und Aminosäuregehalt in Alleinfuttermitteln für die Hunde im Erhaltungsstoffwechsel

	NRC	FEDIAF
Protein (g)	100	180
Arginin (g)	3,5	5,2
Histidin (g)	1,9	2,32
Isoleucin (g)	3,8	4,6
Methionin (g)	3,3	3,12
Methionin u. Cystin (g)	6,5	6,2
Leucin (g)	6,8	8,2
Lysin (g)	3,5	4,2
Phenylalanin (g)	4,5	5,4
Phenylalanin u. Tyrosin (g)	7,4	8,92
Threonin (g)	4,3	5,2
Tryptophan (g)	1,4	1,72
Valin (g)	4,9	5,92

(basierend auf einem Futter mit einem ME-Gehalt von 4,000 kcal/kg)

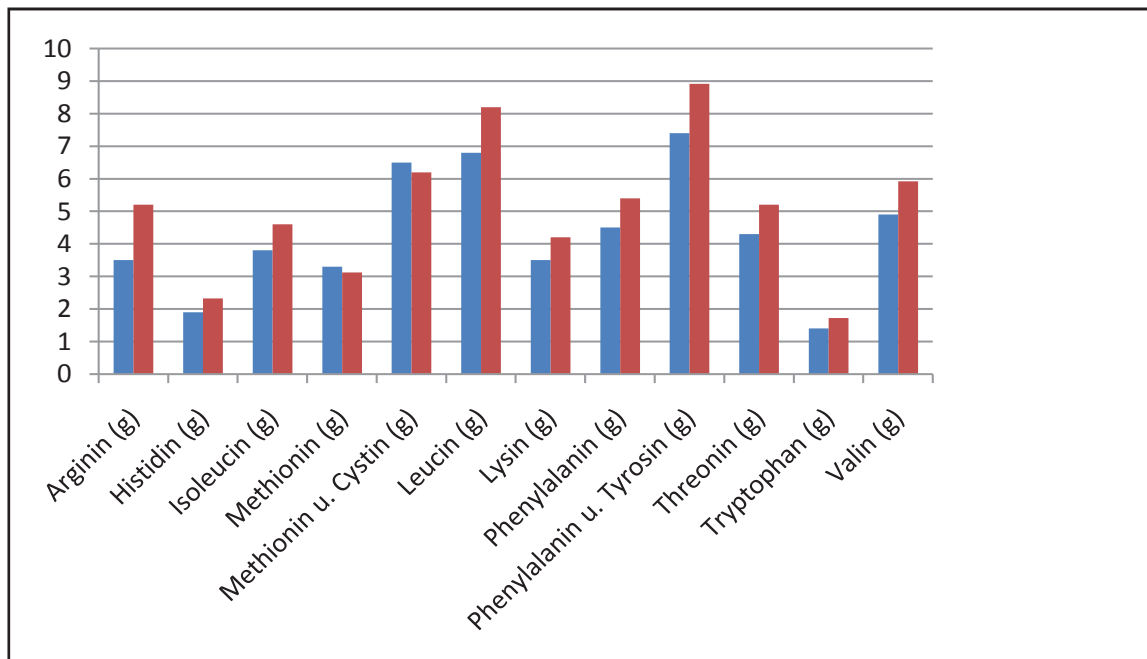


Abb. 3: Ein Vergleich der Empfehlungen von NRC und FEDIAF zum Eiweiß- und Aminosäuregehalt in Alleinfuttermitteln für Erhaltung

Im Vergleich der Empfehlungen von NRC und FEDIAF zum Eiweiß- und Aminosäuregehalt in Alleinfuttermitteln (außer des Bedarfs an Methionin und Cystin) für Hunde im Erhaltungsstoffwechsel stellt sich heraus, dass der empfohlene Bedarf an Eiweiß von FEDIAF höher ist als der empfohlene Bedarf des NRC.

5.6. Ein Vergleich der durchschnittlichen Aminosäuregehalte von Alleinfuttermitteln (trocken) für Hunde

Tabelle 32: Ein Vergleich der durchschnittlichen Aminosäuregehalte in Alleinfuttermitteln (trocken) für Hunde

Aminosäure	AS-Gehalte (NRC, 2006)	AS-Gehalte (Meyer u. Heckötter, 1986)
Isoleucin (g)	5,0	9,2
Leucin (g)	20,0	18,2
Lysin (g)	9,0	12,0
Methionin (g)	3,2	6,1
Cystin (g)	6,2 *	5,6
Phenylalanin (g)	8,3	10,5
Histidin (g)	4,4	5,6
Threonin (g)	8,5	8,5
Tryptophan (g)	2,2	-
Valin (g)	9,0	10,7
Arginin (g)	-	16,0

(basierend auf einem Futter mit einem ME-Gehalt von 4,000 kcal/kg)

*Durchschnittswert der gesamten schwefelhaltigen Aminosäuren

Aminosäurenbedarf und Aminosäurenverfügbarkeit beim Hund

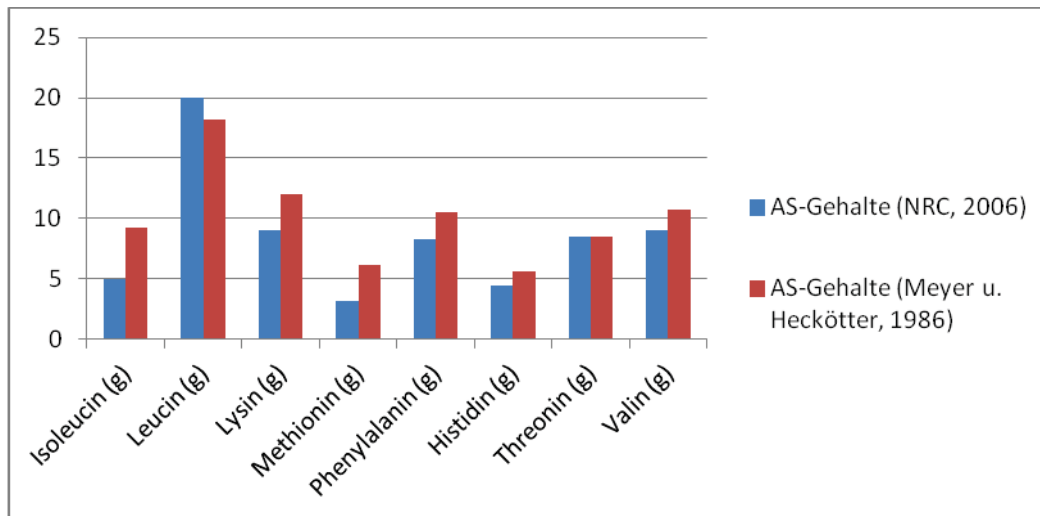


Abb.: 4 Ein Vergleich der durchschnittlichen Aminosäuregehalte in Alleinfuttermitteln (trocken) für Hunde

Im Vergleich der Empfehlungen von NRC, AAFCO und FEDIAF zu den durchschnittlichen Aminosäuregehalten in kommerziellen Futtermitteln (Tab. 28) stellt sich heraus, dass die Durchschnittswerte von Aminosäuren in den Futtermitteln zur Deckung des Aminosäurenbedarfes ausreichen sind.

6. Zusammenfassung

Das Ziel der Studie war es, den Stand des Wissens über den Aminosäurenbedarf und die Aminosäurenverfügbarkeit beim Hund mit Hilfe einer Literaturübersicht zu ermitteln.

In dieser Arbeit wurden Daten aus 32 wissenschaftlichen Studien über die Aminosäurenverfügbarkeit, den Proteinbedarf und den Aminosäurenbedarf beim Hund zusammengefasst und mit den Empfehlungen von NRC, AAFCO und FEDIAF verglichen.

Für den Hund essentielle Aminosäuren sind: Isoleucin, Leucin, Lysin, Methionin, Phenylalanin, Threonin, Tryptophan und Valin. Arginin und Histidin können nur in ungenügendem Ausmaß synthetisiert werden und werden als semiessentiell bezeichnet.

Zur Bestimmung der Aminosäurenverfügbarkeit in den Futtermitteln wurden verschiedene Methoden entwickelt. Es gibt kein ausschließliches Verfahren, das als einziges eine gesicherte Aussage erlaubt. Für eine exakte Abschätzung der Proteinqualität muss die Verdaulichkeit der einzelnen Aminosäuren im Futter berücksichtigt werden.

Die wahre ileale Verdaulichkeit für einige Aminosäuren wie Arginin variiert von 77 % bis 87 %, bei Cystein von 29 % bis 69 %, bei Threonin von 52% bis 78 % und bei Lysin von 62 % bis 84 %. Zu erwähnen ist die niedrige Cystinverdaulichkeit von 29 % von verarbeitetem Lammfleisch. Die Verdaulichkeit von Methionin ist dagegen relativ hoch, sie liegt zwischen 83 % und 93 %.

Die Bioverfügbarkeit der D-Aminosäuren bei Säugetieren ist ganz niedrig und die meisten D-Aminosäuren sind für Säugetiere überhaupt nicht bioverfügbar. Die Bioverfügbarkeit des D-Tryptophans beträgt bei Hunden 36 %. D-Methionin ist für alle Tiere außer Primaten ebenso gut verfügbar wie sein L-Isomer.

Im Vergleich der Empfehlungen von NRC, AAFCO und FEDIAF zum Eiweiß- und Aminosäuregehalt in Alleinfuttermitteln hat sich herausgestellt, dass das NRC niedrigere Mengen an Protein und Aminosäuren als FEDIAF oder AAFCO empfiehlt. Im Vergleich zu den Ergebnissen aus den gesichteten wissenschaftlichen Studien ist der empfohlene Mindestbedarf des NRC zur Deckung des Protein- und Aminosäurenbedarfs ausreichend.

Eine Supplementierung mit freiem Tyrosin kann bei schwarzen Hunden als Prävention gegen das „Red hair syndrome“ verwendet werden.

Durch eine Taurin-Supplementierung (1000 – 3000 mg täglich) können die Herzfunktion und die Konzentration des Taurins im Plasma erhöht werden. Die durchschnittliche Taurinkonzentration im Plasma von 13 ± 5 nmol/ml bei Hunden kann auch durch die Supplementierung von 3 g Methionin/1000 kcal täglich nach 30 Tage auf 41 ± 22 nmol/ml erhöht werden.

Obwohl es Empfehlungen zum Proteinbedarf für Hundefutter von NRC, AAFCO und FEDIAF gibt, sind nur wenige Informationen in der Literatur über die Aminosäurenbioverfügbarkeit und den Aminosäurenbedarf insbesondere von erwachsenen Hunden vorhanden. Es sind jedenfalls noch weitere Studien zur Abklärung der Aminosäurenverfügbarkeit und des Aminosäurenbedarfs notwendig, um möglichst bedarfsgerechte Formulierungen von Rationen zu erreichen.

7. Summary

The purpose of this study was to characterise amino acid requirements and amino acids bioavailability for dogs with the help of a literature review. Very little information about amino acid requirements and amino acids bioavailability for dogs could be found.

Various methods have been developed to determine the bioavailability of amino acids in feedstuffs and no single procedure has emerged as universally applicable. Bioavailability of D-methionine is usually equal to the L-isomer and D-methionin is well utilized by dogs. Bioavailability of D-tryptophan is 36 % by dogs. Other amino acids do not undergo inversion and therefore cannot be utilized.

Ileal digestibilities of amino acids have been shown to vary tremendously. True ileal digestibilities of arginine varied from 77 % to 87 %, of cystine from 29 % to 69 %, threonine from 52 % to 78 % and lysine from 62 % to 84 %.

Ileal digestibility by dogs in comparison with prececal digestibility by broilers is higher, except of the amino acid cystine. Ileal digestibility of arginine, histidine, leucine, phenylalanine, threonine, and cystine by pigs is higher than by dogs.

The apparent fecal digestibility method is not an accurate method for the measurement of the absorption of crude protein and certain amino acids from canine diets.

Addition of free available tyrosine to the foods can prevent the "Red hair syndrome" in dogs and optimize hair pigmentation. Taurine supplementation may result in prolonged survival times in dogs with low plasma taurine concentrations. Methionine supplementation increased plasma concentrations of taurine.

Comparing the results from different studies about bioavailability and requirement of protein and amino acids with the recommendations of NRC, AAFCO and FEDIAF has shown that the recommended values are adequate for optimal growth, feed utilization and nitrogen retention.

Proteins and amino acids requirements for growing puppies and dogs in reproduction are considerably higher compared to requirements for adult dogs at maintenance.

Comparing the recommendations of NRC, AAFCO and FEDIAF, NRC recommends lower amounts of proteins and amino acids than AAFCO and FEDIAF, but those amounts are still within the limits worked out in different studies.

Further studies of the availability of amino acids and amino acids requirements for dogs are needed to be able to prepare food which meets the requirement as accurate as possible.

8. Danksagung

Ganz besonders möchte ich mich bedanken bei meiner Betreuerin Frau Univ. Prof. Dr. med. vet. Dipl. Tzt. Christine Iben für die Bereitstellung des Themas, sowie für die ausführliche Betreuung während der Entstehung der Diplomarbeit.

Weiters möchte ich mich bei Frau Dr. med. vet. Dipl. Tzt. Irene Schifferdecker für die Hilfe beim Korrekturlesen bedanken, sie hatte immer ein offenes Ohr für die Fragen zur deutschen Grammatik.

Ich danke noch meiner Familie, die mich nicht nur seelisch unterstützte, sondern auch tatkräftig mitgeholfen hat, wenn es sich um Computerprobleme gehandelt hatte.

9. Literaturverzeichnis

AAFCO (Canine Nutrition Expert Committee) (2008): Dog food nutrient profiles.

Internet, Link: <http://www.peteducation.com/article.cfm?c=2+1659+1661&aid=662>

Accessed: 2011-10-25.

ABDEL-RAHEEM, S. M., LEITGEB, R., IBEN, C. (2011): Effects of dietary inclusion level of distillers` dried grains with solubles (DDGS) from wheat on amino acid digestibilities in broilers. *International Journal of Poultry Science* **10**

AMMERMAN, C., BAKER, D., LEWIS, A. (1995): Bioavailability of nutrients for animals. Academic Press, Inc., S.35-74.

BACKUS, C. R., COHEN, G., PION, D. P., GOOD, L. K., ROGERS, R. Q., FASCETTI, J. A. (2003): Taurine deficiency in Newfoundlands fed commercially available complete and balanced diets. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* **223**, 1130-1136.

BEHM, G., DRESSLER, D., GAUS, G., HERRMANN, H., KÜTHER, K., TANNER, H. (1986): Aminosäuren in der Tierernährung. Herausgeber: Arbeitsgemeinschaft für Wirkstoffe in der Tierernährung e.V. (AWT), Bonn, S.10-23.

BERGMANN-EISEN, K. (1987): Hormonell bedingte Fruchtbarkeitsstörungen bei der Hündin und deren mögliche Beeinflussung durch die Aminosäure Tyrosin. Diss. LM-Universität München, Deutschland.

BILLEREY, É., DETHIOUX, F. (2004): Diätetische Prävention der Hauptgesundheitsrisiken beim Hund. Aniwa Publishing, Paris, S. 17.

BIOURGE, V., SERGHERAERT, R. (2002): Dietary tyrosine and red hair syndrome in dogs. *Proc. 18th ESVD-ECVD Congress, 2002*, p.204

BLAZA, S. E., BURGER, I. H. (1982): Sulfur-Containing Amino Acid Requirements of Growing Dogs. *The Journal of Nutrition* **112**, 2033-2042.

BOSCH, G., BEERDA, B., HENDIKS, H. W., VAN DER POEL, B. F. A., VERSTEGEN, A. W. M. (2007): Impact of nutrition on canine behavior: current status and possible mechanisms. *Nutrition Research Reviews* **20**, 180-194.

BURNS, R. A., MILNER, J. A., CORBIN, J. E. (1981): Arginine: An Indispensable Amino Acid for Mature Dogs. *The Journal of Nutrition* **111**, 1020-1024.

BURNS, R. A., MILNER, J. A. (1981): Sulfur amino acid requirements of immature Beagle dogs. *The Journal of Nutrition* **111**, 2117-2124.

BURNS, R. A., MILNER, J. A. (1982): Threonine, tryptophan and histidine requirements of immature Beagle dogs. *The Journal of Nutrition* **112**, 447-452.

BURNS, R. A., GARTON, R. L., MILNER, J. A. (1984): Leucine, isoleucine and valine requirements of immature Beagle dogs. *The Journal of Nutrition* **114**, 204-209.

CARPENTER, K. J. (2003): A short history of nutritional science: Part 1 (1785-1885). *J. Nutrition* **133**, 638-645.

CASE, L., CAREY, D., HIRAKAWA, D. (1997): Ernährung von Hund und Katze. Schattauer, Stuttgart, S. 20-85.

CIANCIARUSO, B., JONES, M. R. (1981): Histidine, an Essential Amino Acid for Adult Dogs. *The Journal of Nutrition* **111**, 1074-1084.

CZARNECKI, L. G., HIRAKAWA A. D., BAKER, H. D. (1985): Antagonism of Arginine by Excess Dietary Lysine in the Growing Dog. *The Journal of Nutrition* **115**, 743-752

CZARNECKI, L. G., BAKER, H. D. (1984): Urea Cycle Function in the Dog with Emphasis on the Role of Arginine. *The Journal of Nutrition* **114**, 581-590.

DELANEY, J. S., KASS, H. P., ROGERS, R. Q., FASCETTI, J. A. (2003): Plasma and whole blood taurine in normal dogs of varying size fed commercially prepared food. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* **87**, 236–244.

DEGUSSA-Aktiengesellschaft (1984): Aminosäuren für die Tierernährung. DEGUSSA-Aktiengesellschaft, Frankfurt, S. 3-15.

D´MELLO, J. P. F. (2003): Amino Acids in Animal Nutrition. 2. Edition, CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK, S.411-414.

FARLOPULOS, S. (2000): Klinische und ernährungsphysiologische Untersuchungen zur parenteralen Ernährung von Hunden. Diss., Tierärztlichen Hochschule Hannover, Deutschland. S.22-23.

FASCETTI, J. A., REED, R. J., ROGERS, R. Q, BACKUS, C. R. (2003): Taurine deficiency in dogs with dilated cardiomyopathy: 12 cases (1997–2001). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* **223**, 1137-1141.

F.E.D.I.A.F. (European Pet Food Industry Federation) (2008): Nutritional Guidelines for Complete and Complementary Pet Food for Cats and Dogs. European Pet Food Industry Federation, Publication.

GRANDJEAN, D. (2006): Wissenswertes über die Aufgaben der Nährstoffe für die Gesundheit von Hund und Katze. Royal Canin, S.32-43.

GRECO, D. S. (2009): Nutritional Supplements for Pregnant and Lactating Bitches. Topical Review, Elsevier Inc.

HA, Y. H., MILNER J., A., CORBIN J. E. (1978): Arginine Requirements in Immature Dogs. *The Journal of Nutrition* **108**, 203-210.

HAND, M., THATCHER, C., REMILLARD, L. R. (2002): Klinische Diätetik für Kleintiere. 4. Auflage, Schlütersche GmbH & Co. KG, Hannover, S.60-72.

HELMAN, E. E., HUFF-LONERGAN, E., DAVENPORT, M. G., LONERGAN, M. S., (2003): Effect of dietary protein on calpastin in canine skeletal muscle. J. Anim. Sci. **81**, 2199-2205.

HENDRIKS, H. W., SRITHARAN, K. (2002): Apparent ileal and fecal digestibility of dietary protein is different in dogs. J. Nutr. **132**, 1692S-1694S.

HENDRIKS, H. W., SRITHARAN, K., HODGKINSON M. S. (2002): Comparison of the endogenous ileal and faecal amino acid excretion in the dog (*Canis familiaris*) and the rat (*Rattus rattus*) determined under protein-free feeding and peptide alimentation. J Anim Physiol. Anim. Nutr. **86**, 333-341.

HILL'S (2008): Ernährungsschlüssel. S. 39-83, 129-171

HIRAKAWA, A. D., BAKER, D. D. (1985): Sulfur amino acid nutrition of the growing puppy: Determination of dietary requirements for methionine and cystine. Published by Elsevier Inc.

HUMBERT, B., BLEIS, P., MARTIN, L., DUMON, H., DARMAUN, D., NGUYEN, P. (2001): Effects of dietary protein restriction and amino acid deficiency on protein metabolism in dogs. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. **85**, 255-262.

HUMBERT, B., MARTIN, L., DUMON, H., DARMAUN, D., NGUYEN, P. (2002): Dietary protein level affects protein metabolism during the postabsorptive state in dogs. J. Nutr. **132**, 1676S-1678S.

JOHNSON, M. L., PARSONS, C. M., FAHEY, C. G. Jr, MERCHEN, R. N., ALDRICH, G. C. (1998): Effects of species raw material source, ash content and processing temperature on amino acid digestibility of animal by-product meals by cecectomized roosters and ileally cannulated dogs. Journal of Animal Science **76**, 1112-1122.

KAMPHUES, J., COENEN, M., IBEN, C., KIENZLE, C., PALLAUF, E., SIMON, J., WANNER, O., ZENTEK, M., MEYER, J., HELMUT, A. (2009): Supplemente zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung. 11. überarb. Auflage, Schaper, Hannover, S. 255-277.

KIRCHGEßNER, M., ROTH, X. F., SCHWARZ, J. F., STANGL, I. G. (2011): Tierernährung. 13. Auflage, DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main.

KOOLMAN, J., RÖHM, K.,H. (2003): Taschenatlas der Biochemie. 3. Auflage, Georg Thieme, Stuttgart, S. 58-60.

LEWIS, L., MORRIS, M., HAND, M. (1990): Klinische Diätetik für Hund und Katze. Schlütersche, Hannover, S. 1-12, 1-17.

MEYER, H., HECKÖTTER, E. (1986): Futterwerttabellen für Hunde und Katzen. Schlütersche, Hannover, S.30.

MEYER, H., ZENTEK, J. (2005): Ernährung des Hundes. 5. Auflage, Parey, Stuttgart, S.57-67, 106.

MILNER, J. A. (1979a): Assessment of the Essentiality of Methionine, Threonine, Tryptophan, Histidine and Isoleucine in Immature Dogs. The Journal of Nutrition **109**, 1351-1357.

MILNER, J. A. (1979b): Assessment of Indispensable and Dispensable Amino Acids for the Immature Dog. The Journal of Nutrition **109**, 1161-1167.

MILNER, J. A. (1981): Lysine Requirements of the Immature Dog. The Journal of Nutrition **111**, 40-45.

MILNER, J. A., GARTON, R. L., BURNS, R. A. (1984): Phenylalanine and Tyrosine Requirements of Immature Beagle Dogs. The Journal of Nutrition **114**, 2212-2216.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2006): Nutrient Requirements of dogs and cats. National Acad. Press, Washington, DC, S.111-139, 359, 362.

NEIRINCK, K., ISTASSE, L., GABRIEL, A., VAN EENAENE, C., BIENFAIT, J-M. (1991): Amino Acid Composition and Digestibility of Four Protein Sources for Dogs. The Journal of Nutrition **121**, S64-S65.

RADE, C. (2008): Proteine in der Hundeernährung. Enke Verlag, kleintier.konkret, 6: 3-5.

REN, P., ZHU, Z., DONG, B., ZANG, J., GONG, L. (2011): Determination of energy and amino acid digestibility in growing pigs fed corn distillers' dried grains with solubles containing different lipid levels. Archives of Animal Nutrition **65**, 303-319.

ROYAL CANIN: Produktbuch Diätfuttermittel. Royal Canin, Österreich, Veterinary Diet, Diätfuttermittel Hund.

SANDERSON, L. S. (2006): Taurine and Carnitine in Canine Cardiomyopathy. Veterinary Clinics Small Animal Practice **36**, 1325-1343.

SANDERSON, L. S., GROSS, L. K., OGBURN, N. P., CALVERT, C., JACOBS, G., LOWRY, R. S., BIRD, A. K., KOEHLER, A. L., SWANSON, L. L. (2001): Effects of dietary fat and L-carnitine on plasma and whole blood taurine concentrations and cardiac function in healthy dogs fed protein-restricted diets. American Journal of Veterinary Research **223**, 1130-1136.

SCHEUNERT, A., TRAUTMANN, A. (1987): Lehrbuch der Veterinär-Physiologie. 7. Auflage, Paul Parey, Berlin und Hamburg, S.29, 64.

VISEK, J. W., ROBERTSON, B. J., GAGNON, P. J., CLINTON, K. S., ULMAN, A. E. (1976): Dried brewers grains for mature and growing dogs. The Journal of Animal Science **43**, 442-452.

Aminosäurenbedarf und Aminosäurenverfügbarkeit beim Hund

Von ENGELHARDT, W., BREVES, G. (2000): Physiologie der Haustiere. 1. Auflage, Enke, Stuttgart, S. 392-394.

WIKIPEDIA: Arginin. Internet, Link: <http://de.wikipedia.org/wiki/Arginin>
Accessed: 2011-10-25.

WILLIAMS, C. C., CUMMINS, A., K., HAYEK, G.M., DAVENPORT, M. G. (2001): Effects of dietary protein on whole-body protein turnover and endocrine function in young-adult and aging dogs. J. Anim. Sci. **79**, 3128-3136.