

**INSTITUT FÜR
ERNÄHRUNGSWISSENSCHAFTEN
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT MÜNCHEN**

**Stickstoff-Bilanzstudien zum Erhaltungsbedarf an
essentiellen Aminosäuren bei ausgewachsenen Sauen**

Bettina Maria Jahn

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau der Technischen
Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften
(Dr. agr.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. H.H.D. Meyer

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. F.X. Roth
2. Univ.-Prof. Dr. J. Bauer

Die Dissertation wurde am 02. Mai 2000 bei der Technischen Universität München eingereicht
und durch die Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau am 19. Juni 2000 angenommen.

Für meine lieben Eltern

Herrn Prof. Dr. F.X. Roth,

meinem Lehrer und Doktorvater, danke ich sehr herzlich für die Überlassung des Themas, für die wissenschaftliche Anleitung und die stets gewährte Unterstützung. Seine ständige Gesprächsbereitschaft war mir immer eine große Hilfe.

Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. mult. M. Kirchgeßner,

emeritierter Direktor des Instituts für Ernährungsphysiologie der Technischen Universität München, möchte ich herzlich für die Beratung bei der Planung und Durchführung der Versuche und die stete Gesprächsbereitschaft danken.

Weiterhin gilt ein besonderer Dank Herrn Klement Hiebl, der mich in der Versuchsdurchführung tatkräftig und gewissenhaft unterstützte. Sein überdurchschnittliches Engagement trug wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit bei.

Außerdem möchte ich Frau PD. Dr. G. Stangl und Herrn PD. Dr. W. Windisch für die vielen Anregungen und ihre stete Gesprächsbereitschaft danken.

Ebenso gilt mein Dank Frau C. Gilgenbach, die mich mit ihrer gewissenhaften und zuverlässigen Arbeitsweise bei der Stickstoffanalytik sehr unterstützte.

Danken möchte ich auch allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts und der Versuchsanlage für Tierernährung, die mich durch ihre tatkräftige und freundliche Hilfe bei meiner Arbeit unterstützt haben.

Nicht zuletzt danke ich der Firma Lohmann Animal Health GmbH & Co KG, Cuxhaven, für die Bereitstellung der kristallinen Aminosäuren.

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|-----------|---|----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Material und Methoden | 3 |
| 2.1 | Allgemeiner Teil..... | 3 |
| 2.1.1 | Versuchsplanung | 3 |
| 2.1.2 | Haltung der Schweine..... | 5 |
| 2.1.3 | Herstellung der Versuchsdiäten | 5 |
| 2.1.4 | Fütterung der Tiere | 8 |
| 2.1.5 | Gewinnung des Probenmaterials | 8 |
| 2.1.5.1 | Durchführung der N-Bilanz..... | 8 |
| 2.1.5.1.1 | Kotsammlung und Aufbereitung..... | 9 |
| 2.1.5.1.2 | Harnsammlung und Aufbereitung..... | 10 |
| 2.1.5.1.3 | Sammeln von abgestoßenen Hautpartikeln und Haaren..... | 11 |
| 2.1.5.2 | Blutentnahme..... | 12 |
| 2.1.6 | Berechnung der N-Bilanz | 12 |
| 2.1.7 | Analyse des Probenmaterials..... | 13 |
| 2.1.7.1 | Stickstoffanalysen..... | 13 |
| 2.1.7.1.1 | Kot und Harn..... | 13 |
| 2.1.7.1.2 | Futter und Haut/Haare..... | 14 |
| 2.1.7.2 | Bestimmung der Roh Nährstoffe im Futter | 14 |
| 2.1.7.3 | Bestimmung der Bruttoenergie (GE) in Kot und Futter | 14 |
| 2.1.7.4 | Bestimmung der Aminosäuregehalte in den Versuchsdiäten und im Blutplasma..... | 15 |
| 2.1.7.5 | Bestimmung des Harnstoffgehaltes im Harn..... | 16 |
| 2.1.7.6 | Bestimmung der Ammoniumkonzentration im Harn | 16 |
| 2.1.7.7 | Bestimmung des Hämoglobingehalts im Blut | 16 |
| 2.1.7.8 | Bestimmung verschiedener Stoffwechselprodukte des N-Stoffwechsels..... | 17 |
| 2.1.7.8.1 | Allantoinbestimmung im Harn..... | 17 |
| 2.1.7.8.2 | Kreatininbestimmung im Harn..... | 17 |
| 2.1.7.8.3 | Hydroxyprolin- und 3-Methylhistidinbestimmung im Blut | 17 |
| 2.1.8 | Statistische Auswertung und Ergebnisdarstellung..... | 17 |
| 2.2 | Spezieller Teil..... | 20 |
| 2.2.1 | Tiermaterial | 20 |
| 2.2.2 | Spezielle Methodik Versuch 1: Bestimmung der Stickstoffverluste über die Körperoberfläche | 20 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.2.2.1 | Versuchsablauf | 20 |
| 2.2.2.2 | Auswertung der Versuchsdaten | 21 |
| 2.2.3 | Spezielle Methodik Versuch 2: Optimale Dauer eines Versuchsdurchgangs und Bedarfsbestimmung von Threonin | 21 |
| 2.2.3.1 | Versuchsablauf | 22 |
| 2.2.3.2 | Versuchsdäten..... | 22 |
| 2.2.4 | Spezielle Methodik Versuch 3: Bedarfsbestimmung von Lysin, Methionin+Cystein und Valin | 26 |
| 2.2.4.1 | Versuchsablauf | 27 |
| 2.2.4.2 | Versuchsdäten..... | 28 |
| 2.2.5 | Spezielle Methodik Versuch 4: Bedarfsbestimmung von Isoleucin, Leucin und Phenylalanin+Tyrosin..... | 31 |
| 2.2.5.1 | Versuchsablauf | 31 |
| 2.2.5.2 | Versuchsdäten..... | 32 |
| 2.2.6 | Spezielle Methodik Versuch 5: Bedarfsbestimmung von Methionin, Phenylalanin und Tryptophan..... | 34 |
| 2.2.6.1 | Versuchsablauf | 34 |
| 2.2.6.2 | Versuchsdäten..... | 34 |
| 2.2.7 | Spezielle Methodik Versuch 6: Wiederholungen zur Bedarfsermittlung von Isoleucin, Leucin, Phenylalanin/Tyrosin, Valin, Tryptophan und N- Bedarfsermittlung anhand einer N-freien Diät | 37 |
| 2.2.7.1 | Versuchsablauf | 37 |
| 2.2.7.2 | Versuchsdäten..... | 37 |
| 3 | Ergebnisse | 40 |
| 3.1 | Energie im Futter | 40 |
| 3.2 | Lebendmasseentwicklung während des Versuchs Fehler! Textmarke nicht definiert. | |
| 3.3 | Stickstoffverluste über die Körperoberfläche | 41 |
| 3.4 | N-Bilanzen und Regressionen | 42 |
| 3.4.1 | Threonin..... | 42 |
| 3.4.2 | Lysin | 45 |
| 3.4.3 | Methionin+Cystein | 47 |
| 3.4.4 | Methionin..... | 49 |
| 3.4.5 | Tryptophan..... | 50 |
| 3.4.6 | Phenylalanin +Tyrosin..... | 52 |
| 3.4.7 | Phenylalanin | 53 |
| 3.4.8 | Isoleucin..... | 55 |

| | | |
|----------------------------|--|------------|
| 3.4.9 | Leucin | 56 |
| 3.4.10 | Valin | 57 |
| 3.4.11 | Histidin | 59 |
| 3.4.12 | N-freie Diät..... | 59 |
| 3.5 | Stoffwechselfparameter im Blut | 61 |
| 3.6 | Stoffwechselfparameter im Harn | 65 |
| 3.7 | N- und Proteinverluste hochgerechnet über die ganze Versuchsdauer..... | 68 |
| 4 | Diskussion..... | 70 |
| 4.1 | Nährstoffversorgung und Verdaulichkeiten der Rationen | 70 |
| 4.2 | Lebendmasseentwicklung..... | 72 |
| 4.3 | Versuchsablauf | 72 |
| 4.4 | Stickstoff- und Aminosäurenstoffwechsel im Erhaltungsbedarf | 74 |
| 4.4.1 | Oxidative Verluste an Aminosäuren..... | 75 |
| 4.4.2 | Endogene Aminosäurenverluste | 79 |
| 4.4.3 | Verluste an Stickstoff und Aminosäuren über die Körperoberfläche..... | 81 |
| 4.5 | Auswirkungen eines Aminosäurenmangels im Erhaltungs niveau von Sauen..... | 83 |
| 4.5.1 | Auswirkungen eines Threoninmangels..... | 83 |
| 4.5.2 | Auswirkungen eines Lysinmangels | 85 |
| 4.5.3 | Auswirkungen eines Mangels an Methionin und Cystein | 87 |
| 4.5.4 | Auswirkungen eines Tryptophanmangels..... | 89 |
| 4.5.5 | Auswirkungen eines Mangels an Phenylalanin und Tyrosin..... | 92 |
| 4.5.6 | Die verzweigtkettigen Aminosäuren Isoleucin, Leucin und Valin..... | 95 |
| 4.5.6.1 | Auswirkungen eines Isoleucinmangels..... | 97 |
| 4.5.6.2 | Auswirkungen eines Leucinmangels | 98 |
| 4.5.6.3 | Auswirkungen eines Valinmangels | 99 |
| 4.5.7 | Auswirkungen eines Histidinmangels | 100 |
| 4.5.8 | Auswirkungen einer N-freien Diät | 101 |
| 4.6 | Vergleich von Bedarfswerten und Aminosäurenmustern verschiedener Spezies für Erhaltung und Wachstum | 102 |
| 4.7 | Schlußbetrachtung | 105 |
| 5 | Zusammenfassung | 108 |
| 6 | Summary | 111 |
| 7 | Literaturverzeichnis | 113 |
| TABELLENANHANG..... | | A |

TABELLENVERZEICHNIS

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Aminosäuregehalte in der Maisstärke | 6 |
| Tabelle 2: Mengenelement-, Spurenelement- und Vitamingehalte im Futter..... | 6 |
| Tabelle 3: Angaben zu kristallinen Aminosäuren | 7 |
| Tabelle 4: Beispielstabelle zur Ergebnisdarstellung..... | 18 |
| Tabelle 5: Versuchsablauf Versuch 2 | 22 |
| Tabelle 6: Bedarf an essentiellen Aminosäuren nach FULLER et al. (1989) | 23 |
| Tabelle 7: Bedarf der nichtessentiellen Aminosäuren Arginin und Prolin nach FICKLER (1993) | 25 |
| Tabelle 8: Aminosäurezusammensetzung der Rationen in Versuch 2 | 25 |
| Tabelle 9: Zusammensetzung der Rationen in Versuch 2 | 26 |
| Tabelle 10: Versuchsablauf Versuch 3 | 27 |
| Tabelle 11: Versuchsablauf Versuch 3 mit Histidin..... | 28 |
| Tabelle 12: Aminosäuregehalte* der Rationen in Versuch 3 | 29 |
| Tabelle 13: Zusammensetzung der Rationen in Versuch 3 | 30 |
| Tabelle 14: Versuchsablauf Versuch 4 | 31 |
| Tabelle 15: Aminosäuregehalte* der Rationen in Versuch 4 | 32 |
| Tabelle 16: Zusammensetzung der Rationen in Versuch 4 | 33 |
| Tabelle 17: Versuchsablauf in Versuch 5 | 34 |
| Tabelle 18: Aminosäuregehalte der Rationen in Versuch 5 | 35 |
| Tabelle 19: Zusammensetzung der Rationen in Versuch 5 | 36 |
| Tabelle 20: Versuchsablauf in Versuch 6..... | 37 |
| Tabelle 21: Aminosäuregehalte der Rationen in Versuch 6 | 38 |
| Tabelle 22: Zusammensetzung der Rationen in Versuch 6 | 39 |
| Tabelle 23: Zusammensetzung der N-freien Ration..... | 39 |
| Tabelle 24: Energie in Futter und Kot | 40 |
| Tabelle 25: Lebendmassen | 41 |
| Tabelle 26: N-Verluste über die Körperoberfläche | 42 |
| Tabelle 27: N-Bilanz der gepoolten Bilanztage aus der Ration Thr 50..... | 43 |
| Tabelle 28: N-Bilanz der gepoolten Bilanztage, Stufe Thr25 | 43 |
| Tabelle 29: N-Bilanz der gepoolten Bilanztage, Stufe Thr 0 | 44 |
| Tabelle 30: N-Bilanz, Mittelwerte der Stufen Thr 100 bis 0 | 44 |
| Tabelle 31: N-Bilanz der Lysin Stufen | 46 |
| Tabelle 32: N-Bilanz der Methionin+Cystein-Stufen..... | 48 |
| Tabelle 33: N-Bilanz der Methionin-Stufen | 49 |

| | |
|--|-----|
| Tabelle 34: N-Bilanz der Tryptophan-Stufen..... | 51 |
| Tabelle 35: N-Bilanz der Phenylalanin+Tyrosin-Stufen..... | 52 |
| Tabelle 36: N-Bilanz der Phenylalanin-Stufen..... | 54 |
| Tabelle 37: N-Bilanz der Isoleucin-Stufen..... | 55 |
| Tabelle 38: N-Bilanz der Leucin-Stufen..... | 57 |
| Tabelle 39: N-Bilanz der Valinstufen..... | 58 |
| Tabelle 40: N-Bilanz bei Histidinzulage..... | 60 |
| Tabelle 41: N-Bilanz bei N-freier Diät..... | 60 |
| Tabelle 42: Gehalte an freien Aminosäuren, Harnstoff und Stoffwechselfparametern im Blutplasma 1..... | 63 |
| Tabelle 43: Gehalte an freien Aminosäuren, Harnstoff und Stoffwechselfparametern im Blutplasma 2..... | 64 |
| Tabelle 44: Hämoglobingehalt im Vollblut..... | 65 |
| Tabelle 45: Ausscheidung von N-Stoffwechselprodukten im Harn bei Absenkung der Aminosäuren Threonin, Lysin und Methionin+Cystein..... | 66 |
| Tabelle 46: Ausscheidung von N-Stoffwechselprodukten im Harn bei Absenkung der Aminosäuren Methionin, Tryptophan und Phenylalanin+Tyrosin..... | 66 |
| Tabelle 47: Ausscheidung von N-Stoffwechselprodukten im Harn bei Absenkung der Aminosäuren Phenylalanin, Isoleucin und Leucin..... | 67 |
| Tabelle 48: Ausscheidung von N-Stoffwechselprodukten im Harn bei der Absenkung der Aminosäure Valin und einer N-freien Diät..... | 67 |
| Tabelle 49: Beispiel zur Berechnung des N- und Proteinverlustes..... | 68 |
| Tabelle 50: N- und Proteinverluste über gesamte Versuchsdauer..... | 69 |
| Tabelle 51: Zeitlicher Verlauf der Harn-N-Ausscheidungen nach Diätumstellung..... | 73 |
| Tabelle 52: Mittlere Gehalte an basalem endogenem Rohprotein und Aminosäuren (g/kg TM-Aufnahme)* (JANSMANN et al. 1999)..... | 81 |
| Tabelle 53: Vergleich der Bedarfswerte ohne und mit Einbeziehung der N-Verluste über die Körperoberfläche..... | 82 |
| Tabelle 54: Verbindungen, deren Methylgruppe von S-Adenosylmethionin stammt (LÖFFLER und PETRIDES 1988)..... | 88 |
| Tabelle 55: Schätzungen von Erhaltungsbedarfswerten der essentiellen Aminosäuren verschiedener Spezies..... | 104 |

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

| | |
|--|-----|
| Abbildung 1: Beispieldiagramm zur Bedarfsermittlung einer Aminosäure..... | 19 |
| Abbildung 2: Darstellung der besammelten Standfläche | 21 |
| Abbildung 3: Beziehung zwischen der Thr-Aufnahme und der N-Bilanz | 45 |
| Abbildung 4: Beziehung zwischen der Lys-Aufnahme und der N-Bilanz | 46 |
| Abbildung 5: Beziehung zwischen der Met+Cys-Aufnahme und der N-Bilanz | 48 |
| Abbildung 6: Beziehung zwischen der Met-Aufnahme und der N-Bilanz..... | 50 |
| Abbildung 7: Beziehung zwischen der Trp-Aufnahme und der N-Bilanz | 51 |
| Abbildung 8: Beziehung zwischen der Phe+Tyr-Aufnahme und der N-Bilanz | 53 |
| Abbildung 9: Beziehung zwischen der Phe-Aufnahme und der N-Bilanz | 54 |
| Abbildung 10: Beziehung zwischen der Ile-Aufnahme und der N-Bilanz | 56 |
| Abbildung 11: Beziehung zwischen der Leu-Aufnahme und der N-Bilanz..... | 57 |
| Abbildung 12: Beziehung zwischen der Val-Aufnahme und der N-Bilanz | 59 |
| Abbildung 13: Stoffwechselwege des Tyrosins | 93 |
| Abbildung 14: Vergleich der Aminosäuremuster für Erhaltung, Laktation und Wachstum (Erhaltung: vorliegende Studie; Laktation: NRC 1998; Wachstum: NRC 1998; Lys = 100) | 105 |

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

| | |
|--------------------------------|----------------------------|
| Ala | Alanin |
| Arg | Arginin |
| AS | Aminosäure |
| Asp | Asparaginsäure |
| α | Irrtumswahrscheinlichkeit |
| °C | Grad Celsius |
| c | Normalität |
| cm | Zentimeter |
| Cys | Cystein |
| CoA | Coenzym A |
| d | Tag |
| DE | verdauliche Energie |
| DNA | Desoxyribonucleinsäure |
| Dopa | Dihydroxyphenylalanin |
| E | Einwaage |
| EAS | essentielle Aminosäuren |
| FS | Frischsubstanz |
| g | Gramm |
| GE | Bruttoenergie |
| Glu | Glutaminsäure |
| h | Uhr |
| HCl | Salzsäure |
| H ₂ S | Schwefelwasserstoff |
| H ₂ SO ₄ | Schwefelsäure |
| IE | internationale Einheiten |
| Ile | Isoleucin |
| kg | Kilogramm |
| K _m | Michaelis-Menten-Konstante |
| L | Liter |
| Leu | Leucin |
| LM | Lebendmasse |
| LM ^{0,75} | metabolische Lebendmasse |
| Lys | Lysin |
| M | molare Masse |

| | |
|---|---|
| ME | umsetzbare Energie |
| Met | Methionin |
| MJ | Megajoule |
| mg | Milligramm |
| ml | Milliliter |
| MW | Mittelwert |
| μl | Mikroliter |
| N | Stickstoff |
| Na ⁺ | Natriumion |
| NAD ⁺ | Nicotinamid-adenin-dinucleotid |
| NADH | reduzierte Form des Nicotinamid-adenin-dinucleotids |
| NaOH | Natronlauge |
| NEAS | nicht essentielle Aminosäuren |
| NH ₂ - | Amino- |
| NH ₃ | Ammoniak |
| (NH ₄) ₂ SO ₄ | Ammoniumsulfat |
| nm | Nanometer |
| OR | organischer Rest |
| Phe | Phenylalanin |
| Pro | Prolin |
| R ² | Bestimmtheitsmaß |
| RNA | Ribonucleinsäure |
| RS | Reinsubstanz |
| S | Schwefel |
| SD | Standardabweichung |
| SH- | Thiol- |
| s _{y,x} | Standardabweichung der Regression |
| Thr | Threonin |
| Trp | Tryptophan |
| TS | Trockensubstanz |
| Tyr | Tyrosin |
| V | Volumen |
| Val | Valin |
| vgl. | vergleiche |
| VQ | Verdaulichkeit |
| XF | Rohfaser |

| | |
|----|------------|
| XL | Rohfett |
| XP | Rohprotein |
| XS | Rohstärke |
| XZ | Rohzucker |

1 Einleitung

Bei Schweinen beinhaltet der Proteinbedarf, wie bei allen Monogastern, eigentlich einen Aminosäurenbedarf. Durch die Unfähigkeit essentielle Aminosäuren selbst im Organismus zu synthetisieren, oder von Mikroorganismen produzieren zu lassen, sind Schweine auf die Zufuhr essentieller Aminosäuren mit der Nahrung angewiesen. Allgemein bekannt ist ebenfalls, daß die Aminosäuren in einem idealen Verhältnis zueinander stehen sollen, damit das zugeführte Protein auch optimal genutzt werden kann. Mit der Verfütterung eines idealen Proteins, das genau auf die Aufgaben des Stoffwechsels abgestimmt ist, erreicht man, daß der Stoffwechsel der Tiere die zur Verfügung stehenden Aminosäuren optimal nutzen kann und kein überschüssiger Stickstoff vorhanden ist. Die Beseitigung von unbrauchbarem Stickstoff ist eine energieaufwendige und belastende Aufgabe des Stoffwechsels. Ein weiterer Effekt der Fütterung eines idealen Proteins ist die niedrigere N-Ausscheidung der Tiere und die damit verbundenen niedrigeren N-Gehalte in der Gülle. Die Zusammensetzung eines idealen Proteins richtet sich nach den Bedürfnissen des Stoffwechsels und damit nach dem physiologischen Zustand des Tieres. Es erscheint als verständlich, daß für ein wachsendes Tier andere Bedürfnisse zu erfüllen sind als für ein laktierendes Tier, da sich die produzierten Produkte, nämlich Muskel oder Milch, in ihrer Aminosäurezusammensetzung unterscheiden (ZHANG et al. 1986; AUMAITRE und DUEE 1974; ELLIOTT et al. 1971;).

Der Teil des Bedarfs an Aminosäuren, der nicht für die Synthese von Leistungsparametern wie Muskelansatz, Foeten oder Milch benötigt wird, sondern für die Aufrechterhaltung der Körperfunktionen, wird Erhaltungsbedarf genannt. Der Erhaltungsbedarf richtet sich nach grundlegenden Aufgaben in einem Organismus wie der Synthese von Sekreten im Verdauungskanal, Nucleinsäuren, Hormonen, biogenen Aminen, Neurotransmittern, Haut, Haaren und der Ersatz von Proteinen, die durch den Proteinturnover im Gewebe erneuert werden (MILLWARD 1998). Diese aufgeführten Aufgaben gehören zum obligatorischen Stoffwechselbedarf, der nicht veränderbar ist. Die für den Erhaltungsbedarf gebildeten Moleküle werden dann als endogene Aminosäuren oder endogener Stickstoff wieder ausgeschieden. Endogene Aminosäuren stammen von körpereigenen Proteinen, die im Rahmen des Proteinturnover hydrolysiert wurden. Der endogene Stickstoff insgesamt stammt aus dem oxidativen Abbau der Aminosäuren und der N-tragenden Moleküle. Den zweiten Anteil am Bedarf bildet eine adaptive Komponente, die von der Höhe der Proteinzufuhr und der Proteinqualität der Nahrung abhängig ist (MILLWARD und RIVERS 1988). Der obligatorische Bedarf an Aminosäuren läßt sich mit verschiedenen Methoden bestimmen. Zum Beispiel über die Bestimmung der obligatorischen oxidativen Verluste an Aminosäuren, die über das Aminosäuremuster des unausweichlichen Stickstoffverlustes bei proteinfreier Ernährung

ermittelt werden. Auch kann mit ^{13}C -markierten Aminosäuren der Stoffwechsel der markierten Aminosäure selbst oder einer anderen Aminosäure verfolgt und dadurch ihr Bedarf bestimmt werden.

Eine weitere Möglichkeit ist die N-Bilanz-Methode. Bei dieser Methode betrachtet man die Veränderung der Stickstoffausscheidung aufgrund der stufenweisen Depletion mit einer Aminosäure. Diese Methode wurde schon in zahlreichen Untersuchungen zur Bedarfsermittlung des Erhaltungs- und Leistungsbedarfs an Aminosäuren verschiedener Spezies angewendet (FICKLER et al. 1993; GAHL et al. 1991; FULLER et al. 1989; WANG und FULLER 1988; FRYDRYCH 1985; HEGER und ROUSSELOW und SPEER 1980; EASTER und BAKER 1977; BAKER und ALLEE 1970; BAKER et al. 1966 a, b, c; ROSE et al. 1957;). Der stufenweise Entzug einer essentiellen Aminosäure aus der Diät hat eine steigende N-Ausscheidung im Harn zur Folge. Diese resultiert aus der schlechteren Ausnutzung des verfütterten Proteins und aus der Mobilisierung von Körperprotein zur Behebung des Mangels an der depletierten Aminosäure. Durch diese Untersuchungen kann der Zusammenhang zwischen der Aminosäurezufuhr und der N-Bilanz hergestellt werden, der mit Regressionsgleichungen dargestellt wird. Der Erhaltungsbedarf einer Aminosäure wird dabei im N-Gleichgewicht bestimmt, in dem genausoviel Stickstoff aufgenommen wie abgegeben wird. Dabei sollte angemerkt werden, daß sich die vom Organismus abgegebene Menge an Stickstoff aus den Ausscheidungen in Harn und Kot und, was in den meisten Betrachtungen vernachlässigt wurde, auch aus den Verlusten über die Körperoberfläche aus Haut und Haaren zusammensetzt.

Ziel der vorliegenden Studie war es, den Erhaltungsbedarf der essentiellen Aminosäuren für ausgewachsene Sauen, die keine Leistung erbrachten, zu bestimmen, da in der Literatur keine Untersuchungen dazu vorliegen. Die in der Literatur befindlichen Angaben zu den Werten wurden an wachsenden Tieren ermittelt (FULLER et al. 1989; BAKER und ALLEE 1970; BAKER et al 1966 a, b, c;), und es schien daher notwendig, den Erhaltungsbedarf ohne eventuelle Einflüsse durch Leistungsparameter zu bestimmen. Die ermittelten Ergebnisse sollten dann dazu dienen, eine Grundlage für die faktorielle Bedarfsableitung beim Schwein zu bilden, mit der, anhand der Lebendmasse eines Tiers und dessen physiologischen Zustand, die Menge und das Muster des Proteins berechnet werden kann, das eine optimale Versorgung mit Aminosäuren sichert.

2 Material und Methoden

2.1 Allgemeiner Teil

2.1.1 Versuchsplanung

Im Rahmen dieser Arbeit sollte das Aminosäurenmuster des idealen Proteins und der Bedarf jeder essentiellen Aminosäure für ausgewachsene Sauen, die sich auf Erhaltungsniveau befanden, erarbeitet werden. In Bezug auf Aminosäuren wird der Zustand der Erhaltung als Stickstoff (N)-Gleichgewicht definiert. Das heißt, daß in diesem Stadium die N-Aufnahme gleich der Summe der N-Verluste ist, so daß der N-Gehalt des Körpers konstant bleibt. Die N-Verluste setzen sich aus N-Ausscheidungen über Kot, Harn, Haut und Haare zusammen. Der Zustand der Erhaltung läßt sich nur eindeutig an ausgewachsenen Tieren darstellen, bei denen kein Leistungsbedarf besteht. Bei Tieren, die sich im Wachstum befinden, trächtig sind, oder lactieren, ist es unmöglich Erhaltung und Leistung getrennt voneinander zu betrachten. In der Literatur sind nur wenige Arbeiten zu finden, die sich mit dem Muster des Idealproteins für die Erhaltung beim Schwein befassen (FULLER et al. 1989; BAKER and ALLEE 1970; BAKER et al. 1966 a, b, c;). In diesen Studien wurde allerdings mit wachsenden Tieren gearbeitet und bei BAKER et al. (1966 a, b, c) außerdem der Erhaltungsbedarf der Aminosäuren bei einem N-Ansatz von 1 g pro Tag festgelegt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden deshalb N-Bilanzmessungen an ausgewachsenen Sauen im Bereich des N-Erhaltungsbedarfs durchgeführt. Dazu stellten sich folgende Fragen:

- * Wie hoch ist der Bedarf jeder essentiellen Aminosäure für die Erhaltung?
- * Wie hoch sind die N-Verluste über die Körperoberfläche, sprich Haut und Haare?
- * Wie hoch ist der Gesamt-N-Bedarf für die Erhaltung?

Am Anfang der Untersuchung stand der Versuch den über die Körperoberfläche verlorenen Stickstoff quantifizieren zu können. Hierzu wurden von den Sauen Hautabschilferungen und Haare über eine bestimmte Bilanzzeit gesammelt und deren Menge und N-Gehalt bestimmt. Während dieser Zeit erhielten die Tiere keine spezielle Versuchsration, sondern eine praxisübliche Gerste-Soja-Mischung.

Um den Bedarf einer Aminosäure ermitteln zu können, ist es notwendig Diäten zu verwenden, in denen der Gehalt einzelner Aminosäuren variierbar ist. Für die N-Bilanzmessungen wurden deshalb chemisch definierte Diäten verfüttert, deren einzige N-Quelle kristalline Aminosäuren

waren. Zur Orientierung für die N-Gehalte in den Rationen diente die Arbeit von FULLER et al. (1989), in der der Bedarf der essentiellen Aminosäuren für die Erhaltung bei wachsenden Schweinen ermittelt wurde.

Im zweiten Versuch wurde zunächst die notwendige Dauer eines Versuchsdurchganges bestimmt. Ein Versuchsdurchgang setzt sich aus einer Vor- und einer Sammelperiode zusammen. Die Vorperiode ist die Umgewöhnungsphase nach einem Futterwechsel. Nach dieser Zeit sollte sich der Stoffwechsel der Tiere auf die neue Diät umgestellt haben und die täglichen N-Bilanzen wieder konstant sein. Diese Zeit ist natürlich von der Art und der Unterschiedlichkeit der Diäten abhängig. Bei einer Umstellung von einer Diät, die den Erhaltungsbedarf erfüllt, auf eine, deren Gehalt einer Aminosäure unter dem Bedarf liegt, verschiebt sich die N-Bilanz ins Negative. Dieser Vorgang geschieht umso schneller, je kleiner der Speicher für diese Aminosäure im Körper ist. Ist der Speicher aufgebraucht, muß der Körper Protein abbauen, um den Bedarf dieser Aminosäure zu decken, und die N-Bilanz wird negativ. In diesem Versuch wurde den Sauen zunächst eine Ration vorgelegt, von der angenommen wurde, daß sie den Thr-Bedarf deckt. Von dieser Ration ausgehend wurde in einer zweiten und dritten Ration der Gehalt an Threonin um 50 % und um 75 % abgesenkt. Durch tägliche N-Bilanzmessungen wurde die Zeit bestimmt, die der Stoffwechsel zur Umstellung auf die reduzierte Threoninmenge benötigt. Außerdem wurde während der Fütterung der %= % reduzierten Diät, wiederum durch tägliche Bilanzmessungen, die notwendige Zahl der Sammeltage ermittelt, die benötigt werden, um eine N-Bilanz möglichst genau zu erfassen.

Mit dem Ergebnis des zweiten Versuchs sollten dann im Versuch 3 - 6 die N-Bilanzstudien zur Bestimmung der Bedarfswerte der weiteren neun essentiellen Aminosäuren durchgeführt werden. In jedem Versuch wurden immer vier verschiedene Gehaltsstufen einer Aminosäure in vier aufeinanderfolgenden Durchgängen an einem Tier getestet. Durchgang 1 beinhaltete die höchste, Durchgang 4 die niedrigste Gehaltsstufe der Aminosäure, deren Bedarf ermittelt wurde. Die Gehaltsstufen wurden so gewählt, daß möglichst die beiden höheren Stufen einen N-Ansatz und die anderen beiden eine negative Bilanz zur Folge hatten. Der Bedarf der Aminosäure sollte dann durch den Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der N-Bilanz-Nullinie bestimmt werden. Zur Untermauerung der Ergebnisse wurden Analysen der Parameter des N-Stoffwechsels in Harn und Blut, Harnstoff, Ammonium, Hämoglobin, Allantoin, Kreatinin, Hydroxyprolin und Methylhistidin herangezogen.

2.1.2 Haltung der Schweine

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Versuche wurden in der Zeit von April 1998 bis Mai 1999 in der Versuchsanlage des Instituts für Ernährungswissenschaften der Technischen Universität München in Freising-Weihenstephan durchgeführt.

Die Aufstallung der Sauen erfolgte in Abferkelkäfigen, wobei die Trennwände der Abferkelbuchten entfernt wurden, um bei den verschiedenen Arbeiten an den Tieren mehr Platz zur Verfügung zu haben.. Die Einzeltierhaltung ermöglichte eine individuelle Betreuung der Tiere während und zwischen den Versuchen. In jedem Stand befand sich eine Anbindemöglichkeit über einen Schultergurt. Diese Fixierung der Tiere war notwendig, um bei der Durchführung der N-Bilanzen den Harn mittels Blasenkatheder sammeln zu können. Zum einen konnte dadurch verhindert werden, daß sich die Tiere beim Setzen des Katheders aus dem Stand entfernten. Desweiteren konnte der gesetzte Katheder besser gegen ein Herausrutschen gesichert werden. Der Fußboden der Abferkelbucht bestand aus einer, mit wärmedämmendem Estrich, planbefestigten Buchtenfläche. Die Lufttemperatur im Stall betrug 20-23°C.

2.1.3 Herstellung der Versuchsdäten

Bedingt durch die Versuchsanstellung konnten zur Herstellung der Versuchsdäten nur Einzelnährstoffe (Stärke, Cellulose, Saccharose, Glucose, Sojaöl, kristalline Aminosäuren) verwendet werden. Um Diäten herstellen zu können, die genaue Mengen einzelner Aminosäuren enthalten, mußten auch die Aminosäuregehalte der Einzelkomponenten bestimmt werden. So wurden in der Maisstärke Spuren von Aminosäuren festgestellt (Tabelle 1), die dann bei der Rationsberechnung berücksichtigt wurden.

Für die Mineralstoffversorgung der Tiere konnte kein praxisübliches Mineralfuttermittel verwendet werden, da es gewisse Anteile Rohprotein enthielt. Die Mengen- und Spurenelemente wurden deshalb in Form von reinen Salzen beigemischt. Die Mineral- und Vitamingehalte waren in allen Versuchsdäten gleich und sind in Tabelle 2 zusammengefaßt.

Tabelle 1: Aminosäuregehalte in der Maisstärke

| Aminosäure | [mg/g TS] | Aminosäure | [mg/g TS] |
|------------|-----------|------------|-----------|
| Ala | 0,3 | Leu | 0,4 |
| Arg | 0,2 | Lys | 0,2 |
| Asp | 0,5 | Met | 0,1 |
| Cys | 0,1 | Phe | 0,2 |
| Glu | 0,6 | Pro | 0,2 |
| Gly | 0,2 | Ser | 0,2 |
| His | 0,1 | Thr | 0,3 |
| Ile | 0,2 | Val | 0,2 |

Tabelle 2: Mengenelement-, Spurenelement- und Vitamingehalte im Futter

| Gehalte je kg FS | | | |
|----------------------------|--------|----------------|----------|
| Mengen- und Spurenelemente | | Vitamine | |
| Calcium | 4,7 g | Vitamin A | 2116 IE |
| Phosphor | 2,9 g | Vitamin D | 184 IE |
| Magnesium | 1,2 g | Vitamin E | 10 IE |
| Natrium | 1,8 g | Vitamin K | 0,1 mg |
| Kalium | 3,1 g | Vitamin B1 | 1,6 mg |
| Chlor | 2,6 g | Vitamin B2 | 2,8 mg |
| Eisen | 80 mg | Nicotinsäure | 10 mg |
| Zink | 50 mg | Pantothensäure | 9 mg |
| Fluor | 24 mg | Vitamin B6 | 1,4 mg |
| Mangan | 20 mg | Vitamin B12 | 0,014 mg |
| Kupfer | 10 mg | Biotin | 0,06 mg |
| Jod | 0,5 mg | Folsäure | 0,30 mg |
| Selen | 0,2 mg | Cholin | 1,1 g |

Die Versuchsdiäten wurden mit Hilfe des linearen Optimierungsprogramms „Single-Mix“ (FORMAT INTERNATIONAL Ltd., 1991) errechnet. Dadurch war es möglich Rationen zu erstellen, die genaue Aminosäuregehalte und eine konstante Energiemenge enthielten.

Die verwendeten kristallinen Aminosäuren wurden von der Firma LOHMANN Animal Health GmbH & Co KG, Cuxhaven zur Verfügung gestellt. In Tabelle 3 sind die Daten der Aminosäuren aufgelistet, die zur Berechnung der Rationen notwendig waren. Die umsetzbare Energie (ME) der Aminosäuren wurde aus Bruttoenergiewerten (GE) nach folgender Formel aus dem Rostocker Futterbewertungssystem berechnet. Da die Annahme gemacht wurde, daß

die kristallinen Aminosäuren zu 100% verdaulich sind, wurde anstelle der verdaulichen Energie der Aminosäuren die Bruttoenergie (GE) verwendet:

$$ME \text{ [MJ / kg]} = GE - GE * 0,132 * XP_{(AS)}\% / 100$$

wobei: ME umsetzbare Energie der Aminosäure
 GE Bruttoenergie der Aminosäure
 $XP_{(AS)}\%$ Rohproteingehalt der Aminosäure in %.

Tabelle 3: Angaben zu kristallinen Aminosäuren

| Aminosäure | Mol- gewicht [g / mol] | N-Gehalt (i.d.RS) [%] | GE (i.d.RS) [MJ / kg] | ME (i.d.RS) [MJ / kg] | TS [%] | Reinheit (i.d.TS) [%] | ME* (i.d.FS) [MJ / kg] | XP (i.d.FS) [%] |
|------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------|
| L-Ala | 89,09 | 15,72 | 17,70 | 15,41 | 99,97 | 99,8 | 15,33 | 97,8 |
| L-Arg | 174,20 | 32,16 | 21,46 | 15,77 | 99,00 | 100 | 15,77 | 201,0 |
| L-Asp | 133,10 | 10,53 | 12,03 | 10,98 | 99,70 | 99,9 | 10,94 | 65,6 |
| L-Cys | 121,16 | 11,56 | 13,62 | 12,32 | 99,00 | 100 | 12,32 | 72,3 |
| L-Gln | 146,15 | 19,17 | 17,59 | 14,81 | 99,97 | 100 | 14,77 | 119,4 |
| L-Glu | 147,13 | 9,52 | 15,25 | 14,05 | 99,98 | 99,9 | 14,03 | 59,4 |
| L-His | 155,16 | 18,06 | 20,50 | 17,44 | 99,97 | 100 | 17,43 | 112,9 |
| L-Ile | 131,18 | 10,68 | 27,30 | 24,89 | 100 | 100 | 24,89 | 66,8 |
| L-Leu | 131,18 | 10,68 | 27,30 | 24,89 | 100 | 99,8 | 24,84 | 66,7 |
| L-Lys-HCl | 182,65 | 15,34 | 20,65 | 18,04 | 98,5 | 99 | 17,59 | 93,5 |
| DL-Met | 149,21 | 9,39 | 18,64 | 17,2 | 99,7 | 99 | 16,98 | 57,9 |
| L-Phe | 165,19 | 8,48 | 28,13 | 26,16 | 99,6 | 100 | 26,06 | 52,8 |
| L-Pro | 115,13 | 12,17 | 23,81 | 21,42 | 99,9 | 99,8 | 21,36 | 75,9 |
| L-Thr | 119,12 | 11,76 | 17,24 | 15,57 | 99,5 | 98 | 15,18 | 71,4 |
| L-Trp | 204,23 | 13,72 | 27,56 | 24,44 | 99,00 | 100 | 24,44 | 85,8 |
| L-Tyr | 181,19 | 7,73 | 24,44 | 22,88 | 100 | 100 | 22,88 | 48,3 |
| L-Val | 117,15 | 11,96 | 24,94 | 22,48 | 99,96 | 99,8 | 22,43 | 74,6 |

* zur Berechnung verwendete Bruttoenergiewerte stammen aus dem HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PHYSICS 1995, dem HANDBOOK OF BIOCHEMISTRY, und insitutseigenen Messungen.

Alle Versuchsdiäten wurden in der Mischanlage des Instituts für Ernährungsphysiologie hergestellt. Dazu standen Präzisionsmischer in verschiedenen Größen zur Verfügung. Die Mischungen wurden bei 4°C gelagert. Durch die Kühlung der Futtermittel sollte einer möglichen Maillard-Reaktion der kristallinen Aminosäuren mit den Zuckerkomponenten vorgebeugt werden.

2.1.4 Fütterung der Tiere

Die Fütterung der Tiere war auf das Erhaltungsniveau ausgerichtet. Der tägliche Erhaltungsbedarf an umsetzbarer Energie für Zuchtsauen in leicht produktiver Phase wird mit 0,41 MJ je kg metabolischem Körpergewicht ($\text{kg}^{0,75}$) angegeben (Kirchgeßner 1997). Ein Sicherheitszuschlag von 10 % ergab eine verabreichte Energiemenge von 0,45 MJ ME / $\text{kg}^{0,75}$. Der Sicherheitszuschlag sollte verhindern, daß bei den Sauen ein Energiedefizit auftritt, bei dem körpereigene Substanz, z.B. Muskelprotein, zur Energiegewinnung abgebaut wird. Außerdem sollten die mit dem Futter verabreichten Aminosäuren nicht zur Energiegewinnung herangezogen werden müssen. Ein Mangel an Energie hätte Einfluß auf die N-Bilanz genommen, der für diese Versuche nicht wünschenswert gewesen wäre.

In allen Versuchsrationen wurde ein Energiegehalt von 13 MJ ME eingehalten. Die Futtermenge je kg metabolischem Körpergewicht und Tag betrug 35 g. Die Futtermenge je Sau und Tag wurde wie folgt errechnet:

$$\text{Futtermenge [kg / d]} = \text{LM}^{0,75} * 0,035$$

Die Tiere wurden bei Versuchsbeginn gewogen, die Futtermenge berechnet und über den ganzen Versuch konstant gehalten.

Das Futter wurde den Tieren in zwei Mahlzeiten um 7.00 h und um 15.30 h vorgelegt. Dazu wurde das Futter jeweils mit 4 L Wasser vermengt. Die Wasseraufnahme je Tier wurde auf 8-9 L limitiert, da es aufgrund der Anwendung von Kathetern zu einer vermehrten Wasseraufnahme und damit zu einer erhöhten Diuresis kommen kann, die das Ergebnis der N-Bilanz beeinflussen würde (PATIENCE et al. 1987). Bei einer Harnmenge von mehr als 10 L hätten außerdem die Kanister während der Sammelperiode häufiger geleert werden müssen (vgl. Kapitel 2.5.1.2), was vor allem in der Nacht ein Problem dargestellt hätte.

2.1.5 Gewinnung des Probenmaterials

2.1.5.1 Durchführung der N-Bilanz

Zur Bestimmung von N-Bilanzen ist es notwendig die N-Zufuhr und die N-Ausscheidungen der Tiere zu ermitteln. Die Höhe der N-Zufuhr ergibt sich aus den N-Gehalten der Futtermittel und der Futteraufnahme. Die N-Abgabe setzt sich aus den Verlusten über Kot, Harn,

Leistungsprodukte, Haut und Haare zusammen. Da es sich bei diesen Studien um ausgewachsene, nichttragende und nichtlaktierende Sauen handelte, waren die N-Verluste auf Kot, Harn, Haut und Haaren beschränkt.

Üblicherweise wird auf die Bestimmung der epidermialen Verluste verzichtet und ihr Wert bei der Berechnung der N-Bilanzen vernachlässigt. Dies scheint auch berechtigt zu sein, da die meisten Messungen an Tieren stattfinden, die sich in Leistungsphasen befinden, in denen diese Verluste praktisch keine Auswirkung auf das Ergebnis der Messungen haben. Das Verhältnis der N-Verluste über die Körperoberfläche zu der notwendigen N-Zufuhr für Muskelansatz, Foeten oder Milch ist sehr klein. In den vorliegenden Studien wurden Tiere verwendet die sich auf Erhaltungsniveau befanden. Durch das Fehlen der Leistungsparameter war das Verhältnis größer und somit bedeutsamer. Aus diesem Grund wurden die N-Verluste der Sauen über die Körperoberfläche im Rahmen dieser Untersuchungen ermittelt.

2.1.5.1.1 Kotsammlung und Aufbereitung

Der Kot wurde mittels vorsichtiger Stimulation des Enddarms mit einem Plastikstab gewonnen und in einen Eimer überführt. Selbständig abgesetzter Kot wurde mit einer Kelle vom Standboden aufgenommen. Bei der Kotsammlung erwies sich die Fixierung der Sauen mit dem Schultergurt als hilfreich, da weniger Kot zertreten wurde und so das Aufnehmen des Kots einfacher war. Der Kot wurde während den Bilanzphasen zweimal täglich gesammelt, in einen verschließbaren Eimer gegeben und bei 4°C aufbewahrt.

Im Allgemeinen geht man davon aus, daß sich die tägliche N-Ausscheidung über den Kot, sobald sich eine N-Bilanz nach einem Futterwechsel eingestellt hat, wenig ändert. In allen Versuchen, außer bei der Untersuchung des Threoninbedarfs, wurde deswegen der Kot einer Bilanzphase gepoolt. Die gesamte Kotmenge wurde mit vollentsalztem Wasser versetzt und in einem Mixer homogenisiert und ein Teil davon in Polyethylenflaschen eingefroren.

Im Threonin-Versuch wurde der Verlauf der täglichen N-Bilanz nach einem Futterwechsel beobachtet. Zur Bestimmung der täglichen N-Bilanz mußte deshalb die tatsächliche tägliche N-Ausscheidung über den Kot erfaßt werden. Der Kot eines Tages wurde wie oben beschrieben gesammelt, in Plastiktüten eingeschweißt und eingefroren. Zur Aufarbeitung wurde dann die Kotmenge eines Tages aufgetaut, homogenisiert und wie oben beschrieben weiterverarbeitet.

2.1.5.1.2 Harnsammlung und Aufbereitung

Der Harn der Tiere wurde mit Hilfe eines Blasenkatheters gesammelt. Diese Methode bot sich an, da mit ihr Kot und Harn weiblicher Tiere getrennt voneinander gewonnen werden können. Außerdem konnte die tägliche Harnmenge durch die kontinuierliche Harnabgabe über den Katheter exakter bestimmt und so auch geringere Varianzen der täglichen N-Ausscheidung erreicht werden.

Zum Setzen und während der Anwendung des Katheters wurden die Sauen im Stand mit einem Schultergurt fixiert. Die Einschränkung der Bewegungsfreiheit der Tiere war notwendig, um die Tiere beim Anlegen des Katheters nicht zu verletzen und anschließend ein Verrutschen des Katheters zu verhindern. Um unnötigen Infektionen im Urogenitalsystem vorzubeugen muß bei der Katheterisierung besonders auf Hygiene geachtet werden. Zur Durchführung der Katheterisierung wurden folgende Hilfsmittel verwendet:

- * Ballonkatheter: Silkolatex, Fa. Rüschi, Größe Ch 26
- * Stilet zur Katheterstabilisierung
- * Vaginal Spekulum Ø20x120mm
- * Dreiwegehahn
- * Silikonschlauch
- * steriles Gleitmittel: Instillagel, Fa. Farko Pharma
- * Desinfektionsmittel: Kodan, Fa. Schülke und Mayer
- * sterile physiologische Kochsalzlösung
- * 20 ml Einwegspritzen
- * Gummiringe

Zuerst wurde der äußere Genitalbereich der Tiere mit dem Desinfektionsmittel abgewaschen. Dann wurde die Vagina mit Hilfe des Spekulum, das zuvor desinfiziert wurde, geöffnet. Die äußere Harnröhrenöffnung, die ventral an der Grenze des Scheidenvorhofes zur Scheide liegt, war so gut sichtbar. Sie wird von zwei kleinen Falten umgeben. Nun wurde der mit dem Stilet stabilisierte Katheter mit dem Gleitmittel benetzt, damit die Harnröhre nicht zu stark gereizt wurde, und vorsichtig in die Harnröhre eingesetzt. Dabei mußte darauf geachtet werden, daß sich der Katheter nicht in den kleinen Falten oder in der sackartigen Ausstülpung, die sich an der Einmündung der ventralen Harnröhrenwand befindet, verfing und das Tier verletzte. Nach Erreichen der entgültigen Lage wurde der Ballon mit 20ml physiologischer Kochsalzlösung

gefüllt und der Katheter damit in der Blase fixiert. Mit einem, mit dem Katheter verbundenen, Silikonschlauch wurde der Harn in Kanister (10 L) abgeleitet. Der Silikonschlauch wurde mit Gummiringen an den Rohren des Abferkelkäfigs befestigt, um einen unnötigen Zug auf den Katheter zu vermeiden.

Der Harn wurde mit 6 N Schwefelsäure (30 ml), die im Kanister vorgelegt war, angesäuert. Damit die ganze Harnmenge möglichst immer gleichmäßig durchsäuert war, wurde der Kanister mehrmals täglich geschüttelt. Auf diese Weise konnte ein N-Verlust durch Abgasen von Ammoniak verhindert werden. Die Kanister wurden zweimal täglich entleert, der Harn gewogen und eine aliquote Menge (5 %, was ungefähr 350 ml entsprach) in Polyethylenflaschen aufbewahrt. Die beiden Harnproben eines Tages wurden vereinigt und bei 4°C kühl gelagert. Für die N-Analyse wurde ein Teil des Aliquots filtriert. Für spätere Analysen wurde der Harn bei -20°C eingefroren.

2.1.5.1.3 Sammeln von abgestoßenen Hautpartikeln und Haaren

Abgestoßene Hautpartikel und Haare wurden fünf Tage mit einem Staubsauger gesammelt. Dazu wurden die Sauen täglich zweimal mit einer, an einen Staubsauger angeschlossenen, Kardätsche abgebürstet. Rechts und links vom Abferkelkäfig wurde ein 41 cm breiter Streifen mit einem Klebeband am Boden markiert. Der Boden innerhalb der Fläche wurde ebenso abgesaugt.

Ein nicht belegter Abferkelkäfig, der sich mitten im Stall befand, diente zur Gewinnung eines Leerwertes. Der Leerwert sollte Aufschluß über die Menge der durch die Luft herangetragenen Staubpartikel geben. Dazu wurde die gleiche Bodenfläche wie bei den belegten Käfigen mit dem Staubsauger gereinigt. Um einer Verschmutzung der Proben vorzubeugen wurde der Harn mittels Katheter in einen Kanister abgeleitet und der Kot zweimal täglich abgenommen.

Jedem Tier war ein Staubbeutel zugeteilt, in dem die Partikel während des Versuchs gesammelt wurden. Vor Beginn des Versuchs wurden die Beutel leer und nach Abschluß des Versuchs gefüllt gewogen, um das Gewicht der gesammelten Partikel zu bestimmen. Die Beutel wurden dann entleert und die Haare mit einer Schere etwas zerkleinert. Auf ein Mahlen der Proben mußte verzichtet werden, da das an Haut und Haaren befindliche Fett zu einem Verschmieren der Probe in der Mühle geführt hätte. Das Material wurde in Plastiktüten eingeschweißt und bis zur N-Analyse bei -18°C aufbewahrt.

2.1.5.2 Blutentnahme

Um neben den Ergebnissen der N-Bilanz weitere Aussagen über die Stoffwechselsituation der Tiere treffen zu können, wurden Analysen im Blut durchgeführt.

Für den Ausgangswert (Kontrolle) aller Analysen im Blut wurde allen Tieren zu Beginn von Versuch 3 nach der 14-tägigen Eingewöhnungsfütterung (vgl. Kapitel 2.2.4.1) Blut aus der gestauten Ohrvene entnommen. Von den, nach Versuch 3, neu hinzugekommenen Tieren wurde diese Blutprobe in Versuch 5 nachgeholt. Die Analysendaten dieser Proben stellten für alle Versuche die Ausgangskonzentrationen dar. Um nun eventuelle Verschiebungen einzelner Gehalte aufgrund verminderter Aminosäureaufnahme feststellen zu können, wurde nach jedem Versuch (ab Versuch 3) wiederum Blut genommen. Der Blutentnahmetermin war stets 3 Stunden nach der morgendlichen Fütterung.

Das entnommene Blut wurde in Probenröhrchen, die den Gerinnungshemmer Heparin enthielten, aufgefangen. Die Proben mußten sofort leicht geschwenkt werden, um den Gerinnungshemmer im Blut zu verteilen. Die Probe (5 ml) wurde auf 4°C abgekühlt und anschließend bei 1500 G, 10 min zentrifugiert. Der Überstand, der das Plasma darstellt, wurde abpipettiert und in 2 ml Reaktionsgefäßen bei -20°C aufbewahrt. Ungefähr 2 ml des Plasmas wurden anschließend für die Aminosäureanalyse weiter aufgearbeitet (siehe Kapitel 2.1.7.4). Vor der Gewinnung des Plasmas wurden ca. 200 µl Vollblut in ein Eppendorfgefäß abgefüllt und zur Hämoglobinbestimmung verwendet (siehe Kapitel 2.1.7.7).

2.1.6 Berechnung der N-Bilanz

Bei der Aufstellung einer N-Bilanz wird die im Futter aufgenommene N-Menge den N-Ausscheidungen in Kot und Harn, sowie den dermalen Verlusten (Haut, Haare) gegenübergestellt. Mit Hilfe der N-Analyse konnte die Menge an aufgenommenem und ausgeschiedenem Stickstoff ermittelt werden. Zur Berechnung der N-Bilanz wurde folgende Formel verwendet:

$$\text{N-Bilanz} = \text{N-Aufnahme} - (\text{N-Kot} + \text{N-Harn} + \text{N-Haut} + \text{N-Haar})$$

Die ausgeschiedene Masse an Stickstoff wurde auf das metabolische Körpergewicht zur Zeit der Bilanz und den Tag bezogen. Die Maßeinheit der Werte war demnach:

$$\text{g} / \text{kg}^{0,75} / \text{d}$$

Das Gewicht der Tiere wurde vor Versuchsbeginn und am Ende ermittelt. Der Zeitpunkt der Wägungen war immer gleich bei 13 Uhr.

2.1.7 Analyse des Probenmaterials

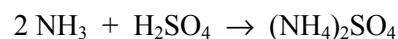
2.1.7.1 Stickstoffanalysen

2.1.7.1.1 Kot und Harn

In Kot und Harn wurde der Stickstoffgehalt mit der Methode nach Kjeldahl bestimmt. Die Analyse wurde wie folgt durchgeführt:

Aufschluß: Dazu wurden 10 g Harn, bzw. 5 g Kot auf 10 mg genau in 500 ml Kjeldahlkolben eingewogen. Zu der Probe wurde dann 1 Kjeldahlkatalysatortablette (5g) (Fa. Merck, Darmstadt), 3-5 Siedesteinchen und 20 ml konzentrierte Schwefelsäure gegeben. Der Aufschluß wurde bis zum Klarwerden erhitzt und danach noch 15 min am Sieden gehalten. Der in der Probe enthaltene Stickstoff wurde dabei mit Hilfe des Katalysators in Ammoniak umgewandelt, der durch den Überschuß an Schwefelsäure als Ammoniumsulfat bindet. Nach dem Abkühlen wurden die in der Probe entstandenen Sulfate mit 200 ml destilliertem Wasser gelöst.

Destillation: An den Vorstoß der Destillationsanlage wurde eine Vorlage mit 50 ml 0,1 N Schwefelsäure (Titrisol Fa. Merck) angebracht, in der der abdestillierte Ammoniak aufgefangen werden sollte. Danach wurde die gut ausgekühlte Probe mit 110 ml 32 %iger Natronlauge unterschichtet und sofort an die Destillationsanlage angesteckt und langsam bis zum Sieden erhitzt. Die Natronlauge treibt als starke Lauge die schwächere Lauge Ammoniak aus ihrem Salz und gasförmiger Ammoniak entsteht. Der Ammoniak wurde von der Schwefelsäurevorlage nach folgender Reaktionsgleichung aufgefangen:



Titration: Der Stickstoffgehalt der Probe wurde nun über die Rücktitration der nicht verbrauchten Schwefelsäure in der Vorlage mit 0,1 N Natronlauge bestimmt.

Berechnung: Die Berechnung des Stickstoffgehaltes in % erfolgte nach folgender Formel:

$$\text{N-Gehalt [\%]} = \frac{[V(\text{H}_2\text{SO}_4) * c(\text{H}_2\text{SO}_4) - V(\text{NaOH}) * c(\text{NaOH})] * M(\text{N}) * 100}{E(\text{Harn/Kot})}$$

| | | |
|-------|-------------------------------------|--|
| wobei | V (H ₂ SO ₄) | Volumen der Schwefelsäurevorlage in ml |
| | c (H ₂ SO ₄) | Normalität der vorgelegten Schwefelsäure |
| | V (NaOH) | Volumen der verbrauchten Natronlauge in ml |
| | c (NaOH) | Normalität der Natronlauge |
| | M (N) | molare Masse Stickstoff in g/mol |
| | E (Harn/Kot) | Einwaage in g; |

2.1.7.1.2 Futter und Haut/Haare

Der N-Gehalt des Futters und der Haut und Haarproben wurde ebenfalls mit der Methode nach Kjeldahl überprüft. Dazu bedurfte es einiger Abänderungen zu dem in Kapitel 2.1.7.1.1 beschriebenen Vorgang. Zur Einwaage von ungefähr 2 g wurden 2 Katalysatortabletten und 25 ml der konzentrierten Schwefelsäure gegeben. Die Destillation des verdünnten Aufschlusses erfolgte nach Zugabe von 240 ml 32 %iger Natronlauge in eine Vorlage von 50 ml 0,5 N Schwefelsäure. Titriert wurden die Proben anschließend mit einer 0,5 N Natronlauge.

2.1.7.2 Bestimmung der Roh Nährstoffe im Futter

Die Roh Nährstoffgehalte der hergestellten Futtermittel und einiger Einzelkomponenten wurde nach der Weender-Futtermittelanalyse (NAUMANN und BASSLER 1976) bestimmt.

2.1.7.3 Bestimmung der Bruttoenergie (GE) in Kot und Futter

Die Bruttoenergie wurde in den Rationen Lys 100, Lys 60, Lys 30 und Lys 0 gemessen. Um die Verdaulichkeit der Energie feststellen zu können, mußten die den Rationen zugehörigen Kotproben ebenfalls auf ihre Energiegehalte überprüft werden.

Die Bestimmung der GE erfolgte an einem adiabatischen Bombenkalorimeter (Fa. Janke und Kunkel, Staufen). Aus den ermittelten Werten konnte die verdauliche Energie (DE) und die Verdaulichkeit der Energie (VQ) berechnet werden:

$$\text{DE [MJ / d]} = \text{GE}_{\text{Futter}} - \text{GE}_{\text{Kot}}$$

$$\text{VQ [\%]} = (\text{DE} / \text{GE}_{\text{Futter}}) * 100$$

Durch Multiplikation der verdaulichen Energie mit dem Faktor 0,965 (ARC 1981) wurde die umsetzbare Energie errechnet. Auf eine Bestimmung der Energieverluste über den Harn konnte deshalb verzichtet werden.

$$\text{ME [MJ / d]} = \text{DE} * 0,965$$

2.1.7.4 Bestimmung der Aminosäuregehalte in den Versuchsdiäten und im Blutplasma

Die Analyse der Gehalte freier Aminosäuren im Futter und im Blutplasma erfolgte am Institut für Ernährungswissenschaften mit Hilfe eines Ionenaustausch-Chromatographen (Fa. Biotronic, Maintal).

Das frisch gewonnene Plasma (vgl. Kapitel 2.1.5.2) wurde vor der Lagerung bis zur Analyse enteiweißt. Dazu wurden 975 µl des Plasmas mit 25 µl des internen Standards Norleucin versetzt. Anhand des internen Standards konnte das Maß des Aminosäurenabbaus während der Lagerung bestimmt und der Aminosäuregehalt korrigiert werden. Zur Entfernung der Proteine wurden nun 800 µl der Lösung mit 200 µl einer 10 %igen Sulfosalicylsäure vermischt, wodurch die Proteine ausgefällt wurden, und 30 min bei 4°C im Kühlschrank inkubiert. Vor der Zentrifugation in einer Tischzentrifuge bei ca. 18000 g (10 min) wurde die Probe nochmal aufgeschüttelt. Von dem Überstand wurden 500 µl abgenommen und mit 500 µl eines Puffers verdünnt. Diese Lösung konnte auf die Säule des Ionenaustauschers aufgetragen werden.

Die freien Aminosäuren im Futter wurden mit einer 0,2 N Salzsäure aus dem Futter gelöst und die festen Bestandteile durch Filtrieren abgetrennt. Zu einem Aliquot dieser Lösung wurde ein Puffer zugegeben und der pH-Wert auf 2,2 eingestellt. Nach Zugabe des internen Standards Norleucin wurden in der Lösung die Gehalte der freien Aminosäuren am Ionenaustausch-Chromatographen gemessen.

2.1.7.5 Bestimmung des Harnstoffgehaltes im Harn

Die Harnstoffanalyse im Harn wurde mit der Test-Kombination „Harnstoff“ (Fa. Boehringer, Mannheim) an einem Automatic Analyzer (Fa. Boehringer/Hitachi, Mannheim) durchgeführt. Bei diesem Verfahren reagieren Ammonium-Ionen, die aus der Spaltung des Harnstoffs durch Urease entstehen, mit α -Ketoglutarat und NADH zu Glutamat und NAD^+ . Das NAD^+ , das ein anderes Absorptionsmaximum als NADH aufweist, kann quantitativ bestimmt werden.

2.1.7.6 Bestimmung der Ammoniumkonzentration im Harn

Der Ammoniumgehalt im Harn wurde mit der Testkombination "Ammoniak" (Fa. Boehringer, Mannheim) ermittelt.

2.1.7.7 Bestimmung des Hämoglobingehalts im Blut

Im frisch gewonnenen, heparinisierten Vollblut wurde der Hämoglobingehalt mit Hilfe eines Farbtests der Firma Boehringer (Mannheim) photometrisch ermittelt. Bei dieser Hämiglobincyanidmethode reagiert das Hämoglobin im Blut mit dem Cyanid und dem Ferricyanid der Testlösungen. Das entstandene Hämiglobincyanid wurde bei einer Wellenlänge von 546 nm, gegen destilliertes Wasser, quantitativ bestimmt. Die Konzentration des Hämoglobins berechnete sich mit folgender Formel:

$$\text{Hämoglobingehalt [g / 100 ml]} = \text{Absorption}_{540\text{nm}} \times 36,77$$

Der Multiplikationsfaktor setzt eine Schichtdicke von 1 cm und die Messung der Absorption gegen destilliertes Wasser voraus.

2.1.7.8 Bestimmung verschiedener Stoffwechselprodukte des N-Stoffwechsels

2.1.7.8.1 Allantoinbestimmung im Harn

Der Allantoinnachweis wurde nach dem Verfahren von Christman et al. (1944) durchgeführt. Dabei wird das im Harn enthaltene Allantoin zu Allantoinsäure oxidiert. Die durch die anschließende Hydrolyse entstandene Glyoxylsäure bildet mit Phenylhydrazin ein Hydrazon, aus dem durch die Oxidation mit Kalium-Hexacyanoferrat(III) ein violetter Farbstoff entsteht, der photometrisch bei 520 nm nachgewiesen wird.

2.1.7.8.2 Kreatininbestimmung im Harn

Die Kreatininbestimmung im Harn wurde an einem Automatic Analyzer (Fa. Boehringer/Hitachi) mit Hilfe einer Testkombination „Creatinin“ (Fa. Boehringer, Mannheim) photometrisch bestimmt. Die Methode beruht auf der Bildung eines Farbkomplexes von Kreatinin mit Pikrinsäure in alkalischer Lösung. Dabei wird die Geschwindigkeit der Farbstoffentwicklung gemessen.

2.1.7.8.3 Hydroxyprolin- und 3-Methylhistidinbestimmung im Blut

Die Aminosäuregehalte von Hydroxyprolin und 3-Methylhistidin wurden im heparinisierten Blutplasma am Ionenaustausch-Chromatographen (Fa. Biotronic, Maintal) bestimmt. Das Hydroxyprolin konnte bei der Bestimmung der Aminosäuren (vgl. Kapitel 2.1.7.4) erfaßt werden. Für Methylhistidin war ein eigener Analysenlauf unter veränderten Bedingungen nötig.

2.1.8 Statistische Auswertung und Ergebnisdarstellung

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit dem Statistikprogramm SAS 6.12 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 1996). Die statistischen Modelle die für die Auswertung der Versuchsdaten verwendet wurden, sind bei den jeweiligen Abschnitten aufgeführt. Nachdem die Homogenität der Varianzen mit dem F-Test nachgewiesen war, wurden mit dem Student-Newman-Keuls-Test multiple Mittelwertsvergleiche durchgeführt. Die ermittelten Regressionen wurden nach R. A. Fisher anhand der t-Verteilung auf das Vorhandensein einer Korrelation getestet.

Die Ergebnisse wurden in Tabellen zusammengefaßt, die alle nach dem selben Prinzip aufgebaut sind. In den Tabellen sind die Mittelwerte bestimmter Merkmale mit ihren Varianzen bei verschiedenen Behandlungen aufgelistet. Sind signifikante Unterschiede zwischen Mittelwerten eines Merkmals verschiedener Behandlungen festgestellt worden ($\alpha < 5 \%$), so wurden sie mit unterschiedlichen Hochbuchstaben gekennzeichnet. In folgender Tabelle ist dies veranschaulicht dargestellt:

Tabelle 4: Beispielstabelle zur Ergebnisdarstellung

| Merkmal | Behandlung | | |
|---------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| A | $\mu^a_{1A} \pm s_{1A}$ | $\mu^b_{2A} \pm s_{2A}$ | $\mu^c_{3A} \pm s_{3A}$ |
| B | $\mu^a_{1B} \pm s_{1B}$ | $\mu^b_{2B} \pm s_{2B}$ | $\mu^c_{3B} \pm s_{3B}$ |
| C | $\mu^a_{1C} \pm s_{1C}$ | $\mu^b_{2C} \pm s_{2C}$ | $\mu^c_{3C} \pm s_{3C}$ |

wobei: MW = Mittelwert
 SD = Standardabweichung
 μ^a_{1A} = Mittelwert des Merkmals A bei der Behandlung 1; dieser Mittelwert ist signifikant unterschiedlich zum Mittelwert bei der Behandlung 2 (μ^b_{2A}) und 3 (μ^c_{3A}).

Bei den Regressionsgleichungen zur Bedarfsermittlung der einzelnen Aminosäuren wurde das Bestimmtheitsmaß (R^2), der Standardfehler der Schätzung ($s_{y.x}$) und die Irrtumswahrscheinlichkeit (α), mit der die Korrelation zu sichern war, angegeben. Außerdem wurden die Regressionsgeraden in Diagrammen dargestellt. Folgendes Diagramm gibt ein Beispiel wider.

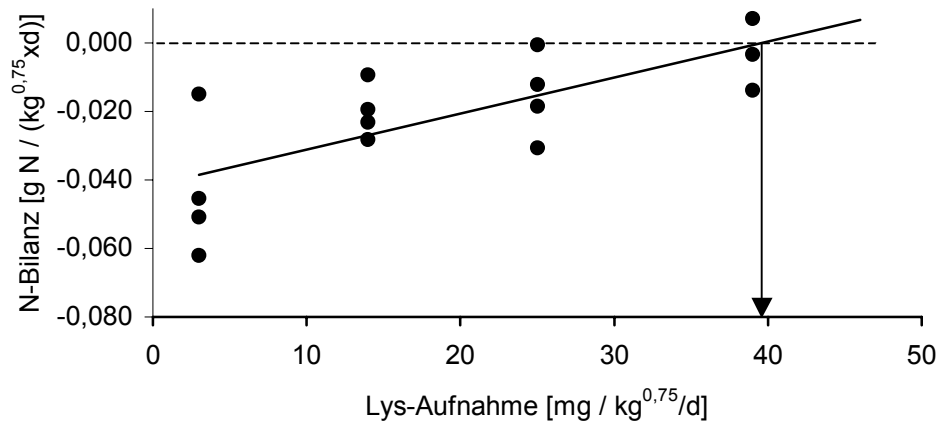


Abbildung 1: Beispieldiagramm zur Bedarfsermittlung einer Aminosäure

Soweit nicht anders erwähnt wurden die Versuchsergebnisse zur statistischen Analyse mit folgendem einfaktoriellen Modell ausgewertet:

$$y_{ij} = \mu + \text{Beh}_i + e_{ij}$$

- wobei y_{ij} = Beobachtungswert des j-ten Tieres bei der Behandlung i
 μ = Gesamtmittelwert
 Beh_i = Einfluß der Behandlung i
 e_{ij} = zufällige Abweichung des j-ten Tieres bei der Behandlung i;

2.2 Spezieller Teil

2.2.1 Tiermaterial

Für alle Versuche wurden ausgewachsene Sauen (Deutsche Landrasse) im Gewichtsbereich von 171 bis 252 kg verwendet. Die 12 Tiere waren zu Versuchsbeginn an die Stallbegebenheiten gewohnt.

2.2.2 Spezielle Methodik Versuch 1: Bestimmung der Stickstoffverluste über die Körperoberfläche

Bisher wurde der Verlust von Stickstoff in Form von Hautabschilferungen und Haaren in Arbeiten, bei denen Stickstoffbilanzen zur Bestimmung des Bedarfs essentieller Aminosäuren gemessen wurden, vernachlässigt. Innerhalb der Betrachtung des Erhaltungsbedarfs sollten diese Verluste allerdings Bedeutung erlangen. Im ersten Versuch wurde deswegen die Menge an verlorenen Hautpartikeln und Haaren und der daraus resultierende Stickstoffverlust von sechs ausgewachsenen Schweinen untersucht.

2.2.2.1 Versuchsablauf

Nachdem den Sauen ein Blasenkatheter gesetzt war, wurde der Boden im und um den Stand gründlich gereinigt. Nach dem Trocknen konnten mit Klebebändern im Abstand von 41 cm rechts und links vom Stand die Flächen markiert werden, innerhalb derer die Partikel vom Boden aufgelesen werden sollten. Damit sollte die täglich besammelte Fläche festgelegt werden, die für alle Tiere gleich war. Der Kot wurde zweimal täglich abgenommen (vgl. Kapitel 2.1.5.1.1), um den Stand vor Verschmutzung zu schützen..

Am Morgen vor Sammelbeginn wurden die Sauen mit einer an einen Staubsauger angeschlossenen Kardätsche abgebürstet und die Partikel die sich am Boden befanden aufgesaugt. Die anschließende Sammelperiode in der die Tiere und der Boden zweimal täglich abgesaugt wurden dauerte 5 Tage. Jedem Tier war eine Staubsaugertüte zugeteilt, deren Gewicht vor Versuchsbeginn bestimmt wurde. Nach Versuchsende wurden die Tüten gewogen und danach der Inhalt entnommen (vgl. Kapitel 2.1.5.1.3).

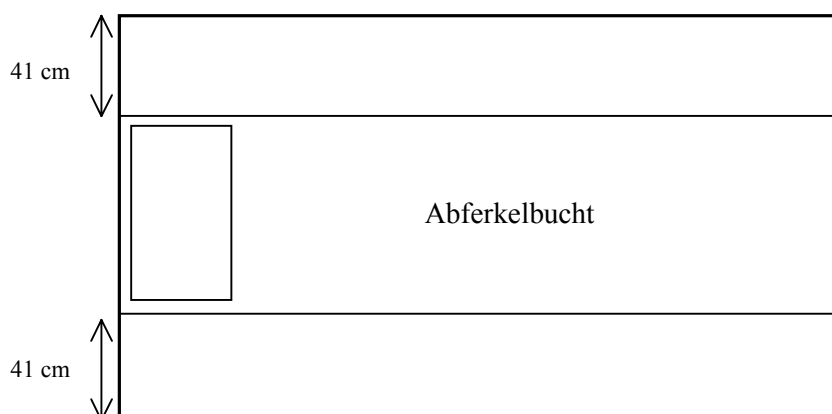


Abbildung 2: Darstellung der besammelten Standfläche

2.2.2.2 Auswertung der Versuchsdaten

In den gewonnenen Proben wurde in einer Sechsfachbestimmung der N-Gehalt ermittelt. Die täglichen N-Verluste bezogen auf das metabolische Körpergewicht der einzelnen Tiere wurden gemittelt und die Standardabweichung bestimmt.

2.2.3 Spezielle Methodik Versuch 2: Optimale Dauer eines Versuchsdurchganges und Bedarfsbestimmung von Threonin

Dieser Versuch sollte dazu dienen die nötige Dauer einer Sammelperiode und die Zeit zu bestimmen, die der Stoffwechsel der Sauen benötigt, um nach einer Rationsumstellung wieder konstante N-Bilanzwerte zu erreichen. Damit wurde der Zeitaufwand für die Vor- und Sammelperiode und somit die Länge eines Versuchsdurchganges ermittelt. Aus den N-Bilanzen des Versuchs konnten dann auch die Bedarfswerte von Threonin abgeleitet werden. Die verwendeten Diäten bestanden aus einer „Basisration“ (N 100) und drei Rationen (Thr 50, Thr 25, Thr 0), in denen der Gehalt der Aminosäure Threonin abgesenkt wurde (vgl. Kapitel 2.2.3.2). Für diesen Versuch wurden vier Tiere verwendet.

2.2.3.1 Versuchsablauf

Der Versuch gliederte sich in vier Teile. In den ersten 17 Tagen wurde den Sauen die Ration N 100 (vgl. Kapitel 2.2.3.2) vorgelegt. Im zweiten Abschnitt des Versuchs (Tag 18 – 28) wurde auf die Ration Thr 50 (vgl. Kapitel 2.2.3.2) umgestellt, die nur noch 50 % des Threonins der Ausgangsration enthielt. Um den Effekt der Futterumstellung auf die N-Ausscheidung verfolgen zu können, wurde mit dem Zeitpunkt der Futterumstellung die tägliche N-Bilanz bestimmt. Dazu wurden zur Harnsammlung Blasenkatheder verwendet. Im dritten Teil des Versuchs (Tag 32-40) wurde die Threoninkonzentration in der Ration auf 25 % und im vierten Teil (Tag 41-52) auf 0 % der Ausgangskonzentration abgesenkt. Bei der Umstellung auf die Ration Thr 25 wurde wieder mit dem Tag der Umstellung begonnen die N-Bilanz zu bestimmen. Zwischen den einzelnen Versuchsabschnitten mußte mit der Sammlung von Harn und Kot ein paar Tage pausiert werden, da man Komplikationen, die beim Sammeln des Harns mit dem Blasenkatheder auftreten hätten können, aus dem Weg gehen wollte. Der Zeitraum einer Messung der täglichen N-Bilanz war von 8.00 h eines Tages bis 8.00 h des darauffolgenden Tages. In Tabelle 5 ist der Versuchsablauf graphisch dargestellt.

Tabelle 5: Versuchsablauf Versuch 2

| Threonin in der Ration | 100 % | 50 % | | 25 % | 0 % | |
|------------------------------|------------|----------|-------|----------|-------|----------|
| Tag | Adaptation | N-Bilanz | Pause | N-Bilanz | Pause | N-Bilanz |
| Tag | 1-17 | 18-27 | 28-31 | 32-40 | 41-48 | 49-52 |
| Dauer [d] | 17 | 10 | 4 | 9 | 8 | 4 |

2.2.3.2 Versuchsdiäten

Als Gesamtstickstoffbedarf je kg metabolisches Körpergewicht ($\text{kg LM}^{0,75}$) für die Erhaltung wurde ein von FULLER et al. (1989) ermittelter Wert verwendet. Der Wert ergab sich aus N-Bilanzmessungen einer proteinfreien Diät an wachsenden Schweinen und beträgt 268 mg N/kg $\text{LM}^{0,75}$. Da in der vorliegenden Studie die Berechnung der Futtermenge auf der Energie basierte, wurde der N-Gehalt in der Ration auf die Energie bezogen. Bei einer Energieaufnahme von 0,45 MJ ME je kg $\text{LM}^{0,75}$ ergab sich demnach ein erforderlicher N-Gehalt von 596 mg N je MJ ME

gesetzt wurde. Für Arg wurde das Verhältnis 38:100, für Pro 97:100 benutzt (Tabelle 7). Die Werte stammen aus einem Versuch an Aufzuchtferkeln, bei denen der Arginin- und Prolinbedarf ermittelt wurde (FICKLER 1993). Die eingesetzte Menge an Arginin betrug 30 mg/MJ ME, die an Prolin 78 mg/MJ ME. Der übrige N wurde gleichmäßig auf die drei anderen NEAS aufgeteilt. Aufgrund der Spuren von Aminosäuren in der Maisstärke (vgl. Tabelle 1) wurde ihr Gehalt in den Rationen konstant auf 45,79 % gehalten. Die Gehalte der Aminosäuren wurden bei der Berechnung der Rationsmischungen berücksichtigt.

Folgendes zeigt die Beispielberechnung der Aminosäurezusammensetzung einer Ration:
(Maßeinheit mg N/MJ ME)

$$N_{\text{Gesamt}} - N_{\text{EAS}} - N_{\text{Arg+Pro}} - N_{\text{Gly}} = N_{\text{Rest}}$$

$$N_{\text{Rest}} / 3 = N \text{ je NEAS Ala, Asp, Glu}$$

| | | |
|----------------------|---|--------------------------|
| N_{Gesamt} | = | gesamter N-Bedarf |
| N_{EAS} | = | N aus EAS |
| $N_{\text{Arg+Pro}}$ | = | N aus Arg und Pro |
| N_{Gly} | = | N aus Gly der Maisstärke |

in Zahlen:

$$596 - 65,8 - 19,1 - 2,0 = 509,1$$

$$509,1 / 3 = 169,7$$

→ **169,7 mg N/MJ ME entspricht**

| |
|-----------------------------|
| 1079 mg Ala / MJ ME |
| 1612 mg Asp / MJ ME |
| 1782 mg Glu / MJ ME; |

Nach diesem Schema wurden die Aminosäurezusammensetzungen aller Rationen berechnet. Die Beispielrechnung wurde an der Ration „N 100“ durchgeführt, bei der alle EAS nach dem angenommenen Bedarf von FULLER et al. (1989) enthalten sind. In der zweiten Ration, die in diesem Versuch eingesetzt wurde, war der Threoningehalt um 50 % auf 59 mg/MJ ME (Thr 50) verringert. Dadurch war der N-Gehalt der Ration, der aus EAS stammte geringer, was durch höhere Gehalte an Ala, Asp und Glu ausgeglichen wurde. Analog wurde bei der Ration Thr 25 und Thr 0 verfahren, bei der der Threoningehalt auf 25 % und auf 0 % des angenommenen

Bedarfs reduziert war. In Tabelle 8 sind die Aminosäuregehalte der Rationen zusammengefaßt. Die Bezeichnung der Rationen erfolgte nach folgendem Schema. Die Ration Thr 50 enthielt 100 % des angenommenen N-Bedarfs und nur 50 % des angenommenen Threonin-Bedarfs.

Tabelle 7: Bedarf der nichtessentiellen Aminosäuren Arginin und Prolin nach FICKLER (1993)

| Aminosäure | Bedarf nach FICKLER (1993) [Lysin = 100] | Bedarf bei Energieaufnahme von 0,45 MJ ME / kg ^{0,75} [mg / MJ ME] | N-Gehalt der Aminosäure [mg / MJ ME] |
|------------|--|--|--|
| Arginin | 38 | 30 | 9,6 |
| Prolin | 97 | 78 | 9,5 |

Tabelle 8: Aminosäurezusammensetzung der Rationen in Versuch 2

| Aminosäure | Ration N 100 [g/kg]* | Ration Thr 50 [g/kg]* | Ration Thr 25 [g/kg]* | Ration Thr 0 [g/kg]* |
|------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Ala | 13,949 | 14,144 | 14,235 | 14,339 |
| Arg | 0,471 | 0,471 | 0,471 | 0,471 |
| Asp | 20,863 | 21,149 | 21,266 | 21,435 |
| Cys | 1,121 | 1,121 | 1,121 | 1,121 |
| Glu | 23,023 | 23,335 | 23,478 | 23,647 |
| Gly | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 |
| His | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,040 |
| Ile | 0,432 | 0,432 | 0,432 | 0,432 |
| Leu | 0,825 | 0,825 | 0,825 | 0,825 |
| Lys | 1,121 | 1,121 | 1,121 | 1,121 |
| Met | 0,300 | 0,300 | 0,300 | 0,300 |
| Phe | 0,601 | 0,601 | 0,601 | 0,601 |
| Pro | 1,095 | 1,095 | 1,095 | 1,095 |
| Ser | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 |
| Thr | 1,655 | 0,888 | 0,505 | 0,121** |
| Trp | 0,312 | 0,312 | 0,312 | 0,312 |
| Tyr | 0,546 | 0,564 | 0,564 | 0,564 |
| Val | 0,653 | 0,653 | 0,653 | 0,653 |

*Angaben als g Reinsubstanz der Aminosäure

** Thr-Rest in der Maisstärke

Die Rationen wurden in der institutseigenen Mischanlage hergestellt und in loser Form aufbewahrt. Tabelle 9 zeigt ihre Zusammensetzung.

Tabelle 9: Zusammensetzung der Rationen in Versuch 2

| Komponente | Ration N100 | Ration N 100 | Ration N 100 | Ration N100 |
|--------------------|-------------|--------------|--------------|-------------|
| | | Thr 50 | Thr 25 | Thr 0 |
| | [%] | [%] | [%] | [%] |
| L-Ala | 1,39 | 1,41 | 1,41 | 1,43 |
| L-Arg | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| L-Asp | 2,07 | 2,10 | 2,11 | 2,13 |
| L-Cys | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 |
| L-Glu | 2,28 | 2,31 | 2,33 | 2,34 |
| L-Ile | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| L-Leu | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 |
| L-Lys-HCl | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,14 |
| DL-Met | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| L-Phe | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| L-Pro | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 |
| L-Thr | 0,16 | 0,08 | 0,04 | 0 |
| L-Trp | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| L-Tyr | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| L-Val | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| Maisstärke | 45,49 | 45,49 | 45,49 | 45,49 |
| Sojaöl | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,50 |
| Glucose | 19,83 | 19,84 | 19,85 | 19,85 |
| Futterzucker | 9,90 | 9,90 | 9,90 | 9,90 |
| Cellulosepulver | 12,98 | 12,97 | 12,96 | 12,96 |
| Mineralvormischung | 3,39 | 3,39 | 3,39 | 3,39 |
| Vitaminvormischung | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,30 |
| Total | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

2.2.4 Spezielle Methodik Versuch 3: Bedarfsbestimmung von Lysin, Methionin+Cystein und Valin

In diesem Versuch sollte der Bedarf der Aminosäuren Lysin, Methionin+Cystein und Valin ermittelt werden. Ähnlich wie im Versuch 1 wurden dazu die Konzentrationen der einzelnen Aminosäuren in den Versuchsrationen von einem angenommenen Bedarfsniveau in Stufen herabgesetzt und die N-Bilanz bestimmt. Außer der N-Bilanz wurden Auswirkungen auf den N-Stoffwechsel und Aminosäuregehalte im Blutplasma untersucht.

2.2.4.1 Versuchsablauf

Lysin, Methionin+Cystein und Valin

Der Bedarf der einzelnen Aminosäuren wurde an vier zufällig ausgewählten Tieren ermittelt. Leider konnte Valin nur an drei Tieren getestet werden, da bei einem Tier das Setzen des Blasenkatheters unmöglich war. In der 15-tägigen Eingewöhnungsphase erhielten die Tiere eine Ration, in der der N-Gehalt 120 % und der Gehalt der zu überprüfenden Aminosäure bei 100 % des angenommenen Bedarfs war (vgl. Kapitel 2.2.3.2). In dieser Zeit sollte sich der Stoffwechsel der Tiere auf die Versuchsration einstellen. Anschließend wurde sechs Tage die N-Bilanz bestimmt, wobei Kot und Harn der sechs Tage gepoolt und daraus die tägliche N-Bilanz errechnet wurde. Nach dem Ende der Bilanz am Tag 22, wurde das Versuchsfutter umgestellt. In der folgenden Ration wurde die zu untersuchende Aminosäure auf 60 % des angenommenen Bedarfs reduziert. Der N-Gehalt blieb, wie in allen anderen Rationen des Versuchs, bei 120 %. Nach der 5-tägigen Umstellung wurde wiederum an sechs Tagen die N-Bilanz bestimmt. Analog wurde anschließend mit den Rationen, die 30 % und 0 % des Aminosäuregehalts der Ausgangsration enthielten, verfahren. In Tabelle 10 ist der Versuchsablauf graphisch dargestellt. Die Blutentnahme erfolgte am Tag 21 und 54 (vgl. Kapitel 2.1.5.2).

Tabelle 10: Versuchsablauf Versuch 3

| Lys od. Met+Cys od. Valin i. d. Ration | 100 % | | 60 % | | 30 % | | 0 % | |
|--|------------|----------|-------|----------|-------|----------|--------|----------|
| | Adaptation | N-Bilanz | Adapt | N-Bilanz | Adap | N-Bilanz | Adapt. | N-Bilanz |
| Tag | 1-15 | 16-21 | 22-26 | 27-32 | 33-37 | 38-43 | 44-48 | 49-54 |
| Dauer [d] | 15 | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 | 5 | 6 |

Während des Versuchs mußten zwei Tiere ersetzt werden, da sie die Futteraufnahme verweigerten. Die Tiere gehörten zur Met+Cys- und Val-Gruppe. Die beiden neu erworbenen Sauen wurden dem Versuch 11 Tage nach Versuchsbeginn zugeteilt. Leider stellte sich bei dem Tier der Val-Gruppe heraus, daß das Setzen eines Blasenkatheters unmöglich war. Es wurde daraufhin aus dem Versuch entfernt und nicht ersetzt.

Aufgrund von Problemen bei der Futteraufnahme und bei der Harnsammlung konnten in der Valin-Gruppe bei der Ration Val 0 an nur einem Tier Bilanzen gemessen werden.

Histidin

Im Anschluß an die Bedarfsermittlung der Aminosäuren Lysin, Methionin+Cystein und Valin sollte geklärt werden, ob eine Zufuhr von Histidin zum Basisfutter einen Einfluß auf die N-Bilanzen hat. Dazu wurden je zwei Tiere aus der Lys- und der Met+Cys-Gruppe ausgewählt und der Einfluß von fehlendem Histidin (His) in der Ration auf die N-Bilanz der Tiere untersucht. Das verabreichte Futter bestand aus einem Gemisch der drei Ausgangsrationen Lys 100, Met/Cys 100 und Val 100 zu dem Histidin zugesetzt wurde. Da für Histidin keine Bedarfsangaben hinsichtlich der Erhaltung existierten wurde vom Histidinbedarf für Proteinsynthese am wachsenden Schwein ausgegangen. Setzt man die Masse an Lys = 100 so wird der Bedarf an His mit 32 angegeben (NRC 1998), was 12 mg His je kg metabolischem Körpergewicht entspricht. Den Sauen wurden 20 mg His/kg^{0,75} verabreicht, womit der Bedarf sicher gedeckt sein sollte. Die Ration wurde ab Tag 55 bis Tag 65 gefüttert und ab Tag 61 die N-Bilanz bestimmt. Dieser Versuchsablauf ist in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Versuchsablauf Versuch 3 mit Histidin

| | Ration Lys 100 / (Met+Cys) 100 / Val 100 + Histidin | |
|------------------|--|-----------------|
| | Adaptation | N-Bilanz |
| Tag | 55-60 | 61-65 |
| Dauer [d] | 6 | 5 |

2.2.4.2 Versuchsdiäten

Für den Versuch wurden je untersuchter Aminosäure vier verschiedene Rationen hergestellt, die unterschiedliche Gehalte dieser Aminosäure enthielten. Der N-Gehalt der Rationen wurde, im Vergleich zu Versuch 2, auf 120 % des angenommenen Stickstoffbedarfs (FULLER et al. 1989) angehoben, das heißt:

268 mg N/kg^{0,75} ist der angenommene Bedarf, er entspricht 100 %.

268 x 1,2 = 322 mg N/kg^{0,75} entsprechen 120 %.

Der Gehalt der einzelnen EAS wurde ebenfalls auf 120 % des angenommenen Bedarfs nach FULLER et al. (1989) angehoben. Die zu untersuchende Aminosäure war in der ersten Ration auf 100 % des Bedarfs (FULLER et al. 1989) eingestellt. In den folgenden Rationen wurde diese Aminosäure auf 60 %, 30 % und 0 % des angenommenen Bedarfs reduziert. Die Berechnung der Aminosäuremengen für die Mischungen und der Futtermengen je Tier erfolgte analog Versuch 1 (vgl. Kapitel 2.2.3.2). In Tabelle 12 sind die Aminosäuregehalte aller Rationen und in Tabelle 13 die Zusammensetzungen der Ausgangsrationen aufgelistet. Die Rationsbezeichnung erfolgte nach folgendem Schema. Die Ration Lys 100 enthielt 120 % des angenommenen N-Bedarfs und 100 % des angenommenen Lysin-Bedarfs.

Tabelle 12: Aminosäuregehalte* der Rationen in Versuch 3

| | Lys100 | Lys60 | Lys30 | Lys0 | MC100 | MC60 | MC30 | MC0 | Val100 | Val60 | Val30 | Val0 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* |
| AS | | | | | | | | | | | | |
| Ala | 16,838 | 17,007 | 17,133 | 17,260 | 16,786 | 16,934 | 16,855 | 17,157 | 16,784 | 16,842 | 16,885 | 16,929 |
| Arg | 0,549 | 0,549 | 0,549 | 0,549 | 0,549 | 0,549 | 0,549 | 0,549 | 0,549 | 0,549 | 0,549 | 0,549 |
| Asp | 25,149 | 25,400 | 25,589 | 25,778 | 25,071 | 25,292 | 25,174 | 25,536 | 25,068 | 25,155 | 25,219 | 25,285 |
| Cys | 1,352 | 1,352 | 1,352 | 1,352 | 0,672 | 0,389 | 0,176 | 0,040** | 1,352 | 1,352 | 1,352 | 1,352 |
| Glu | 27,783 | 28,062 | 28,271 | 28,480 | 27,697 | 27,942 | 27,812 | 28,310 | 27,694 | 27,790 | 27,861 | 27,934 |
| Gly | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 |
| His | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,040 | 0,040 |
| Ile | 0,526 | 0,526 | 0,526 | 0,526 | 0,526 | 0,526 | 0,526 | 0,526 | 0,526 | 0,526 | 0,526 | 0,526 |
| Leu | 0,958 | 0,958 | 0,958 | 0,958 | 0,958 | 0,958 | 0,958 | 0,958 | 0,958 | 0,958 | 0,958 | 0,958 |
| Lys | 1,121 | 0,705 | 0,393 | 0,081** | 1,329 | 1,329 | 1,329 | 1,329 | 1,329 | 1,329 | 1,329 | 1,329 |
| Met | 0,352 | 0,352 | 0,352 | 0,352 | 0,748 | 0,465 | 0,252 | 0,040** | 0,352 | 0,352 | 0,352 | 0,352 |
| Phe | 0,705 | 0,705 | 0,705 | 0,705 | 0,705 | 0,705 | 0,705 | 0,705 | 0,705 | 0,705 | 0,705 | 0,705 |
| Pro | 1,298 | 1,298 | 1,298 | 1,298 | 1,298 | 1,298 | 1,298 | 1,298 | 1,298 | 1,298 | 1,298 | 1,298 |
| Ser | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 |
| Thr | 1,962 | 1,962 | 1,962 | 1,962 | 1,962 | 1,962 | 1,962 | 1,962 | 1,962 | 1,962 | 1,962 | 1,962 |
| Trp | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 |
| Tyr | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 |
| Val | 0,767 | 0,767 | 0,767 | 0,767 | 0,767 | 0,767 | 0,767 | 0,767 | 0,653 | 0,424 | 0,253 | 0,081** |

*Angaben als g Reinsubstanz der Aminosäure

**Gehalte stammen aus der Maisstärke

Tabelle 13: Zusammensetzung der Rationen in Versuch 3

| Komponente | Lys 100 | Met+Cys 100 | Val 100 |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|
| | [%] | [%] | [%] |
| L-Ala | 1,676 | 1,670 | 1,670 |
| L-Arg | 0,047 | 0,047 | 0,047 |
| L-Asp | 2,505 | 2,497 | 2,497 |
| L-Cys | 0,133 | 0,064 | 0,133 |
| L-Glu | 2,757 | 2,749 | 2,749 |
| L-Ile | 0,045 | 0,045 | 0,045 |
| L-Leu | 0,080 | 0,080 | 0,080 |
| L-Lys-HCl | 0,135 | 0,162 | 0,162 |
| DL-Met | 0,032 | 0,071 | 0,032 |
| L-Phe | 0,063 | 0,063 | 0,063 |
| L-Pro | 0,122 | 0,122 | 0,122 |
| L-Thr | 0,189 | 0,189 | 0,189 |
| L-Trp | 0,038 | 0,038 | 0,038 |
| L-Tyr | 0,066 | 0,066 | 0,066 |
| L-Val | 0,069 | 0,069 | 0,057 |
| Maisstärke | 45,790 | 45,790 | 45,790 |
| Sojaöl | 1,500 | 1,500 | 1,500 |
| Glucose | 18,492 | 18,485 | 18,497 |
| Futterzucker | 9,900 | 9,900 | 9,900 |
| Cellulosepulver | 12,970 | 12,997 | 12,968 |
| Mineralvormischung | 3,394 | 3,394 | 3,394 |
| Vitaminvormischung | 0,300 | 0,300 | 0,300 |
| Total | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Bei der Ration Met+Cys 100, wurden Methionin und Cystein je mit der Hälfte des angenommenen Bedarfs an beiden Aminosäuren ($49 \text{ mg/kg}^{0,75}$) eingesetzt. Ausgehend von diesen $24,5 \text{ mg/kg}^{0,75}$ wurden die Konzentrationen in den Rationen mit niedrigeren Gehalten an Methionin und Cystein berechnet. Da sich in der verwendeten Maisstärke Spuren von Cystein und Methionin befanden, konnte die Gehaltsstufe 0 in der Ration nicht erreicht werden. In der Ration Met+Cys 0 befanden sich 40 mg Cys/kg und 40 mg Met/kg . Das bedeutet, daß Cys und Met jeweils nur auf einen Gehalt von 6 % (bezogen auf die Menge Cys oder Met in der Ration N 120 Met/Cys 100) reduziert werden konnte.

2.2.5 Spezielle Methodik Versuch 4: Bedarfsbestimmung von Isoleucin, Leucin und Phenylalanin+Tyrosin

Mit diesem Versuch sollte der Bedarf der Aminosäuren Isoleucin, Leucin und Phenylalanin in Kombination mit Tyrosin ermittelt werden. Im Vergleich zu Versuch 3 veränderte sich der zeitliche Ablauf (vgl. Kapitel 2.2.4.1), das Prinzip des Versuchs blieb aber gleich.

2.2.5.1 Versuchsablauf

Der, im Vergleich zu Versuch 3, veränderte Versuchsablauf stellte sich wie folgt dar. Die Umstellung auf die synthetische Ration dauerte 14 Tage. Analog zu Versuch 3 wurde mit der Ration begonnen, die 120 % des angenommenen Bedarfs an Stickstoff, an EAS und 100 % der zu untersuchenden Aminosäure beinhaltete. Die folgenden Rationen enthielten 60, 30 und 0 % der zu untersuchenden Aminosäure (vgl. Kapitel 2.2.3.2). Da in den Sammelperioden des Versuchs 3 erste Probleme mit dem Katheter meist am sechsten oder siebten Tag nach dem Setzen auftraten, wurde diese Phase auf fünf Tage verkürzt. Gleichzeitig erweiterte sich die Dauer der Adaption für die neue Ration auf neun Tage. Die neun Tage sollten ausreichen um eventuell auftretende Entzündungen der Blase oder des Harnleiters bis zur nächsten Sammelperiode auskurieren zu können. In Tabelle 14 ist der Versuchsablauf dargestellt. Die Blutentnahme erfolgte am Tag 61 (vgl. Kapitel 2.1.5.2).

Tabelle 14: Versuchsablauf Versuch 4

| Ile od. Leu od. Phe+Tyr i. d. Ration | 100 % | | 60 % | | 30 % | | 0 % | |
|--|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|
| | Adaption | N- Bilanz | Adaption | N- Bilanz | Adaption | N- Bilanz | Adaption | N- Bilanz |
| Tag | 1-14 | 15-19 | 20-28 | 29-33 | 34-42 | 43-47 | 48-56 | 57-61 |
| Dauer [d] | 14 | 5 | 9 | 5 | 9 | 5 | 9 | 5 |

2.2.5.2 Versuchsdiäten

Die Herstellung der Versuchsdiäten erfolgte analog Versuch 3 (vgl. Kapitel 2.2.4.2). Für die Rationen Phe+Tyr 100 wurden die Aminosäuren Phe und Tyr jeweils mit der Hälfte des angenommenen gemeinsamen Bedarfs ($37 \text{ mg/kg}^{0,75} : 2 = 18,5 \text{ mg/kg}^{0,75}$) eingesetzt. Von diesem Ausgangspunkt wurde die Reduktion in den anderen Rationen vorgenommen. In Tabelle 15 sind die Aminosäuregehalte aller Rationen des Versuchs und in Tabelle 16 die Zusammensetzungen der Rationen Ile 100, Leu 100 und Phe+Tyr 100 aufgelistet. Da sich in der Maisstärke Reste von Isoleucin befanden, konnte keine Isoleucin-freie Diät hergestellt werden. Um den Gehalt an Isoleucin in der Ration Ile 0 weiter abzusenken, wurde der Maisstärkegehalt in der Ration halbiert und mit Glucose ausgeglichen. Die Zusammensetzung dieser Ration ist ebenfalls in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 15: Aminosäuregehalte* der Rationen in Versuch 4

| | Ile100 | Ile60 | Ile30 | Ile0 | Leu100 | Leu60 | Leu30 | Leu0 | PT100 | PT60 | PT30 | PT0 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* |
| AS | | | | | | | | | | | | |
| Ala | 16,615 | 16,657 | 16,689 | 16,694 | 16,624 | 16,684 | 16,728 | 16,773 | 16,630 | 16,703 | 16,758 | 16,813 |
| Arg | 0,549 | 0,549 | 0,549 | 0,509 | 0,549 | 0,549 | 0,549 | 0,549 | 0,549 | 0,549 | 0,549 | 0,549 |
| Asp | 24,816 | 24,879 | 24,926 | 24,928 | 24,829 | 24,918 | 24,985 | 25,052 | 24,837 | 24,947 | 25,029 | 25,111 |
| Cys | 1,352 | 1,352 | 1,352 | 1,370 | 1,352 | 1,352 | 1,352 | 1,352 | 1,352 | 1,352 | 1,352 | 1,352 |
| Glu | 27,415 | 27,485 | 27,537 | 27,555 | 27,430 | 27,529 | 27,602 | 27,676 | 27,439 | 27,560 | 27,651 | 27,741 |
| Gly | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,041 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 |
| His | 0,456 | 0,456 | 0,456 | 0,436 | 0,456 | 0,456 | 0,456 | 0,456 | 0,456 | 0,456 | 0,456 | 0,456 |
| Ile | 0,432 | 0,245 | 0,104 | 0,041** | 0,526 | 0,526 | 0,526 | 0,526 | 0,526 | 0,526 | 0,526 | 0,526 |
| Leu | 0,958 | 0,958 | 0,958 | 0,877 | 0,825 | 0,560 | 0,361 | 0,162** | 0,958 | 0,958 | 0,958 | 0,958 |
| Lys | 1,329 | 1,329 | 1,329 | 1,288 | 1,329 | 1,329 | 1,329 | 1,329 | 1,329 | 1,329 | 1,329 | 1,329 |
| Met | 0,352 | 0,352 | 0,352 | 0,332 | 0,352 | 0,352 | 0,352 | 0,352 | 0,352 | 0,352 | 0,352 | 0,352 |
| Phe | 0,705 | 0,705 | 0,705 | 0,665 | 0,705 | 0,705 | 0,705 | 0,705 | 0,614 | 0,401 | 0,241 | 0,081** |
| Pro | 1,298 | 1,298 | 1,298 | 1,298 | 1,298 | 1,298 | 1,298 | 1,298 | 1,298 | 1,298 | 1,298 | 1,298 |
| Ser | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,041 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 |
| Thr | 1,962 | 1,962 | 1,962 | 1,902 | 1,962 | 1,962 | 1,962 | 1,962 | 1,962 | 1,962 | 1,962 | 1,962 |
| Trp | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 |
| Tyr | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,533 | 0,320 | 0,160 | 0 |
| Val | 0,767 | 0,767 | 0,767 | 0,727 | 0,767 | 0,767 | 0,767 | 0,767 | 0,767 | 0,767 | 0,767 | 0,767 |

*Angaben als g Reinsubstanz der Aminosäure

**Gehalte stammen aus der Maisstärke

Tabelle 16: Zusammensetzung der Rationen in Versuch 4

| Komponente | Ile 100 | Ile 0 | Leu 100 | Phe+Tyr 100 |
|---------------------------|----------------|--------------|----------------|--------------------|
| | [%] | [%] | [%] | [%] |
| L-Ala | 1,653 | 1,667 | 1,654 | 1,655 |
| L-Arg | 0,047 | 0,047 | 0,047 | 0,047 |
| L-Asp | 2,471 | 2,493 | 2,473 | 2,473 |
| L-Cys | 0,133 | 0,133 | 0,133 | 0,133 |
| L-Glu | 2,721 | 2,747 | 2,722 | 2,723 |
| L-Ile | 0,035 | 0 | 0,045 | 0,045 |
| L-Leu | 0,080 | 0,080 | 0,066 | 0,080 |
| L-Lys-HCl | 0,162 | 0,162 | 0,162 | 0,162 |
| DL-Met | 0,032 | 0,032 | 0,032 | 0,032 |
| L-Phe | 0,063 | 0,063 | 0,063 | 0,054 |
| L-Pro | 0,122 | 0,122 | 0,122 | 0,122 |
| L-Thr | 0,189 | 0,189 | 0,189 | 0,189 |
| L-Trp | 0,038 | 0,038 | 0,038 | 0,038 |
| L-Tyr | 0,066 | 0,066 | 0,066 | 0,054 |
| L-Val | 0,069 | 0,069 | 0,069 | 0,069 |
| Maisstärke | 45,790 | 22,895 | 45,790 | 45,790 |
| Sojaöl | 1,500 | 1,500 | 1,500 | 1,500 |
| Glucose | 18,507 | 42,875 | 18,511 | 18,527 |
| Futterzucker | 9,900 | 9,900 | 9,909 | 9,900 |
| Cellulosepulver | 12,985 | 11,471 | 12,981 | 12,975 |
| Mineralvormischung | 3,394 | 3,394 | 3,394 | 3,394 |
| Vitaminvormischung | 0,300 | 0,300 | 0,300 | 0,300 |
| Total | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

2.2.6 Spezielle Methodik Versuch 5: Bedarfsbestimmung von Methionin, Phenylalanin und Tryptophan

2.2.6.1 Versuchsablauf

Der leicht veränderte Versuchsablauf in Versuch 4 (vgl. Kapitel 2.2.5.1) schien sich etabliert zu haben. Durch die verlängerten Ruhepausen zwischen den Sammelperioden und prophylaktischer Blasenspülungen mit einer Antibiotikasuspension traten weder Infektionen der Blase noch der Harnwege auf. Der Versuchsablauf wurde deshalb für Versuch 5 übernommen und ist in Tabelle 17 dargestellt. Die Blutentnahme erfolgte am Tag 61.

Tabelle 17: Versuchsablauf in Versuch 5

| Met od. Phe od. Trp i. d. Ration | 100 % | | 60 % | | 30 % | | 0 % | |
|-------------------------------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|
| Tag | Adaption | N- Bilanz | Adaption | N- Bilanz | Adaption | N- Bilanz | Adaption | N- Bilanz |
| | 1-14 | 15-19 | 20-28 | 29-33 | 34-42 | 43-47 | 48-56 | 57-61 |
| Dauer [d] | 14 | 5 | 9 | 5 | 9 | 5 | 9 | 5 |

2.2.6.2 Versuchsdiäten

Die Erstellung der Rationszusammensetzungen erfolgte analog den vorherigen Versuchen. An dieser Stelle sind deshalb nur die Aminosäuregehalte (vgl. Tabelle 18) und die Zusammensetzung (vgl. Tabelle 19) der in diesem Versuch verwendeten Diäten aufgeführt.

Tabelle 18: Aminosäuregehalte der Rationen in Versuch 5

| | Met100 | Met60 | Met30 | Met0 | Phe100 | Phe60 | Phe30 | Phe0 | Trp100 | Trp60 | Trp30 | Trp0 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* |
| AS | | | | | | | | | | | | |
| Ala | 16,688 | 16,709 | 16,725 | 16,733 | 16,697 | 16,734 | 16,762 | 16,776 | 16,696 | 16,732 | 16,760 | 16,786 |
| Arg | 0,468 | 0,468 | 0,468 | 0,468 | 0,468 | 0,468 | 0,468 | 0,468 | 0,468 | 0,468 | 0,468 | 0,468 |
| Asp | 24,914 | 24,969 | 24,968 | 24,980 | 24,926 | 24,982 | 25,024 | 24,925 | 24,979 | 25,020 | 25,061 | 25,111 |
| Cys | 1,388 | 1,388 | 1,388 | 1,388 | 1,388 | 1,388 | 1,388 | 1,388 | 1,388 | 1,388 | 1,388 | 1,388 |
| Glu | 27,557 | 27,591 | 27,617 | 27,630 | 27,570 | 27,632 | 27,679 | 27,701 | 27,569 | 27,630 | 27,674 | 27,720 |
| Gly | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 |
| His | 0,416 | 0,416 | 0,426 | 0,416 | 0,416 | 0,416 | 0,416 | 0,416 | 0,416 | 0,416 | 0,416 | 0,416 |
| Ile | 0,562 | 0,562 | 0,562 | 0,562 | 0,562 | 0,562 | 0,562 | 0,562 | 0,562 | 0,562 | 0,562 | 0,562 |
| Leu | 0,796 | 0,796 | 0,796 | 0,796 | 0,796 | 0,796 | 0,796 | 0,796 | 0,796 | 0,796 | 0,796 | 0,796 |
| Lys | 1,248 | 1,248 | 1,248 | 1,248 | 1,248 | 1,248 | 1,248 | 1,248 | 1,248 | 1,248 | 1,248 | 1,248 |
| Met | 0,260 | 0,156 | 0,078 | 0,040** | 0,312 | 0,312 | 0,312 | 0,312 | 0,312 | 0,312 | 0,312 | 0,312 |
| Phe | 0,624 | 0,624 | 0,624 | 0,624 | 0,520 | 0,312 | 0,156 | 0,081** | 0,624 | 0,624 | 0,624 | 0,624 |
| Pro | 1,217 | 1,217 | 1,217 | 1,217 | 1,217 | 1,217 | 1,217 | 1,217 | 1,217 | 1,217 | 1,217 | 1,217 |
| Ser | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 |
| Thr | 1,841 | 1,841 | 1,841 | 1,841 | 1,841 | 1,841 | 1,841 | 1,841 | 1,841 | 1,841 | 1,841 | 1,841 |
| Trp | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,318 | 0,191 | 0,095 | 0 |
| Tyr | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 |
| Val | 0,686 | 0,686 | 0,686 | 0,686 | 0,686 | 0,686 | 0,686 | 0,686 | 0,686 | 0,686 | 0,686 | 0,686 |

*Angaben als g Reinsubstanz der Aminosäure

**Gehalte stammen aus der Maisstärke

Tabelle 19: Zusammensetzung der Rationen in Versuch 5

| Komponente | Met 100 | Phe 100 | Trp 100 |
|---------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | [%] | [%] | [%] |
| L-Ala | 1,661 | 1,661 | 1,661 |
| L-Arg | 0,039 | 0,039 | 0,039 |
| L-Asp | 2,481 | 2,482 | 2,482 |
| L-Cys | 0,136 | 0,136 | 0,136 |
| L-Glu | 2,735 | 2,736 | 2,736 |
| L-His | 0,038 | 0,038 | 0,038 |
| L-Ile | 0,048 | 0,048 | 0,048 |
| L-Leu | 0,064 | 0,064 | 0,064 |
| L-Lys-HCl | 0,152 | 0,152 | 0,152 |
| DL-Met | 0,022 | 0,028 | 0,028 |
| L-Phe | 0,055 | 0,044 | 0,055 |
| L-Pro | 0,114 | 0,114 | 0,114 |
| L-Thr | 0,176 | 0,176 | 0,176 |
| L-Trp | 0,038 | 0,038 | 0,032 |
| L-Tyr | 0,066 | 0,066 | 0,066 |
| L-Val | 0,061 | 0,061 | 0,061 |
| Maisstärke | 45,790 | 45,790 | 45,790 |
| Sojaöl | 1,500 | 1,500 | 1,500 |
| Glucose | 18,578 | 18,590 | 18,579 |
| Futterzucker | 9,900 | 9,909 | 9,900 |
| Cellulosepulver | 12,953 | 12,943 | 12,949 |
| Mineralvormischung | 3,394 | 3,394 | 3,394 |
| Vitaminvormischung | 0,300 | 0,300 | 0,300 |
| Total | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

2.2.7 Spezielle Methodik Versuch 6: Wiederholungen zur Bedarfsermittlung von Isoleucin, Leucin, Phenylalanin/Tyrosin, Valin, Tryptophan und N- Bedarfsermittlung anhand einer N-freien Diät

2.2.7.1 Versuchsablauf

Der Versuch wurde analog den Versuchen 4 und 5 durchgeführt. Mit zwei Tieren wurden die vier Valin Stufen (100, 60, 30, 0 %) wiederholt, da in Versuch 2 drei Tiere ausgefallen waren. Ein Tier wurde zur Vervollständigung der Tryptophanbestimmung herangezogen, da auch hier ein Ausfall zweier Tiere durch Futterverweigerung in Versuch 4 zu verzeichnen war. Aufgrund der Ergebnisse des Versuchs 3 wurden die Aminosäuren Isoleucin, Leucin und die Kombination Phenylalanin+Tyrosin mit drei neuen Gehaltsstufen getestet. Jeweils drei Tiere waren diesen Aminosäuren zugeteilt. Den Tieren der Ile-, Leu- und Phe+Tyr-Gruppe wurde im Anschluß an dieses Bilanzprogramm eine N-freie Diät verfüttert. Die Bestimmung der N-Bilanz erfolgte nach neun Tagen Umstellungszeit mit einer Dauer von 5 Tagen. Der Versuchsablauf ist in Tabelle 20 dargestellt. Die Blutentnahme erfolgte am Tag 61.

Tabelle 20: Versuchsablauf in Versuch 6

| Ile od. Leu od. Phe/Tyr od. Val od. Trp i. d. Ration | Ile, Leu, P+T 140% od. Val, Trp 100 % | | Ile, Leu, P+T 75% od. Val, Trp 60 % | | Ile, Leu, P+T 10% od. Val, Trp 30 % | | N frei od. Val, Trp 0 % | |
|--|--|--------------|--|--------------|--|--------------|----------------------------|--------------|
| | Adaption | N- Bilanz | Adaption | N- Bilanz | Adaption | N- Bilanz | Adaption | N- Bilanz |
| Tag | 1-14 | 15-19 | 20-28 | 29-33 | 34-42 | 43-47 | 48-56 | 57-61 |
| Dauer [d] | 14 | 5 | 9 | 5 | 9 | 5 | 9 | 5 |

2.2.7.2 Versuchsdiäten

Die Erstellung der Rationszusammensetzung erfolgte analog den vorherigen Versuchen. Die Aminosäuregehalte und Zusammensetzungen der Rationen der Valin- und Tryptophan-Gruppe sind in Kapitel 2.2.3.2 bzw. 2.2.6.2 beschrieben. An dieser Stelle sind deshalb nur die Aminosäuregehalte (vgl. Tabelle 21) und die Zusammensetzungen der Rationen (vgl. Tabelle 22) der Isoleucin-, Leucin- und Phenylalanin/Tyrosin- Gruppe aufgeführt.

Tabelle 21: Aminosäuregehalte der Rationen in Versuch 6

| | Ile140 | Ile75 | Ile10 | Leu140 | Leu75 | Leu10 | P/T140 | P/T75 | P/T10 |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* | [g/kg]* |
| AS | | | | | | | | | |
| Ala | 16,656 | 16,725 | 16,793 | 16,648 | 16,745 | 16,842 | 16,641 | 16,759 | 16,878 |
| Arg | 0,468 | 0,468 | 0,468 | 0,468 | 0,468 | 0,468 | 0,468 | 0,468 | 0,468 |
| Asp | 24,866 | 24,968 | 25,070 | 24,854 | 24,998 | 25,142 | 24,843 | 25,020 | 25,197 |
| Cys | 1,388 | 1,388 | 1,388 | 1,388 | 1,388 | 1,388 | 1,388 | 1,388 | 1,388 |
| Glu | 27,504 | 27,617 | 27,730 | 27,491 | 27,650 | 27,810 | 27,749 | 27,674 | 27,870 |
| Gly | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 |
| His | 0,416 | 0,416 | 0,416 | 0,416 | 0,416 | 0,416 | 0,416 | 0,416 | 0,416 |
| Ile | 0,655 | 0,351 | 0,081** | 0,562 | 0,562 | 0,562 | 0,562 | 0,562 | 0,562 |
| Leu | 0,796 | 0,796 | 0,796 | 0,928 | 0,497 | 0,162 | 0,796 | 0,796 | 0,796 |
| Lys | 1,248 | 1,248 | 1,248 | 1,248 | 1,248 | 1,248 | 1,248 | 1,248 | 1,248 |
| Met | 0,312 | 0,312 | 0,312 | 0,312 | 0,312 | 0,312 | 0,312 | 0,312 | 0,312 |
| Phe | 0,624 | 0,624 | 0,624 | 0,624 | 0,624 | 0,624 | 0,746 | 0,400 | 0,081** |
| Pro | 1,217 | 1,217 | 1,217 | 1,217 | 1,217 | 1,217 | 1,217 | 1,217 | 1,217 |
| Ser | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 | 0,081 |
| Thr | 1,841 | 1,841 | 1,841 | 1,841 | 1,841 | 1,841 | 1,841 | 1,841 | 1,841 |
| Trp | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,374 | 0,318 |
| Tyr | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,655 | 0,746 | 0,400 | 0,081 |
| Val | 0,686 | 0,686 | 0,686 | 0,686 | 0,686 | 0,686 | 0,686 | 0,686 | 0,686 |

*Angaben als g Reinsubstanz der Aminosäure

**Gehalte stammen aus der Maisstärke

Die Tiere, der Ile-, Leu- und P+T-Gruppe, erhielten nach Bilanzende eine N-freie Diät. Dieser Ration wurden keine Aminosäuren zugefügt, sie bestand lediglich aus Maisstärke, Zucker, Dextrose, Cellulose, Pflanzenöl, Mineralien und Vitaminen. Aufgrund von Proteinresten in der Maisstärke (0,43 % RP) waren circa 0,20 % RP im Futter. Die Zusammensetzung der Ration ist in Tabelle 23 nachzulesen.

Tabelle 22: Zusammensetzung der Rationen in Versuch 6

| Komponente | Ile 140 [%] | Leu 140 [%] | Phe/Tyr 140 [%] |
|--------------------|----------------|----------------|--------------------|
| L-Ala | 1,657 | 1,657 | 1,656 |
| L-Arg | 0,039 | 0,039 | 0,039 |
| L-Asp | 2,476 | 2,475 | 2,474 |
| L-Cys | 0,136 | 0,136 | 0,136 |
| L-Glu | 2,729 | 2,728 | 2,727 |
| L-His | 0,038 | 0,038 | 0,038 |
| L-Ile | 0,057 | 0,048 | 0,048 |
| L-Leu | 0,064 | 0,077 | 0,064 |
| L-Lys-HCl | 0,152 | 0,152 | 0,152 |
| DL-Met | 0,028 | 0,028 | 0,028 |
| L-Phe | 0,055 | 0,055 | 0,067 |
| L-Pro | 0,114 | 0,114 | 0,114 |
| L-Thr | 0,176 | 0,176 | 0,176 |
| L-Trp | 0,038 | 0,038 | 0,038 |
| L-Tyr | 0,066 | 0,066 | 0,075 |
| L-Val | 0,061 | 0,061 | 0,061 |
| Maisstärke | 45,790 | 45,790 | 45,790 |
| Sojaöl | 1,500 | 1,500 | 1,500 |
| Glucose | 18,566 | 18,562 | 18,549 |
| Futterzucker | 9,900 | 9,909 | 9,900 |
| Cellulosepulver | 12,963 | 12,967 | 12,975 |
| Mineralvormischung | 3,394 | 3,394 | 3,394 |
| Vitaminvormischung | 0,300 | 0,300 | 0,300 |
| Total | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Tabelle 23: Zusammensetzung der N-freien Ration

| Komponente | N 0 [%] |
|--------------------|--------------|
| Maisstärke | 45,790 |
| Sojaöl | 1,500 |
| Glucose | 26,415 |
| Futterzucker | 9,900 |
| Cellulosepulver | 13,020 |
| Mineralvormischung | 3,394 |
| Vitaminvormischung | 0,300 |
| Total | 100,0 |

3 Ergebnisse

3.1 Energie im Futter

Am Beispiel Lysin wurden, stellvertretend für alle Rationen, die Energiegehalte der einzelnen Diäten und der zugehörigen Kotproben untersucht. Die durchschnittliche Bruttoenergie (GE) in allen Rationen betrug $14,90 \pm 0,07$ MJ/kg. Bei einer Energie im Kot von $14,46 \pm 0,55$ MJ/kg TM ergaben sich die Werte $13,95 \pm 0,34$ MJ/kg für die verdauliche und $13,46 \pm 0,32$ MJ/kg für die umsetzbare Energie im Futter. Die Bruttoenergieaufnahme der Tiere lag bei $0,52 \pm 0,01$ MJ/d/kg^{0,75}. Durch den Kot schieden die Tiere täglich $0,03$ MJ/d/kg^{0,75} Energie aus. Folglich konnten die Sauen $0,48 \pm 0,01$ MJ/d/kg^{0,75} verdauliche und $0,47 \pm 0,01$ MJ/d/kg^{0,75} umsetzbare Energie aufnehmen. Eine mögliche Auswirkung der Reduktion der Aminosäure Lysin in der Ration auf die Verdaulichkeit des Futters konnte nicht festgestellt werden. Alle Rationen hatten den gleichen Energiegehalt und die gleiche Energieverdaulichkeit, die mit 93,6 % sehr hoch war. In Tabelle 24 sind die Werte der einzelnen Rationen aufgeführt.

Tabelle 24: Energie in Futter und Kot

| n = 4 | Ration Lys 100 | Ration Lys 60 | Ration Lys 30 | Ration Lys 0 |
|--|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| GE Futter [MJ/kg] | 14,91 ± 0,23 | 14,87 ± 0,07 | 14,81 ± 0,14 | 15,00 ± 0,10 |
| GE Kot [MJ/kg TM] | 14,89 ± 0,69 | 14,46 ± 0,37 | 14,42 ± 0,50 | 14,06 ± 0,47 |
| DE [MJ/kg] | 14,10 ± 0,23 | 13,65 ± 0,43 | 13,90 ± 0,30 | 14,15 ± 0,17 |
| DE [%] | 94,59 ± 1,56 | 91,76 ± 2,86 | 93,84 ± 2,01 | 94,33 ± 1,14 |
| ME [MJ/kg] | 13,61 ± 0,22 | 13,17 ± 0,41 | 13,41 ± 0,29 | 13,65 ± 0,16 |
| GE Aufnahme [MJ/d/kg ^{0,75}] | 0,52 ± 0,01 | 0,51 ± 0,00 | 0,51 ± 0,00 | 0,52 ± 0,00 |
| GE Ausscheidung [MJ/d/kg ^{0,75}] | 0,03 ± 0,01 | 0,04 ± 0,01 | 0,03 ± 0,01 | 0,03 ± 0,01 |
| DE Aufnahme [MJ/d/kg ^{0,75}] | 0,49 ± 0,01 | 0,47 ± 0,01 | 0,48 ± 0,01 | 0,49 ± 0,01 |
| ME Aufnahme [MJ/d/kg ^{0,75}] | 0,47 ± 0,01 ^a | 0,45 ± 0,01 ^b | 0,46 ± 0,01 ^{ab} | 0,47 ± 0,01 ^a |

3.2 Lebendmasseentwicklung während des Versuchs

Tabelle 25 gibt eine Übersicht zur Lebendmasseentwicklung der Tiere während der einzelnen Versuche. Die LM wurde am Anfang und nach Beendigung eines Versuchs bestimmt (vgl. Kapitel 2.1.6). Außer einer leicht positiven Gewichtsentwicklung konnten keine Veränderungen der LM beobachtet werden. Folglich wurde für alle Berechnungen, bei denen die LM der Tiere benötigt wurde, das Ausgangsgewicht verwendet.

Tabelle 25: Lebendmassen

| Aminosäure-Gruppe | Startgewicht [kg] | Endgewicht [kg] |
|-------------------|----------------------|--------------------|
| Thr | 192 ± 4 | 195 ± 9 |
| Lys | 203 ± 1 | 208 ± 2 |
| Met/Cys | 186 ± 11 | 186 ± 14 |
| Met | 227 ± 9 | 233 ± 8 |
| Trp | 221 ± 9 | 225 ± 10 |
| Phe/Tyr | 230 ± 13 | 232 ± 14 |
| Phe | 212 ± 26 | 219 ± 27 |
| Ile | 227 ± 24 | 228 ± 30 |
| Leu | 208 ± 17 | 211 ± 18 |
| Val | 216 ± 25 | 221 ± 23 |

3.3 Stickstoffverluste über die Körperoberfläche

Der durchschnittliche N-Verlust über die Körperoberfläche je Tier ($n = 6$) betrug im Mittel 0,501 gN/d. Der mittlere N-Gehalt der Proben war $8,945 \% \pm 1,461$, was einem Proteingehalt von ca. 55,9 % entspricht. Die Einzelwerte der N-Verluste der Tiere sind in Tabelle 26 zusammengefaßt. Die Werte sind als tägliche und tägliche, auf das metabolische Körpergewicht bezogene, Verluste aufgeführt. Der Leerwert gibt den N-Gehalt, bzw. die tägliche Menge an Stickstoff der Probe wieder, die aus der leeren Bucht stammte. Die Werte der Haut- und Haarproben sind um den Leerwert korrigiert.

Tabelle 26: N-Verluste über die Körperoberfläche

| Tier | N-Verluste [g/d] | N-Verluste [g/d/kg ^{0,75}] |
|-------------|---------------------|---|
| leere Bucht | 0,034 | |
| 1 | 0,511 | 0,010 |
| 2 | 0,424 | 0,008 |
| 3 | 0,450 | 0,008 |
| 4 | 0,519 | 0,010 |
| 5 | 0,421 | 0,008 |
| 6 | 0,680 | 0,013 |
| MW ± SD | 0,501 ± 0,098 | 0,010 ± 0,002 |

3.4 N-Bilanzen und Regressionen

3.4.1 Threonin

In den folgenden drei Tabellen sind die Ergebnisse der Auswirkung der Thr-Absenkung auf die N-Bilanz aufgeführt. Alle Werte wurden aus den Daten von vier Tieren gewonnen. Die Futteraufnahme, und damit die N-Aufnahme, war während allen Thr-Stufen gleich. Alle vier Tiere nahmen jede Mahlzeit vollständig auf. Für die Kotalausscheidung wurde der aus allen Versuchen gemittelte Wert eingesetzt, da die täglich erfaßten Proben nicht gepoolt werden konnten. Innerhalb der Thr-Stufe 50 % konnten zwischen den vier gepoolten Bilanztagen keine Unterschiede in der Harnausscheidung festgestellt werden. Somit waren auch die errechneten Bilanzen nicht voneinander unterscheidbar. Analog verhielt sich die Harnausscheidung und N-Bilanzen der drei gepoolten Bilanztage der Ration Thr 25. Sie waren ebenfalls nicht gegeneinander absicherbar. Beim Vergleich der verschiedenen Thr-Stufen (siehe Tabelle 30) konnten jedoch Veränderungen festgestellt werden. Die Harn-N-Ausscheidung nahm mit absinkendem Thr-Gehalt in der Ration signifikant zu. Sie stieg von Stufe 50 auf 25 um 19 % und von Stufe 25 auf 0 um 12%. Folglich wurde die N-Bilanz immer negativer je weniger Threonin im Futter war. Sie sank um 0,040 gN/d/kg^{0,75} bei der Umstellung auf die Ration Thr 25 und um weitere 0,031 gN/d/kg^{0,75} auf Thr 0. Die Unterschiede bei den Bilanzen waren signifikant.

Tabelle 27: N-Bilanz der gepoolten Bilanztage aus der Ration Thr 50

| Bilanz [g N / kg ^{0,75} / d] | zugeführtes Threonin [mg / kg ^{0,75} / d] | | | |
|--|--|----------------|----------------|----------------|
| | 31 | | | |
| | gepoolte Bilanztage | | | |
| | 18-20 | 21-22 | 23-25 | 26-27 |
| N-Aufnahme | 0,257 | 0,257 | 0,257 | 0,257 |
| N-Harn | 0,235 ± 0,020 | 0,244 ± 0,011 | 0,249 ± 0,015 | 0,224 ± 0,010 |
| N-Kot | 0,041 | 0,041 | 0,041 | 0,041 |
| N-Bilanz | -0,019 ± 0,020 | -0,028 ± 0,011 | -0,033 ± 0,015 | -0,008 ± 0,010 |

Tabelle 28: N-Bilanz der gepoolten Bilanztage, Stufe Thr25

| Bilanz [g N / kg ^{0,75} / d] | zugeführtes Threonin [mg / kg ^{0,75} / d] | | |
|--|--|----------------|----------------|
| | 17 | | |
| | gepoolte Bilanztage | | |
| | 32-34 | 35-37 | 38-40 |
| N-Aufnahme | 0,262 | 0,262 | 0,262 |
| N-Harn | 0,282 ± 0,011 | 0,279 ± 0,021 | 0,290 ± 0,008 |
| N-Kot | 0,041 | 0,041 | 0,041 |
| N-Bilanz | -0,061 ± 0,011 | -0,058 ± 0,021 | -0,069 ± 0,008 |

Tabelle 29: N-Bilanz der gepoolten Bilanztage, Stufe Thr 0

| Bilanz [gN / kg ^{0,75} / d] | zugeführtes Threonin [mg / kg ^{0,75} / d] |
|---|--|
| | 4 gepoolte Bilanztage 50-52 |
| N-Aufnahme | 0,266 |
| N-Harn | 0,318 ± 0,016 |
| N-Kot | 0,041 |
| N-Bilanz | -0,093 ± 0,016 |

Tabelle 30: N-Bilanz, Mittelwerte der Stufen Thr 50 bis 0

| Bilanz [gN / kg ^{0,75} / d] | zugeführtes Threonin [mg / kg ^{0,75} / d] | | |
|---|--|-----------------------------|-----------------------------|
| | 31 | 17 | 4 |
| N-Aufnahme | 0,257 | 0,262 | 0,266 |
| N-Harn | 0,238 ± 0,016 ^c | 0,283 ± 0,014 ^b | 0,318 ± 0,016 ^a |
| N-Kot | 0,041 | 0,041 | 0,041 |
| N-Bilanz | -0,022 ± 0,016 ^a | -0,062 ± 0,014 ^b | -0,093 ± 0,016 ^c |

Aus den gemittelten Werten der Thr-Stufen, die in Tabelle 30 dargestellt sind, wurde die Regression der N-Bilanz in Abhängigkeit von der Thr-Aufnahme errechnet. Die Beziehung zeigt einen linearen Zusammenhang.

$$y = 0,0027 x - 0,1069 \quad R^2 = 0,7563 \quad \alpha = 0,0001 \quad s_{y,x} = 0,015$$

$$y = \text{N-Bilanz in gN/kg}^{0,75}/\text{d} \quad x = \text{Thr-Aufnahme in mg/kg}^{0,75}/\text{d}$$

Der aus der Gleichung errechnete Bedarfswert für Threonin bei einer N-Bilanz von 0 beträgt 0,040 gThr/d/kg^{0,75}. Die Regressionsgerade der Beziehung zwischen Thr-Aufnahme und N-Bilanz ist in Abbildung 3 graphisch dargestellt.

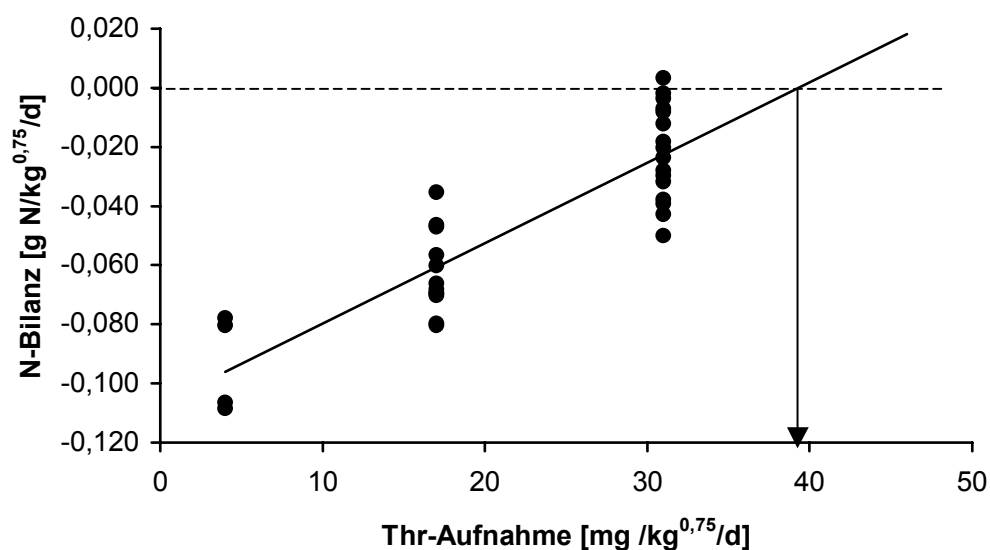


Abbildung 3: Beziehung zwischen der Thr-Aufnahme und der N-Bilanz

3.4.2 Lysin

In Tabelle 31 sind die Werte der N-Bilanzmessungen der Lysinstufen aufgeführt. Die Futteraufnahme und somit die N-Aufnahme waren von der Lysindefizienz nicht beeinträchtigt. Alle Mahlzeiten wurden von den Tieren vollständig aufgenommen. Bei der Kottausscheidung wurde zwischen den Gruppen kein Unterschied festgestellt. Die mittlere Harnausscheidung stieg mit fallenden Lysingehalten im Futter leicht an. Die Unterschiede konnten aber aufgrund der hohen Streuung nicht gesichert werden. Bei den N-Bilanzwerten war die Streuung etwas niedriger, so daß ein signifikanter Einfluß der Lys-Zufuhr auf die N-Bilanz abzuschließen war. Allerdings konnte nur die Stufe Lys 0 von den drei höheren Stufen unterschieden werden. Insgesamt fiel die N-Bilanz um $0,040 \text{ gN/d/kg}^{0,75}$ ab.

Mit den Werten der N-Bilanz in Abhängigkeit von der Lys-Zufuhr konnte ein linearer Zusammenhang hergestellt werden. Die Berechnung der Regression ergab folgende Geradengleichung.

$$y = 0,0011 x - 0,0418 \quad R^2 = 0,5295 \quad \alpha = 0,0021 \quad s_{y,x} = 0,014$$

$$y = \text{N-Bilanz in g/d /kg}^{0,75} \quad x = \text{Lys-Aufnahme in mg/d /kg}^{0,75}$$

Tabelle 31: N-Bilanz der Lysin-stufen

| Bilanz [gN / kg ^{0,75} / d] | zugeführtes Lysin [mg / kg ^{0,75} / d] | | | |
|---|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | 39 n = 4 | 25 n = 4 | 14 n = 4 | 3 n = 4 |
| N-Aufnahme | 0,313 | 0,318 | 0,312 | 0,308 |
| N-Harn | 0,281 ± 0,016 | 0,284 ± 0,017 | 0,292 ± 0,013 | 0,308 ± 0,021 |
| N-Kot | 0,032 ± 0,009 | 0,050 ± 0,011 | 0,040 ± 0,013 | 0,044 ± 0,005 |
| N-Bilanz | -0,003 ± 0,010 ^a | -0,016 ± 0,013 ^a | -0,020 ± 0,008 ^a | -0,043 ± 0,020 ^b |

Der Lysinbedarf wurde bei einer N-Bilanz von 0 berechnet und beträgt 0,038 g Lys/d/kg^{0,75}. In Abbildung 4 ist die Gerade der Beziehung zwischen Lys-Aufnahme und N-Bilanz graphisch dargestellt.

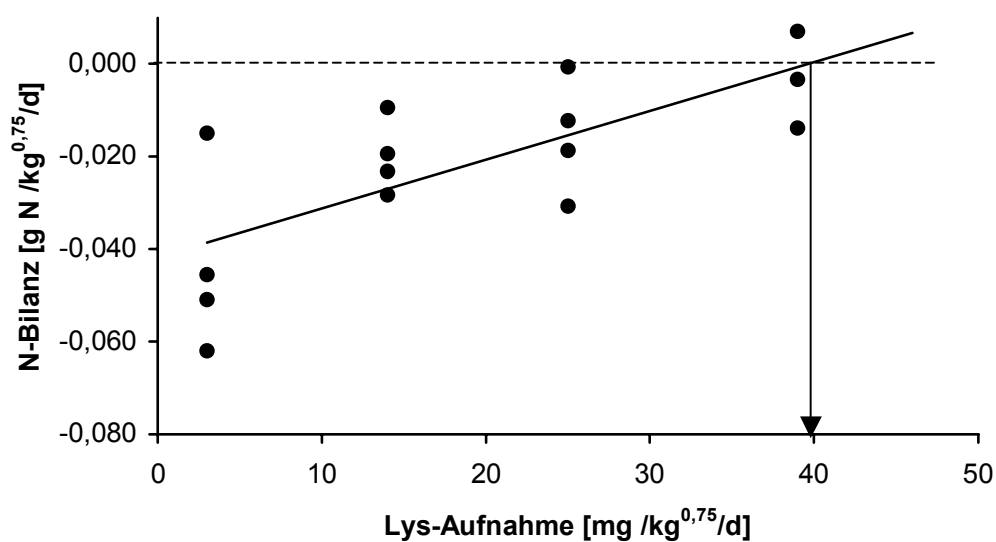


Abbildung 4: Beziehung zwischen der Lys-Aufnahme und der N-Bilanz

3.4.3 Methionin+Cystein

Die Absenkung der Aminosäuren Methionin und Cystein in den Rationen zeigte keinen Einfluß auf die N-Aufnahme und die Kot-N-Ausscheidung der Tiere. Bei der Harn-N-Ausscheidung konnten jedoch signifikante Unterschiede zwischen den Met+Cys-Stufen festgestellt werden. Der Anstieg der Ausscheidung von der Stufe Met/Cys 100 auf 60 konnte, obwohl er 15 % betrug, durch die hohen Streuungen nicht gesichert werden. Die weitere Absenkung des Methionins und Cysteins im Futter auf 30 % brachte ebenso eine Erhöhung der Harn-N-Ausscheidung um 15 % mit sich. Sie ließ sich gegen die beiden höheren Stufen statistisch absichern. Ebenfalls signifikant verschieden von allen höheren Stufen war der Wert der Met+Cys-Stufe 0. Die Reduktion der beiden Aminosäuren auf das Minimum, das sich in der Maisstärke befand, ließ die Ausscheidungen im Harn um 25 % steigen. Aufgrund der deutlichen Unterschiede in der Harnausscheidung waren die errechneten N-Bilanzwerte ebenso von der Absenkung der Aminosäuren Met+Cys beeinflusst. Die Bilanzwerte der einzelnen Stufen konnten alle gegeneinander signifikant abgesichert werden. Durch die Berechnung der N-Bilanz ergab sich eine Verringerung der Streuung bei den Stufen 100 % und 60 %, wodurch auch sie voneinander unterschieden werden konnten. Insgesamt fiel die Bilanz von einem positiven Ausgangswert um 0,102 gN/d/ kg^{0,75} ins Negative. In Tabelle 32 sind die einzelnen Daten aufgelistet.

Die Berechnung der Regression der Beziehung zwischen der Aufnahme an Methionin und Cystein und der N-Bilanz ergab einen linearen Verlauf. Die errechnete Geradengleichung lautet wie folgt.

$$y = 0,0035 x - 0,1281 \quad R^2 = 0,8424 \quad \alpha = 0,0001 \quad s_{y,x} = 0,027$$

$$y = \text{N-Bilanz in g/d /kg}^{0,75} \quad x = \text{Met+Cys-Aufnahme in mg/d /kg}^{0,75}$$

Um den Bedarfswert für die Aminosäuren festzulegen, wurde die Gleichung bei einer N-Bilanz von 0, das bedeutet $y = 0$, aufgelöst. Der Bedarf beider Aminosäuren berechnet sich mit 0,037 g Met+Cys/d/kg^{0,75}. Die Regression des Zusammenhangs der Met+Cys-Aufnahme und der N-Bilanz ist in Abbildung 5 dargestellt.

Tabelle 32: N-Bilanz der Methionin+Cystein-Stufen

| Bilanz [gN / kg ^{0,75} / d] | zugeführtes Methionin und Cystein [mg / kg ^{0,75} / d] | | | |
|---|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | 49 n = 4 | 29 n = 4 | 15 n = 4 | 3 n = 4 |
| N-Aufnahme | 0,313 | 0,309 | 0,313 | 0,317 |
| N-Harn | 0,241 ± 0,038 ^c | 0,278 ± 0,026 ^c | 0,320 ± 0,022 ^b | 0,400 ± 0,010 ^a |
| N-Kot | 0,041 ± 0,004 | 0,045 ± 0,008 | 0,057 ± 0,010 | 0,049 ± 0,010 |
| N-Bilanz | 0,031 ± 0,034 ^a | -0,014 ± 0,027 ^b | -0,064 ± 0,024 ^c | -0,133 ± 0,013 ^d |

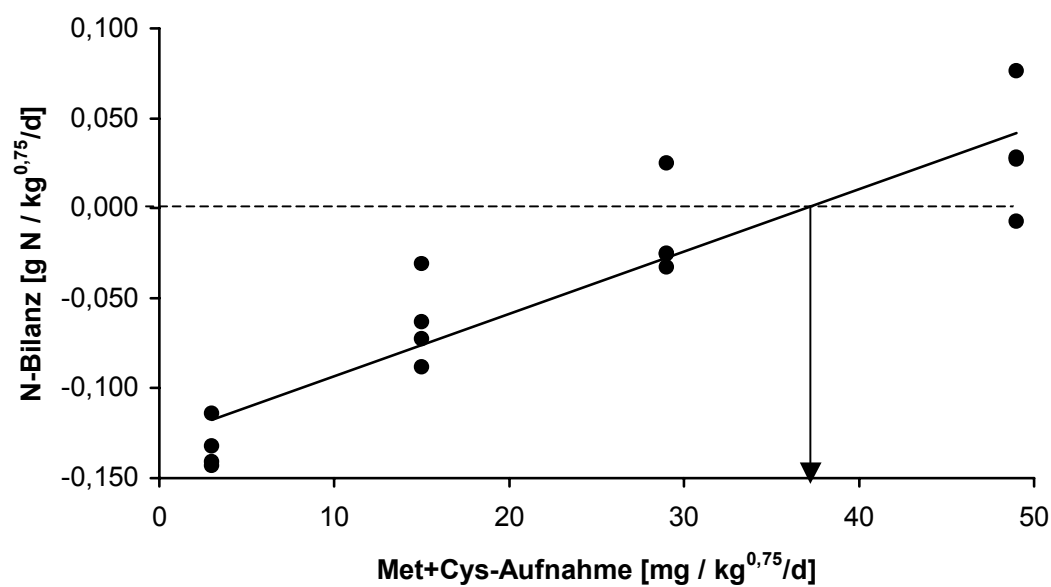


Abbildung 5: Beziehung zwischen der Met+Cys-Aufnahme und der N-Bilanz

3.4.4 Methionin

In Tabelle 33 sind die Ergebnisse der N-Bilanzmessungen der Rationen, in denen der Gehalt an Methionin verändert wurde, aufgeführt. Die Reduktion von Methionin in den Rationen hatte keine Auswirkungen auf den Futterverzehr. Die Tiere nahmen alle Mahlzeiten vollständig und somit konstante Mengen an Stickstoff auf. Obwohl die Absenkung von Methionin auf 30 % einen signifikanten Anstieg der N-Ausscheidung im Harn hervorrief, konnte keine gerichtete Erhöhung der Werte mit sinkendem Methioningehalt in der Ration festgestellt werden. Bei den N-Bilanzen waren keine absicherbaren Unterschiede vorhanden. Desweiteren konnte keine vermehrte Abnahme der Werte mit fallendem Met-Gehalt in der Ration festgestellt werden. Aufgrund dieser Schwankungen der N-Bilanz war es nicht möglich einen statistisch abgesicherten Zusammenhang zwischen der Met-Aufnahme und einer Reaktion in der N-Bilanz zu erkennen. Somit konnte auch kein Bedarfswert für diese Aminosäure ermittelt werden. In Abbildung 6 sind die ermittelten Bilanzdaten in Abhängigkeit von der Met-Zufuhr graphisch dargestellt.

Tabelle 33: N-Bilanz der Methionin-Stufen

| Bilanz [gN / kg ^{0,75} / d] | zugeführtes Methionin [mg / kg ^{0,75} / d] | | | |
|---|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | 11 n = 3 | 6 n = 4 | 3 n = 4 | 1 n = 4 |
| N-Aufnahme | 0,304 | 0,310 | 0,317 | 0,312 |
| N-Harn | 0,300 ± 0,019 ^b | 0,275 ± 0,012 ^b | 0,316 ± 0,020 ^a | 0,284 ± 0,013 ^b |
| N-Kot | 0,039 ± 0,009 | 0,037 ± 0,008 | 0,035 ± 0,004 | 0,041 ± 0,006 |
| N-Bilanz | -0,021 ± 0,010 | -0,002 ± 0,019 | -0,034 ± 0,016 | -0,013 ± 0,010 |

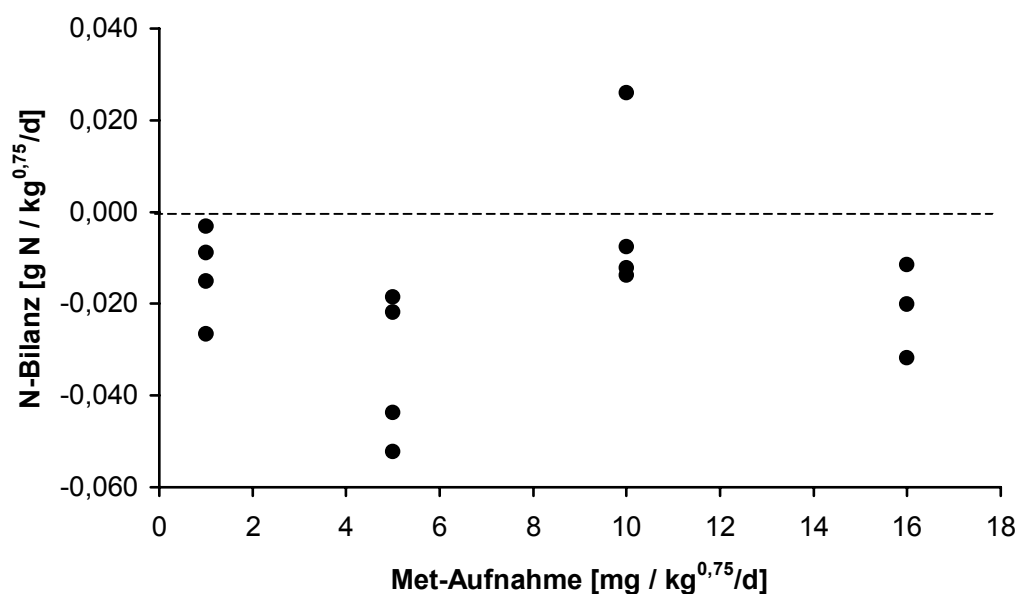


Abbildung 6: Beziehung zwischen der Met-Aufnahme und der N-Bilanz

3.4.5 Tryptophan

Die Tryptophanabsenkung in der Ration wirkte sich negativ auf die Futteraufnahme einiger Tiere aus. Ab der Stufe Trp 30 verweigerten einzelne Tiere das Futter. Sie wurden aus dem Versuch genommen und ihre Daten nicht zur Berechnung der N-Bilanz herangezogen. Die Werte, die in Tabelle 34 aufgeführt sind, stammen ausschließlich von Tieren, die alle Mahlzeiten vollständig aufgenommen haben. Die Zufuhr an Stickstoff bei diesen Tieren war konstant. Die Kot-N-Ausscheidung war von den unterschiedlichen Gehalten an Trp nicht beeinflusst. In der Harn-N-Ausscheidung zeichnete sich ein deutlicher Einfluß der Reduktion von Tryptophan im Futter ab. Sie stieg von Stufe Trp 100 auf Trp 0 um 26 % an. Die Werte der Stufe 0 konnten signifikant gegen die der Stufen 100 und 60 abgesichert werden. Dieser Einfluß war auch in den Bilanzwerten wiederzuerkennen. Auch hier konnten die gleichen Stufen wie im Harn und zusätzlich die Stufe 0 von Stufe 30 unterschieden werden. Durch die Trp-Depletion fiel die Bilanz um $0,090 \text{ gN/d/kg}^{0,75}$ ab.

Tabelle 34: N-Bilanz der Tryptophan-Stufen

| Bilanz [gN / kg ^{0,75} / d] | zugeführtes Tryptophan [mg / kg ^{0,75} / d] | | | |
|---|--|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | 13 n = 5 | 8 n = 5 | 4 n = 4 | 0 n = 3 |
| N-Aufnahme | 0,313 | 0,317 | 0,311 | 0,311 |
| N-Harn | 0,282 ± 0,036 ^b | 0,287 ± 0,023 ^b | 0,318 ± 0,009 ^{ab} | 0,354 ± 0,025 ^a |
| N-Kot | 0,039 ± 0,017 | 0,044 ± 0,011 | 0,039 ± 0,005 | 0,054 ± 0,013 |
| N-Bilanz | -0,007 ± 0,031 ^a | -0,014 ± 0,014 ^a | -0,046 ± 0,007 ^a | -0,097 ± 0,023 ^b |

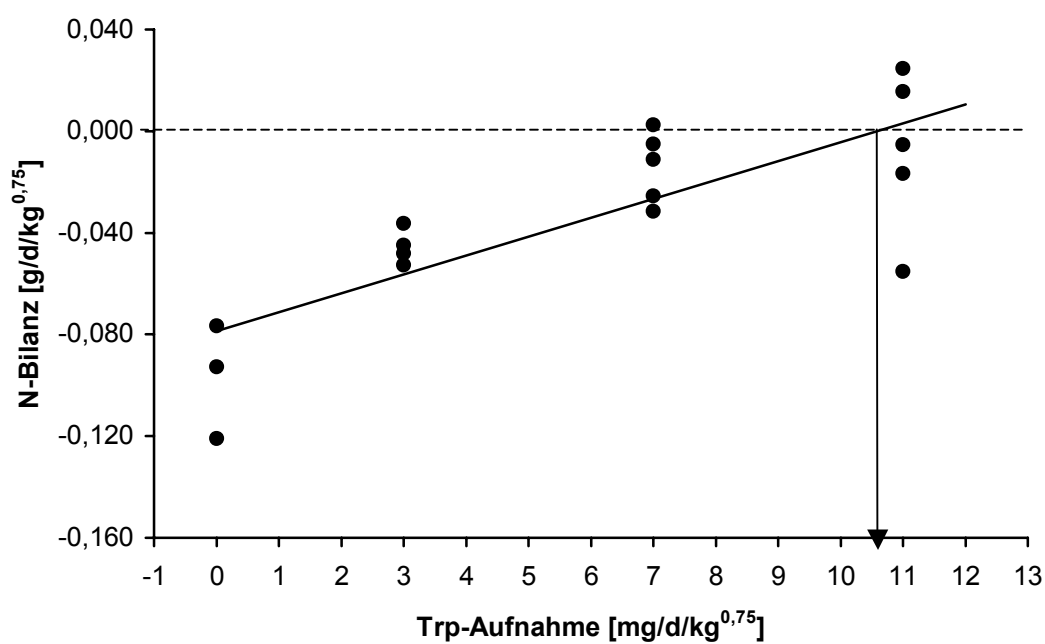


Abbildung 7: Beziehung zwischen der Trp-Aufnahme und der N-Bilanz

Die absinkenden Bilanzwerte waren linear von der Trp-Zufuhr abhängig. Die Berechnung der Regression ergab folgende Geradengleichung.

$$y = 0,0075 x - 0,0788 \quad R^2 = 0,6352 \quad \alpha = 0,0001 \quad s_{y,x} = 0,024$$

$$y = \text{N-Bilanz in g/d/kg}^{0,75} \quad x = \text{Trp-Aufnahme in mg/d/kg}^{0,75}$$

Zur Bedarfsberechnung wurde die N-Bilanz gleich 0 gesetzt. Die Trp-Zufuhr zum Erreichen des N-Gleichgewichts beträgt 0,011 g Trp/d/kg^{0,75}. Zur Veranschaulichung ist die Beziehung der N-Bilanz zur Trp-Aufnahme in Abbildung 7 dargestellt.

3.4.6 Phenylalanin +Tyrosin

Ähnlich wie bei Methionin wirkte sich die Reduktion der Aminosäuren Phenylalanin und Tyrosin nicht erkennbar auf den N-Stoffwechsel der Tiere aus. Die Futterraufnahme wurde durch den Rückgang der beiden Aminosäuren im Futter nicht beeinflusst. Die N-Aufnahme war damit konstant. Desweiteren wurde auch kein Einfluß auf die scheinbare N-Verdaulichkeit der Tiere festgestellt, die Kot-N-Ausscheidung war in allen Stufen gleich. Ebenso konnten weder bei der N-Ausscheidung noch bei den Bilanzen gerichtete Reaktionen auf den Entzug der beiden Aminosäuren festgestellt werden. Außerdem ergaben sich im Vergleich zu den Werten, die bei der Bedarfsbestimmung anderer Aminosäuren ermittelt wurden, höhere Streuungen bei der Harn-N-Ausscheidung und den N-Bilanzen. In Tabelle 35 sind die Daten aufgelistet. Mit den gewonnenen Daten konnte folglich auch kein Zusammenhang zwischen der N-Bilanz und der Phe+Tyr-Aufnahme hergestellt werden. Somit konnte kein Bedarfswert für die Zufuhr der beiden Aminosäuren festgelegt werden. In Abbildung 8 sind N-Bilanzwerte in Abhängigkeit von der Phe+Tyr-Zufuhr graphisch dargestellt.

Tabelle 35: N-Bilanz der Phenylalanin+Tyrosin-Stufen

| Bilanz [gN / kg ^{0,75} / d] | zugeführtes Phenylalanin und Tyrosin in [mg / kg ^{0,75} / d] | | | | | |
|---|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 52 n = 3 | 39 n = 4 | 28 n = 3 | 25 n = 4 | 14 n = 4 | 6 n = 6 |
| N-Aufnahme | 0,306 | 0,318 | 0,301 | 0,310 | 0,312 | 0,319 |
| N-Harn | 0,310 ± 0,067 | 0,304 ± 0,026 | 0,269 ± 0,022 | 0,299 ± 0,014 | 0,320 ± 0,034 | 0,319 ± 0,030 |
| N-Kot | 0,043 ± 0,005 | 0,042 ± 0,010 | 0,040 ± 0,011 | 0,043 ± 0,000 | 0,043 ± 0,003 | 0,038 ± 0,004 |
| N-Bilanz | -0,047 ± 0,064 | -0,028 ± 0,033 | -0,008 ± 0,029 | -0,032 ± 0,014 | -0,051 ± 0,033 | -0,039 ± 0,034 |

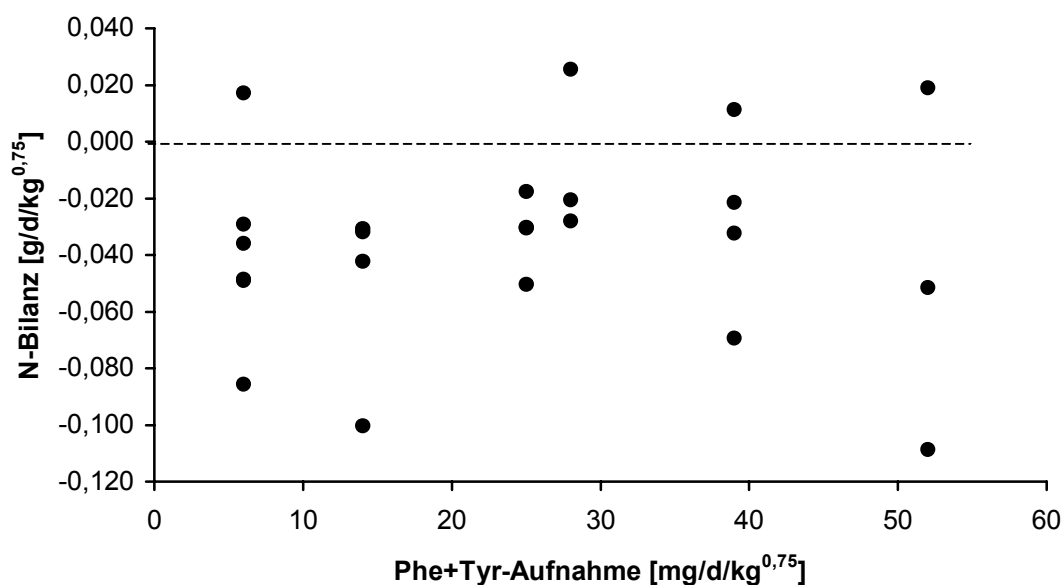


Abbildung 8: Beziehung zwischen der Phe+Tyr-Aufnahme und der N-Bilanz

3.4.7 Phenylalanin

In *Tabelle 36* sind die durch die Phe-Reduktion im Futter erhaltenen Daten zusammengefaßt. Das Absenken des Gehalts an Phenylalanin hatte keine Auswirkungen auf die Futtermenge der Tiere. Die Zufuhr an Stickstoff war somit gleichbleibend während des Versuchs. Ebenfalls gab es keinen Einfluß auf die Kot-N-Ausscheidung. Im Gegensatz zu dem Versuch, in dem Phenylalanin und Tyrosin gleichzeitig reduziert wurden, konnte bei der alleinigen Absenkung von Phenylalanin eine signifikante Abhängigkeit der Harn-N-Ausscheidung von der Zufuhr der Aminosäure festgestellt werden. Mit abnehmendem Phe-Gehalt im Futter konnte eine erhöhte N-Ausscheidung im Harn beobachtet werden. Dabei konnten die Stufen 100 und 60 von den Stufen 30 und 0 signifikant unterschieden werden. Insgesamt stiegen die Werte um 10 %. In den N-Bilanzen zeigte sich derselbe, aber umgekehrte, Effekt. Die Bilanzdaten der Stufen 100 und 60 waren signifikant höher als die der Stufen 30 und 0. Obwohl kein stetiges Steigen der N-Ausscheidung im Harn und somit Absinken der N-Bilanz festzustellen war, konnte ein linearer Zusammenhang zwischen der Phe-Aufnahme und der N-Bilanz ermittelt werden. Die Geradengleichung lautet wie folgt.

$$y = 0,0031 x - 0,0527 \quad R^2 = 0,5168 \quad \alpha = 0,0017 \quad s_{y,x} = 0,019$$

$$y = \text{N-Bilanz in g/d / kg}^{0,75} \quad x = \text{Phe-Aufnahme in mg/d / kg}^{0,75}$$

Im N-Gleichgewicht, bei dem der Bedarf festgelegt wurde, beträgt die Phe-Aufnahme 0,017 g/d/kg^{0,75}. Die Regressionsgerade ist in Abbildung 9 graphisch dargestellt.

Tabelle 36: N-Bilanz der Phenylalanin-Stufen

| Bilanz [gN / kg ^{0,75} / d] | zugeführtes Phenylalanin [mg / kg ^{0,75} / d] | | | |
|---|--|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | 22 n = 4 | 13 n = 4 | 6 n = 4 | 3 n = 4 |
| N-Aufnahme | 0,311 | 0,314 | 0,313 | 0,302 |
| N-Harn | 0,277 ± 0,015 ^b | 0,273 ± 0,013 ^b | 0,312 ± 0,013 ^a | 0,305 ± 0,013 ^a |
| N-Kot | 0,039 ± 0,010 | 0,043 ± 0,008 | 0,044 ± 0,001 | 0,043 ± 0,007 |
| N-Bilanz | -0,005 ± 0,022 ^a | -0,002 ± 0,008 ^a | -0,043 ± 0,013 ^b | -0,046 ± 0,020 ^b |

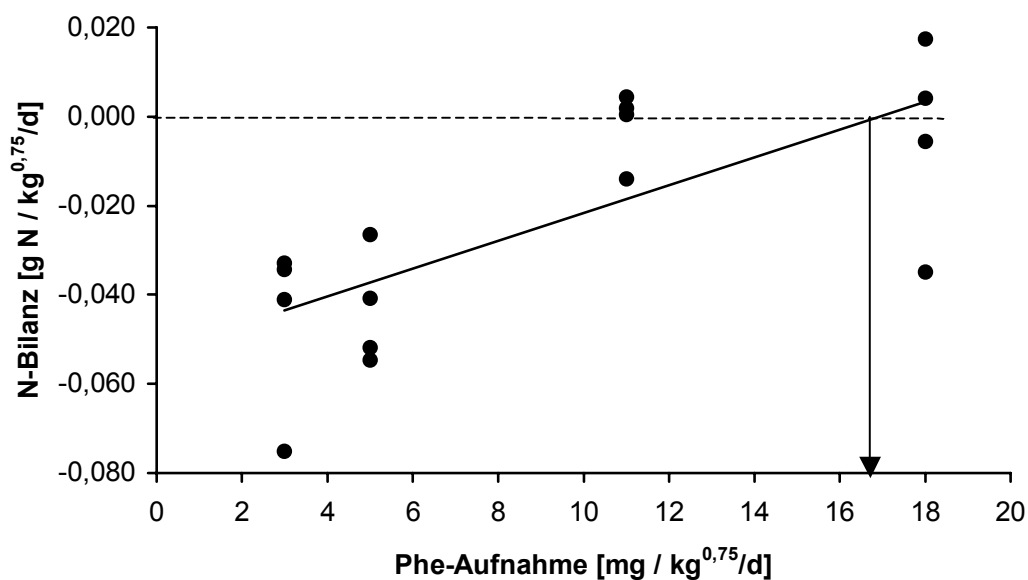


Abbildung 9: Beziehung zwischen der Phe-Aufnahme und der N-Bilanz

3.4.8 Isoleucin

Isoleucin wurde zusätzlich zu den Stufen 100, 60, 30, 0 auch in den Konzentrationen 140, 75 und 10 % verfüttert. Die N-Zufuhr war durch die vollständige Aufnahme der Diäten bei allen Tieren konstant. Die Variation des Ile-Gehalts im Futter zeigte keine Auswirkungen auf die N-Ausscheidung im Kot. Im Harn konnten jedoch signifikante Unterschiede festgestellt werden. Mit abnehmendem Ile-Gehalt stieg die N-Ausscheidung insgesamt um 29 % an. Dabei konnten die Stufen 140 und 100 von den Stufen 30 und 0 signifikant unterschieden werden. Auch bei den N-Bilanzwerten konnten diese genannten Stufen gegeneinander abgesichert werden. Die abnehmende Zufuhr von Isoleucin ließ die N-Bilanzen ins Negative absinken. Zwischen den Stufen 140 und 0 fiel die Bilanz um 60 mg N/d/kg^{0,75}. Mit den Unterschieden konnte folglich ein linearer Zusammenhang zwischen der Ile-Zufuhr und der N-Bilanz hergestellt werden. Die Gleichung der Regressionsgeraden lautet wie folgt.

$$y = 0,0031 x - 0,0635 \quad R^2 = 0,4456 \quad \alpha = 0,0007 \quad s_{y,x} = 0,025$$

$$y = \text{N-Bilanz in g/d /kg}^{0,75} \quad x = \text{Ile-Aufnahme in mg/d /kg}^{0,75}$$

Der Bedarf für die Aufnahme von Isoleucin, der im N-Gleichgewicht festgelegt wurde, beträgt somit 20 mg/d/kg^{0,75}. Die einzelnen Werte der Stufen sind in Tabelle 37 aufgelistet. Die graphische Darstellung der Regressionsgeraden erfolgt in Abbildung 10.

Tabelle 37: N-Bilanz der Isoleucin-Stufen

| Bilanz [g N / d / kg ^{0,75}] | zugeführtes Isoleucin in [mg / d / *kg ^{0,75}] | | | | | | |
|---|--|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | 22 n = 3 | 15 n = 4 | 12 n = 3 | 8 n = 3 | 4 n = 3 | 3 n = 3 | 1 n = 3 |
| N-Aufnahme | 0,307 | 0,318 | 0,304 | 0,314 | 0,322 | 0,304 | 0,315 |
| N-Harn | 0,259 ± 0,022 ^b | 0,313 ± 0,014 ^{ab} | 0,266 ± 0,015 ^b | 0,308 ± 0,024 ^{ab} | 0,365 ± 0,023 ^a | 0,313 ± 0,019 ^{ab} | 0,334 ± 0,042 ^a |
| N-Kot | 0,044 ± 0,005 | 0,037 ± 0,007 | 0,037 ± 0,005 | 0,040 ± 0,004 | 0,035 ± 0,007 | 0,035 ± 0,013 | 0,038 ± 0,009 |
| N-Bilanz | 0,004 ± 0,022 ^a | -0,032 ± 0,018 ^{ab} | 0,001 ± 0,013 ^a | -0,034 ± 0,027 ^{ab} | -0,079 ± 0,017 ^b | -0,044 ± 0,006 ^{ab} | -0,056 ± 0,033 ^b |

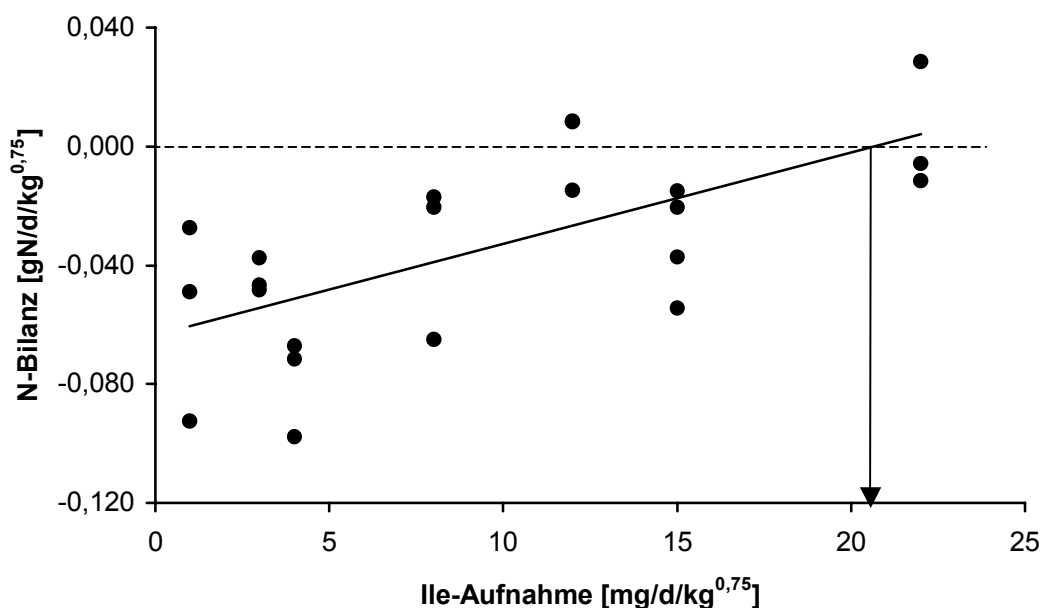


Abbildung 10: Beziehung zwischen der Ile-Aufnahme und der N-Bilanz

3.4.9 Leucin

Leucin ist wiederum eine Aminosäure, deren Reduzierung bei den Tieren keine meßbaren Auswirkungen auf die N-Ausscheidung im Harn und die N-Bilanz hatte. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen einzelnen Stufen festgestellt werden, obwohl die Varianzen innerhalb der Stufen im Vergleich zu anderen Versuchen gering waren. Es war auch kein Trend in Richtung zunehmender N-Harn-Ausscheidung mit sinkender Leu-Zufuhr zu erkennen. Die gleichen Aussagen lassen sich für die Werte der N-Bilanz machen, mit dem Unterschied, daß kein Absinken der Bilanz mit abnehmenden Leu-Gehalten im Futter festzustellen war. Die Futteraufnahme war von der Leu-Zufuhr nicht beeinträchtigt. Die Tiere nahmen alle Mahlzeiten vollständig auf und erhielten somit eine gleichbleibende N-Zufuhr. Ebenso unbeeinflusst war die N-Ausscheidung im Kot. Aufgrund der Ergebnisse, die in Tabelle 38 aufgelistet sind, konnte kein Zusammenhang zwischen der Leu-Aufnahme und der N-Bilanz festgestellt werden. In Abbildung 11 sind die Einzelwerte der N-Bilanz der Stufen in Abhängigkeit von der Leu-Zufuhr graphisch dargestellt.

Tabelle 38: N-Bilanz der Leucin-Stufen

| Bilanz [g N / d/ kg ^{0,75}] | zugeführtes Leucin in [mg / d / kg ^{0,75}] | | | | | |
|--|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 32 n = 3 | 29 n = 4 | 19 n = 3 | 17 n = 4 | 12 n = 4 | 6 n = 7 |
| N-Aufnahme | 0,310 | 0,317 | 0,314 | 0,316 | 0,318 | 0,320 |
| N-Harn | 0,267 ± 0,027 | 0,287 ± 0,010 | 0,278 ± 0,013 | 0,278 ± 0,009 | 0,288 ± 0,014 | 0,291 ± 0,011 |
| N-Kot | 0,036 ± 0,008 | 0,038 ± 0,004 | 0,040 ± 0,004 | 0,044 ± 0,013 | 0,039 ± 0,016 | 0,041 ± 0,008 |
| N-Bilanz | 0,007 ± 0,033 | -0,008 ± 0,010 | -0,002 ± 0,010 | -0,008 ± 0,004 | -0,010 ± 0,003 | -0,013 ± 0,011 |

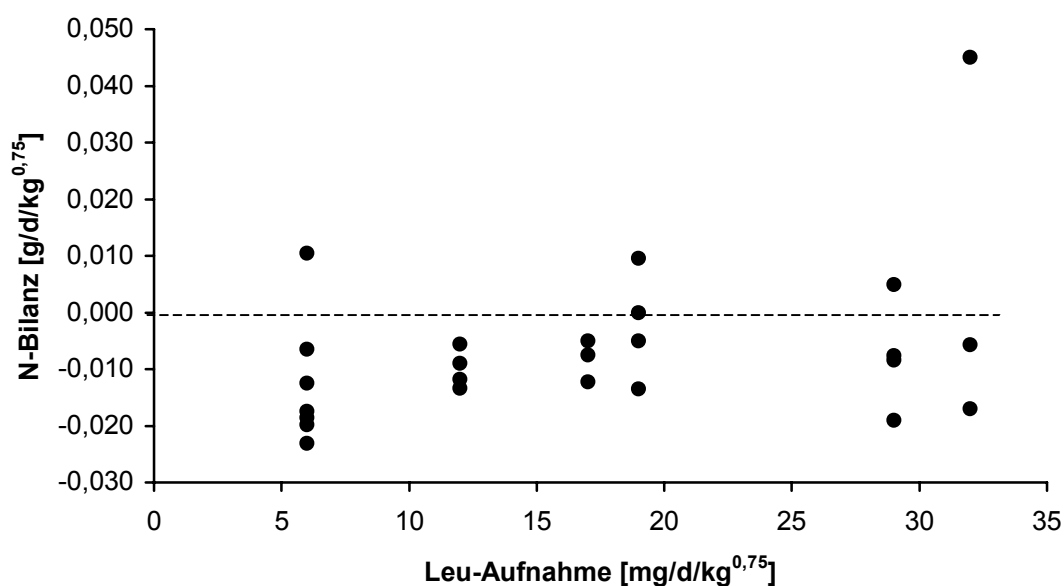


Abbildung 11: Beziehung zwischen der Leu-Aufnahme und der N-Bilanz

3.4.10 Valin

In Tabelle 39 sind die Ergebnisse der N-Bilanzmessungen bei variabler Val-Zufuhr zusammengestellt. Die abnehmenden Val-Gehalte im Futter wirkten sich stark auf die Futteraufnahme aus. Von anfänglich fünf mußten, bis zur Stufe 0, drei Tiere aus dem Versuch genommen werden. Bereits bei der Absenkung des Val-Gehalts von 100 auf 60 % wurden von einem Tier manche Mahlzeiten nicht mehr aufgenommen. In den folgenden Diäten verweigerten

die Tiere schon in der Umstellungsphase mehrere Tage die Futteraufnahme. Für die Ermittlung des Val-Bedarfs wurden die Werte dieser Tiere nicht mit einbezogen. Die in der Tabelle aufgeführten Werte stammen von den Tieren die ein konstante N-Zufuhr hatten. Die N-Ausscheidung im Kot war von der Valinabsenkung im Futter nicht beeinflusst. In der Harn-N-Ausscheidung ließen sich deutliche Unterschiede zwischen den Gruppen feststellen. Mit sinkendem Val-Gehalt im Futter stieg die Ausscheidung stetig an. Insgesamt wurden in Stufe 0 24% mehr N ausgeschieden als in Stufe 100. Die Stufe 100 konnte statistisch gegen die Stufen 30 und 0 abgesichert werden. Da für die Stufe 0 leider nur noch zwei Tiere zur Verfügung standen, konnte der Unterschied zur Stufe 30 nicht gesichert werden. Die N-Bilanzen wurden mit sinkender Val-Zufuhr immer negativer. Der Wert der Stufe 100 ließ sich gegen alle anderen statistisch absichern. Die geringe Tierzahl in Stufe 0 war, wie bei der Harn-N-Ausscheidung, dafür verantwortlich, daß die Unterschiede bei völliger Val-Depletion nicht von den anderen Stufen unterschieden werden konnte. Bei der Berechnung der Regression aus den N-Bilanzwerten in Abhängigkeit von der Val-Zufuhr ergab sich ein linearer Zusammenhang. Die Geradengleichung lautet wie folgt.

$$y = 0,0038 x - 0,0861 \quad R^2 = 0,6672 \quad \alpha = 0,0002 \quad s_{y,x} = 0,020$$

$$y = \text{N-Bilanz in g/d/kg}^{0,75} \quad x = \text{Val-Aufnahme in mg/d/kg}^{0,75}$$

Der Valinbedarf wurde im N-Gleichgewicht ($y = 0$) berechnet und beträgt $0,023 \text{ g/d/kg}^{0,75}$. In Abbildung 12 ist die Regressionsgerade der Beziehung zwischen der Val-Aufnahme und der N-Bilanz graphisch dargestellt.

Tabelle 39: N-Bilanz der Valinstufen

| Bilanz [gN / kg ^{0,75} / d] | zugeführtes Valin [mg / kg ^{0,75} / d] | | | |
|---|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | 23 n = 5 | 15 n = 4 | 9 n = 4 | 3 n = 2 |
| N-Aufnahme | 0,309 | 0,304 | 0,301 | 0,309 |
| N-Harn | 0,267 ± 0,028 ^b | 0,302 ± 0,020 ^{ab} | 0,313 ± 0,016 ^a | 0,331 ± 0,009 ^a |
| N-Kot | 0,036 ± 0,005 | 0,038 ± 0,009 | 0,039 ± 0,006 | 0,040 ± 0,009 |
| N-Bilanz | 0,006 ± 0,029 ^a | -0,035 ± 0,014 ^b | -0,057 ± 0,014 ^b | -0,063 ± 0,005 ^b |

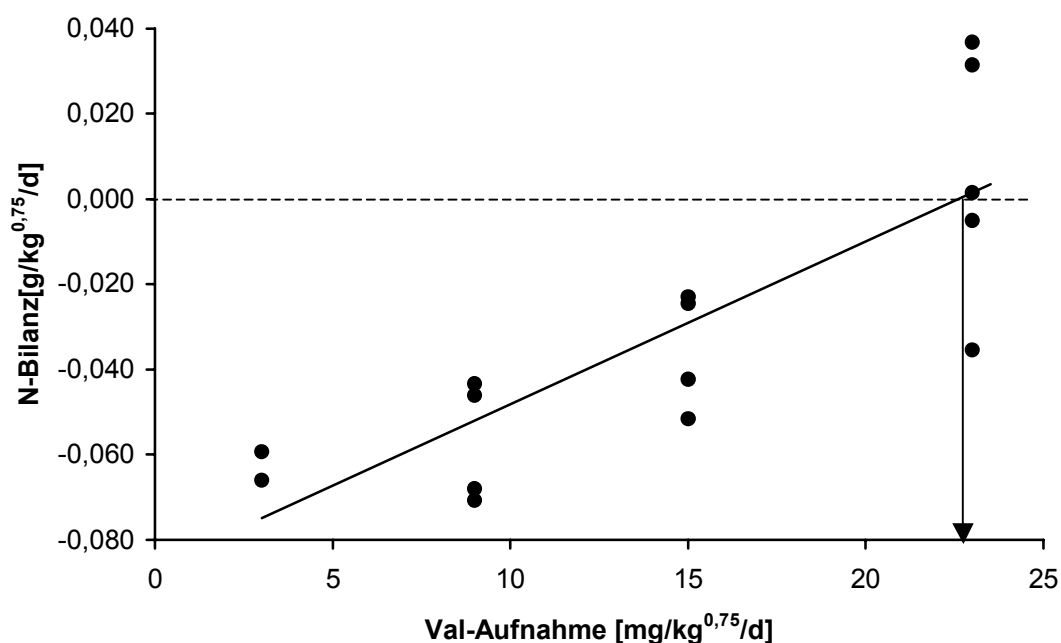


Abbildung 12: Beziehung zwischen der Val-Aufnahme und der N-Bilanz

3.4.11 Histidin

Durch die Zulage von Histidin zu dem Rationengemisch aus Lys 100, M+C 100 und Val 100 wurden folgende in Tabelle 40 aufgelistete Werte gemessen. Histidin zeigte keinen positiven Effekt auf die N-Bilanz. Die Bilanz wurde nicht positiver, sie blieb im Bereich des Nullpunktes. Die Harn-N-Ausscheidung war nicht geringer als bei den Vergleichswerten vom Versuchsbeginn.

3.4.12 N-freie Diät

Die Bilanzwerte der N-freien Diät wurden mit denen aller Anfangsrationen der Versuche, N 120, verglichen. Eine völlig N-freie Diät konnte aufgrund der Aminosäurereste in der Maisstarke nicht erreicht werden. Die tägliche Aufnahme der Ration N 120 lag bei $0,312 \pm 0,006$ g N/d/kg^{0,75}, die der Ration N 0 bei $0,004$ g N/d/kg^{0,75}. Die tägliche Harn-N-Ausscheidung fiel mit dem N-Input um 71 % auf $0,081 \pm 0,008$ g N/d/kg^{0,75}. Aus der Ration N0 resultiert der negativste Bilanzwert aller angestellten Messungen, nämlich $-0,116 \pm 0,008$ g N/d/kg^{0,75}. Die Futteraufnahme wurde durch den fehlenden Stickstoff der Ration N 0 nicht beeinflusst. Alle Mahlzeiten wurden von den Tieren vollständig aufgenommen. Die Kot-N-Ausscheidung blieb konstant. In Tabelle 41 sind die Werte aufgelistet.

Tabelle 40: N-Bilanz bei Histidinzulage

| Bilanz [gN / kg ^{0,75} / d] | Mittelwerte der vier Tiere ohne His | Rationsgemisch mit His |
|---|-------------------------------------|------------------------|
| N-Aufnahme | 0,313 | 0,317 |
| N-Harn | 0,255 ± 0,043 | 0,276 ± 0,013 |
| N-Kot | 0,040 ± 0,005 | 0,042 ± 0,009 |
| N-Bilanz | 0,018 ± 0,039 | -0,001 ± 0,006 |

Tabelle 41: N-Bilanz bei N-freier Diät

| Bilanz [g N / d/kg ^{0,75}] | Ration | |
|---|-----------------------------|-----------------------------|
| | N 120 n = 36 | N 0 n = 8 |
| N-Aufnahme | 0,308 ± 0,002 ^a | 0,004 ^b |
| N-Harn | 0,276 ± 0,021 ^a | 0,081 ± 0,008 ^b |
| N-Kot | 0,039 ± 0,004 | 0,039 ± 0,007 |
| N-Bilanz | -0,004 ± 0,021 ^a | -0,116 ± 0,008 ^b |

Setzt man einen linearen Zusammenhang zwischen der N-Aufnahme und der N-Bilanz voraus, ergibt sich die Regressionsgerade zur Bestimmung des N-Bedarfs mit folgender Formel.

$$y = 0,3630 x - 0,1172 \quad R^2 = 0,9287$$

$$y = \text{N-Bilanz in g/d/kg}^{0,75} \quad x = \text{N-Aufnahme in g/d/kg}^{0,75}$$

Der N-Bedarf berechnet sich bei einer N-Bilanz von 0 ($y = 0$) mit 0,323 g/d/kg^{0,75}.

3.5 Stoffwechselfparameter im Blut

In Tabelle 42 und Tabelle 43 sind die Gehalte der freien Aminosäuren, ihrer Stoffwechselfparameter und von Harnstoff zusammengefaßt dargestellt. Die Werte der depletierten Gruppen wurden mit einem Kontrollwert, der sich aus 14 Einzelwerten vom Beginn der Versuche zusammensetzt, verglichen (vgl. Kapitel 2.1.5.2). Allgemein konnte festgestellt werden, daß die Reduktion einer essentiellen Aminosäure zur Abnahme ihrer Konzentration im Blutplasma führte. Die Ausnahme bildet die Met+Cys- und Met-reduzierte Gruppe. Der Methioningehalt dieser Gruppen war statistisch nicht von der Kontrolle zu unterscheiden. Es konnte jedoch eine tendenzielle Erniedrigung des Werts festgestellt werden ($\alpha \leq 0,10$). In der Met+Cys Gruppe war, neben dem leicht erniedrigten Met-Gehalt, die Cys-Konzentration signifikant niedriger (-70 %) als die Kontrolle. Demgegenüber war in der Met-reduzierten Gruppe Cystein um 33 % erhöht. Der Gehalt an Taurin, einem Abbauprodukt des Cysteins, das als Gallensäurekonjugat fungiert, war in beiden Gruppen nicht von der Aminosäurereduktion beeinflusst. Daneben konnten erhöhte Gehalte anderer Aminosäuren gemessen werden. In der Met+Cys Gruppe waren dies Isoleucin (+100 %), Leucin (+66 %) und Phenylalanin (+53 %), in der Met Gruppe Asparagin (+100 %), Isoleucin (+140 %), Lysin (+65 %) und Ornithin (+23 %). Die Depletion mit Lysin hatte ausschließlich ein Absinken des Lysingehalts auf 30 % des Ausgangswertes zur Folge. Der Tryptophanmangel ließ sich an der Trp-Konzentration im Plasma sichtbar machen. Sie schrumpfte auf 23 % des Werts der Kontrolle zusammen. Abweichungen von der Kontrolle waren außerdem bei Cystein (+42 %), Histidin (+51 %), Isoleucin (+132 %) und Threonin (+47 %) abzusichern. Der Mangel an Phenylalanin und Tyrosin im Futter hatte, obwohl in der N-Bilanz kein Einfluß zu beobachten war, erniedrigte Gehalte dieser Aminosäuren im Plasma zur Folge. Die Phe-Konzentration nahm um 28 %, die von Tyr um die Hälfte ab. Darüber hinaus ergaben sich keine Unterschiede zu den Kontrollwerten. Im Vergleich zum Phe+Tyr Mangel, in dem der Plasmagehalt von Phe um 28 % sank, erniedrigte sich die Konzentration bei der alleinigen Reduktion von Phenylalanin im Futter um 79 %. Der Tyr-Gehalt war von der Phe-Reduktion nicht beeinflusst. Daneben waren ein um 37 % erhöhter Prolin- und ein um 43 % erhöhter Threoningehalt zu verzeichnen. Die Ile-Depletion beeinflusste nur den Ile-Gehalt im Plasma, der um 64 % erniedrigt war. Die Reduktion mit Leucin zeigte bei der Bestimmung der N-Bilanz keinen meßbaren Effekt. In den Aminosäurenkonzentrationen im Plasma konnte jedoch ein Einfluß des Mangels festgestellt werden. Außer dem erniedrigten Leucingehalt (-61 %) konnte ein Reihe weiterer Aminosäuren in abweichenden Konzentrationen vorgefunden werden. Die Gehalte an Alanin (+31 %), Isoleucin (+176 %), Methionin (+76 %), Prolin (+42 %), Threonin (+60 %), Tyrosin (+44 %) und Valin (379 %) waren signifikant erhöht. Die Stoffwechselfparameter im Blut bei

Valinmangel wurden nur an einem Tier untersucht. Unterschiede konnten im Valingehalt, der um 61 % erniedrigt war, und in den Konzentrationen von Leucin (+59 %), Phenylalanin (+44 %), Prolin (+42 %) und Threonin (+42 %) festgestellt werden. Bei der N-freien Diät machte sich der starke Rückgang der N-Zufuhr durch die Abnahme der Konzentration an Alanin (-49 %), Glutamin (-30 %), Glutaminsäure (-56 %) und Tryptophan (-31 %) bemerkbar. Außerdem war der Harnstoffgehalt auf 51 % des Ausgangswertes zurückgegangen. Die relativ zur Kontrolle große Varianz des Werts resultiert daraus, daß drei der fünf Tiere einen um 90 % erniedrigten, die anderen beiden einen im Kontrollbereich liegenden Harnstoffgehalt hatten.

Einen Hinweis auf einen, durch Aminosäure- oder N-Mangel verursachten, vermehrten Abbau von Muskel- oder Bindegewebe konnte nicht erkannt werden. Weder die Konzentration an 3-Methyl-Histidin, einer Aminosäure die im Muskel anzutreffen ist, noch an Hydroxyprolin, das ausschließlich im Bindegewebe eingebaut wird, war von der Kontrolle zu unterscheiden.

Tabelle 42: Gehalte an freien Aminosäuren, Harnstoff und Stoffwechselfparametern im Blutplasma 1

| AS im Plasma [μmol/l] | Kontrolle n = 14 | Lys- Reduktion n = 4 | M+C- Reduktion n = 3 | Met- Reduktion n = 4 | Trp- Reduktion n = 2 | P+T- Reduktion n = 3 |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Ala | 1513 ± 334 | 1353 ± 278 | 1026 ± 32 | 1839 ± 423 | 1197 ± 129 | 1364 ± 172 |
| Arg | 106 ± 23 | 112 ± 27 | 99 ± 8 | 96 ± 13 | 103 ± 21 | 112 ± 24 |
| Asn | 25 ± 6 ^b | 30 ± 2 ^b | 28 ± 3 ^b | 52 ± 13 ^a | 25 ± 2 ^b | 25 ± 4 ^b |
| Asp | 69 ± 41 | 76 ± 23 | 44 ± 10 | 78 ± 33 | 72 ± 16 | 58 ± 29 |
| Cys | 123 ± 29 ^b | 131 ± 12 ^b | 86 ± 10 ^d | 163 ± 15 ^a | 175 ± 15 ^a | 147 ± 5 ^b |
| Taurin | 96 ± 14 | 110 ± 27 | 112 ± 47 | 111 ± 25 | 98 ± 22 | 101 ± 32 |
| Gln | 605 ± 92 | 641 ± 27 | 603 ± 24 | 728 ± 102 | 548 ± 27 | 564 ± 78 |
| Glu | 227 ± 71 | 220 ± 46 | 125 ± 10 | 216 ± 58 | 165 ± 12 | 178 ± 70 |
| Gly | 523 ± 112 | 529 ± 105 | 600 ± 87 | 561 ± 113 | 419 ± 32 | 449 ± 120 |
| His | 57 ± 17 ^b | 62 ± 16 ^b | 62 ± 20 ^b | 57 ± 13 ^b | 86 ± 3 ^a | 82 ± 2 ^b |
| 1-Met-His | 6 ± 3 | 9 ± 3 | 11 ± 3 | 4 ± 3 | 5 ± 4 | 8 ± 2 |
| 3-Met-His | 29 ± 14 | 28 ± 4 | 32 ± 13 | 33 ± 22 | 55 ± 6 | 51 ± 36 |
| Carnosin | 29 ± 10 | 30 ± 7 | 20 ± 3 | 37 ± 7 | 25 ± 3 | 24 ± 6 |
| Ile | 50 ± 35 ^b | 65 ± 8 ^b | 100 ± 18 ^a | 120 ± 13 ^a | 116 ± 11 ^a | 85 ± 12 ^b |
| Leu | 82 ± 29 ^b | 117 ± 14 ^b | 136 ± 26 ^a | 76 ± 37 ^b | 115 ± 16 ^b | 120 ± 20 ^b |
| Lys | 158 ± 40 ^b | 48 ± 13 ^c | 205 ± 21 ^b | 260 ± 43 ^a | 213 ± 36 ^b | 203 ± 29 ^b |
| Met | 51 ± 11 | 55 ± 7 | 38 ± 4 | 37 ± 11 | 61 ± 7 | 52 ± 3 |
| Phe | 39 ± 11 ^b | 49 ± 7 ^b | 55 ± 10 ^a | 39 ± 7 ^b | 52 ± 2 ^b | 24 ± 9 ^c |
| Pro | 252 ± 41 | 271 ± 51 | 298 ± 53 | 300 ± 44 | 235 ± 28 | 299 ± 49 |
| OH-Pro | 34 ± 11 | 26 ± 9 | 31 ± 7 | 16 ± 7 | 35 ± 7 | 22 ± 11 |
| Ser | 155 ± 31 | 183 ± 70 | 183 ± 24 | 202 ± 42 | 148 ± 10 | 164 ± 37 |
| Thr | 227 ± 39 ^b | 255 ± 41 ^b | 303 ± 23 ^b | 276 ± 63 ^b | 334 ± 16 ^a | 293 ± 47 ^b |
| Trp | 13 ± 3 ^a | 12 ± 2 ^a | 9 ± 1 ^a | 15 ± 1 ^a | 3 ± 1 ^b | 13 ± 2 ^a |
| Tyr | 36 ± 10 ^a | 41 ± 7 ^a | 46 ± 7 ^a | 48 ± 1 ^a | 49 ± 4 ^a | 17 ± 4 ^b |
| Val | 166 ± 69 | 216 ± 9 | 242 ± 27 | 164 ± 39 | 212 ± 15 | 223 ± 26 |
| Harnstoff | 2050 ± 556 | 2500 ± 178 | 2681 ± 1050 | 2005 ± 478 | 2504 ± 504 | 2166 ± 319 |
| Citrullin | 90 ± 22 | 109 ± 20 | 109 ± 44 | 115 ± 17 | 71 ± 8 | 110 ± 16 |
| Ornithin | 77 ± 14 ^b | 75 ± 10 ^b | 67 ± 26 ^b | 95 ± 13 ^a | 77 ± 13 ^b | 71 ± 5 ^b |

Tabelle 43: Gehalte an freien Aminosäuren, Harnstoff und Stoffwechselfparametern im Blutplasma 2

| AS im Plasma [μmol/l] | Kontrolle n = 14 | Phe- Reduktion n = 3 | Ile- Reduktion n = 3 | Leu- Reduktion n = 3 | Val- Reduktion n = 1 | N-frei n = 5 |
|-----------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Ala | 1513 ± 334 ^b | 1603 ± 272 ^b | 1260 ± 173 ^b | 2020 ± 489 ^a | 1144 ± 1 ^b | 774 ± 236 ^c |
| Arg | 106 ± 23 | 81 ± 26 | 89 ± 21 | 136 ± 28 | 101 ± 1 | 86 ± 12 |
| Asn | 25 ± 6 | 35 ± 8 | 30 ± 7 | 31 ± 6 | 25 ± 1 | 20 ± 2 |
| Asp | 69 ± 41 | 64 ± 21 | 63 ± 15 | 72 ± 10 | 42 ± 7 | 49 ± 44 |
| Cys | 123 ± 29 | 151 ± 8 | 153 ± 21 | 141 ± 16 | 103 ± 6 | 147 ± 13 |
| Taurin | 96 ± 14 | 94 ± 3 | 104 ± 9 | 108 ± 8 | 94 ± 1 | 71 ± 23 |
| Gln | 605 ± 92 ^a | 631 ± 96 ^a | 582 ± 9 ^a | 642 ± 79 ^a | 571 ± 32 ^a | 423 ± 87 ^b |
| Glu | 227 ± 71 ^a | 183 ± 31 ^a | 168 ± 30 ^a | 220 ± 15 ^a | 120 ± 1 ^a | 99 ± 64 ^b |
| Gly | 523 ± 112 | 612 ± 153 | 514 ± 157 | 513 ± 65 | 653 ± 4 | 627 ± 242 |
| His | 57 ± 17 ^b | 93 ± 8 ^a | 79 ± 4 ^b | 80 ± 6 ^b | 78 ± 3 ^b | 82 ± 16 ^b |
| 1-Met-His | 6 ± 3 | 11 ± 2 | 9 ± 1 | 10 ± 2 | 11 ± 1 | 5 ± 5 |
| 3-Met-His | 29 ± 14 | 34 ± 4 | 33 ± 6 | 35 ± 7 | 26 ± 2 | 61 ± 30 |
| Carnosin | 29 ± 10 | 33 ± 5 | 30 ± 5 | 28 ± 5 | 39 ± 4 | 30 ± 5 |
| Ile | 50 ± 35 ^b | 81 ± 13 ^b | 18 ± 3 ^c | 138 ± 43 ^a | 68 ± 1 ^b | 81 ± 13 ^b |
| Leu | 82 ± 29 ^b | 100 ± 14 ^b | 93 ± 7 ^b | 32 ± 12 ^c | 130 ± 1 ^a | 104 ± 8 ^b |
| Lys | 158 ± 40 | 202 ± 25 | 190 ± 16 | 198 ± 40 | 190 ± 3 | 194 ± 29 |
| Met | 51 ± 11 ^b | 59 ± 11 ^b | 48 ± 9 ^b | 90 ± 15 ^a | 67 ± 2 ^b | 59 ± 14 ^b |
| Phe | 39 ± 11 ^b | 8 ± 6 ^c | 41 ± 1 ^b | 53 ± 2 ^b | 56 ± 1 ^a | 42 ± 7 ^b |
| Pro | 252 ± 41 ^b | 345 ± 66 ^a | 294 ± 24 ^b | 358 ± 39 ^a | 358 ± 8 ^a | 227 ± 30 ^b |
| OH-Pro | 34 ± 11 | 28 ± 8 | 26 ± 8 | 20 ± 8 | 36 ± 7 | 28 ± 10 |
| Ser | 155 ± 31 | 198 ± 32 | 138 ± 17 | 169 ± 26 | 173 ± 1 | 148 ± 33 |
| Thr | 227 ± 39 ^b | 325 ± 38 ^a | 265 ± 14 ^b | 364 ± 23 ^a | 322 ± 1 ^a | 175 ± 83 ^b |
| Trp | 13 ± 3 ^a | 14 ± 2 ^a | 11 ± 2 ^a | 14 ± 1 ^a | 14 ± 1 ^a | 9 ± 4 ^b |
| Tyr | 36 ± 10 ^b | 33 ± 4 ^b | 37 ± 7 ^b | 52 ± 8 ^a | 46 ± 1 ^b | 41 ± 10 ^b |
| Val | 166 ± 69 ^b | 196 ± 30 ^b | 183 ± 18 ^b | 795 ± 121 ^a | 65 ± 1 ^c | 132 ± 60 ^b |
| Harnstoff | 2050 ± 556 ^a | 2221 ± 429 ^a | 2624 ± 158 ^a | 1890 ± 708 ^a | 2962 ± 127 ^a | 1040 ± 1094 ^b |
| Citrullin | 90 ± 22 | 69 ± 5 | 102 ± 6 | 100 ± 17 | 86 ± 3 | 92 ± 15 |
| Ornithin | 77 ± 14 | 60 ± 8 | 70 ± 4 | 74 ± 9 | 57 ± 1 | 56 ± 7 |

Außer den Konzentrationen an freien Aminosäuren, ihren Metaboliten und Harnstoff wurde der Hämoglobingehalt im Vollblut bestimmt. In Tabelle 44 sind die ermittelten Werte zusammengefaßt. Weder die Depletion mit einer einzelnen Aminosäure noch der vollständige Entzug an Stickstoff zeigte Veränderungen im Hämoglobingehalt des Bluts. Die Werte lagen im Mittel bei 14,5 g/100 ml und damit im Normalbereich, der sich beim Schwein von 14 bis 17 g/100 ml bewegt.

Tabelle 44: Hämoglobingehalt im Vollblut

| | | Hämoglobingehalt [g/100ml] |
|------------------|--------|-------------------------------|
| Kontrolle | n = 13 | 15,2 ± 1,8 |
| Lys 0 | n = 4 | 16,2 ± 1,3 |
| Met+Cys 0 | n = 4 | 13,9 ± 2,7 |
| Met 0 | n = 4 | 13,5 ± 1,4 |
| Phe+Tyr 0 | n = 4 | 15,6 ± 1,5 |
| Phe 0 | n = 4 | 13,6 ± 1,5 |
| Trp 0 | n = 2 | 13,1 ± 1,5 |
| Ile 0 | n = 4 | 16,1 ± 1,1 |
| Leu 0 | n = 4 | 15,0 ± 1,1 |
| Val 0 | n = 1 | 13,0 |
| N 0 | n = 5 | 12,9 ± 1,4 |

3.6 Stoffwechselfparameter im Harn

In Tabelle 45 bis Tabelle 48 sind die täglich je kg metabolische Lebendmasse mit dem Harn ausgeschiedenen Mengen an Allantoin, Ammonium, Kreatinin und Harnstoff aufgeführt. Dabei wurde ein Einfluß eines Aminosäuremangels auf die Ausscheidungen untersucht. Die Reduktion von Threonin hatte keine signifikante Auswirkungen auf die Stoffwechselprodukte im Harn. Bei der Harnstoffausscheidung konnte aufgrund der hohen Streuung nur ein nominaler Anstieg von 79 % festgestellt werden. Auch die Lysindepletion zeigte keine signifikanten Effekte. Jedoch konnte ein tendenzieller Rückgang der Kreatininausscheidung erkannt werden ($\alpha = 0,095$). Diese tendenzielle Erniedrigung konnte auch bei der Met-Depletion und der Ile-Depletion ermittelt werden. Die Kreatininausscheidung sank auf 87 und 86 % des Ausgangswertes ($\alpha = 0,070$; $\alpha = 0,131$). Die anderen Parameter waren bei beiden Aminosäuren nicht beeinflusst. Die Met+Cys-Reduktion hatte einen signifikanten Anstieg der Harnstoffabgabe um 70 % zur Folge. Außerdem ging die Allantoinausscheidung tendenziell um 14 % zurück ($\alpha = 0,131$). Kreatinin und Ammonium waren von der Aminosäurenabsenkung nicht beeinflusst. Ein Anstieg der

Harnstoffausscheidung konnte auch bei der Reduktion von Phenylalanin festgestellt werden. Sie erhöhte sich um 18 %. Aufgrund der hohen Streuungen konnte bei der Trp-Depletion die Erhöhung der Harnstoffabgabe nicht signifikant gesichert werden. Der Trend einer Zunahme von 30 % konnte, mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,150$, jedoch erkannt werden. Desweiteren zeigte die Trp-Reduktion einen signifikanten Anstieg in der Allantoinausscheidung um 28 %. Die Depletionen von Leucin und Phenylalanin+Tyrosin zeigten auf keinen der Stoffwechselfparameter einen Einfluß. Da Valin in der Stufe 0 an nur einem Tier ermittelt werden konnte, konnten keine Aussagen über einen eventuellen Einfluß getroffen werden.

Tabelle 45: Ausscheidung von N-Stoffwechselprodukten im Harn bei Absenkung der Aminosäuren Threonin, Lysin und Methionin+Cystein

| Ausscheidungen der Stoffwechselprodukte | zugeführtes Threonin | | zugeführtes Lysin [mg / (kg ^{0,75} x d)] | | zugeführtes Methionin+Cystein | |
|---|----------------------|-------------|--|-------------|-------------------------------|---------------------------|
| | 53 | 0 | 39 | 3 | 49 | 3 |
| Allantoin [µmol / (kg ^{0,75} x d)] | 59 ± 7 | 49 ± 12 | 44 ± 5 | 41 ± 6 | 59 ± 13 | 51 ± 5 |
| Ammonium [µmol / (kg ^{0,75} x d)] | 1410 ± 989 | 967 ± 463 | 709 ± 249 | 718 ± 275 | 899 ± 435 | 712 ± 87 |
| Kreatinin [mmol / (kg ^{0,75} x d)] | 1,10 ± 0,04 | 1,10 ± 0,08 | 1,47 ± 0,32 | 1,12 ± 0,15 | 1,15 ± 0,10 | 1,09 ± 0,06 |
| Harnstoff [mmol / (kg ^{0,75} x d)] | 2,07 ± 0,08 | 3,70 ± 3,38 | 8,28 ± 3,86 | 7,70 ± 0,61 | 6,38 ± 0,67 ^b | 10,83 ± 0,70 ^a |

Tabelle 46: Ausscheidung von N-Stoffwechselprodukten im Harn bei Absenkung der Aminosäuren Methionin, Tryptophan und Phenylalanin+Tyrosin

| Ausscheidungen der Stoffwechselprodukte | zugeführtes Methionin | | zugeführtes Tryptophan [mg / (kg ^{0,75} x d)] | | zugeführtes Phenylalanin+Tyrosin | |
|---|-----------------------|-------------|---|---------------------|----------------------------------|-------------|
| | 11 | 1 | 13 | 0 | 39 | 3 |
| Allantoin [µmol / (kg ^{0,75} x d)] | 48 ± 3 | 47 ± 2 | 46 ± 6 ^b | 59 ± 9 ^a | 54 ± 12 | 51 ± 12 |
| Ammonium [µmol / (kg ^{0,75} x d)] | 1019 ± 196 | 839 ± 258 | 892 ± 122 | 810 ± 304 | 829 ± 216 | 744 ± 209 |
| Kreatinin [mmol / (kg ^{0,75} x d)] | 1,07 ± 0,11 | 0,93 ± 0,06 | 0,99 ± 0,08 | 0,98 ± 0,01 | 1,06 ± 0,09 | 1,04 ± 0,14 |
| Harnstoff [mmol / (kg ^{0,75} x d)] | 7,29 ± 0,20 | 7,23 ± 0,60 | 7,12 ± 1,49 | 9,27 ± 1,06 | 7,14 ± 1,28 | 8,33 ± 1,05 |

Tabelle 47: Ausscheidung von N-Stoffwechselprodukten im Harn bei Absenkung der Aminosäuren Phenylalanin, Isoleucin und Leucin

| Ausscheidungen der Stoffwechselprodukte | zugeführtes Phenylalanin | | zugeführtes Isoleucin [mg / (kg ^{0,75} x d)] | | zugeführtes Leucin | |
|---|--------------------------|--------------------------|--|-------------|--------------------|-------------|
| | 22 | 3 | 15 | 1 | 29 | 6 |
| Allantoin [μmol / (kg ^{0,75} x d)] | 54 ± 9 | 60 ± 16 | 47 ± 10 | 47 ± 6 | 49 ± 8 | 49 ± 3 |
| Ammonium [μmol / (kg ^{0,75} x d)] | 996 ± 289 | 938 ± 350 | 664 ± 168 | 738 ± 216 | 677 ± 136 | 667 ± 323 |
| Kreatinin [mmol / (kg ^{0,75} x d)] | 1,11 ± 0,11 | 1,07 ± 0,10 | 1,15 ± 0,14 | 0,99 ± 0,07 | 1,13 ± 0,14 | 1,07 ± 0,13 |
| Harnstoff [mmol / (kg ^{0,75} x d)] | 6,53 ± 0,51 ^b | 7,73 ± 0,31 ^a | 8,02 ± 0,64 | 8,80 ± 1,38 | 6,88 ± 0,55 | 7,23 ± 1,28 |

Tabelle 48: Ausscheidung von N-Stoffwechselprodukten im Harn bei der Absenkung der Aminosäure Valin und einer N-freien Diät

| Ausscheidungen der Stoffwechselprodukte | zugeführtes Valin [mg / (kg ^{0,75} x d)] | | zugeführter Stickstoff [mg / (kg ^{0,75} x d)] | |
|---|--|----------|---|--------------------------|
| | 23 | 3 | 0,312 | 0,004 |
| Allantoin [μmol / (kg ^{0,75} x d)] | 44 ± 6 | 42 ± 3 | 52 ± 7 | 60 ± 13 |
| Ammonium [μmol / (kg ^{0,75} x d)] | 1041 ± 651 | 504 ± 26 | 1015 ± 264 ^a | 379 ± 105 ^b |
| Kreatinin [mmol / (kg ^{0,75} x d)] | 1,10 ± 0,05 | 1,20 | 1,05 ± 0,13 | 0,99 ± 0,21 |
| Harnstoff [mmol / (kg ^{0,75} x d)] | 6,80 ± 1,10 | 8,85 | 6,74 ± 0,56 ^a | 0,41 ± 0,11 ^b |

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Depletion einer Aminosäure wenig Einfluß auf die Ausscheidung von Stoffwechselfparametern im Harn hat. Die ermittelten Werte ließen erkennen, daß der Mangel einer Aminosäure nicht unweigerlich zu einer Veränderung der Harnstoff- oder Ammoniumausscheidungen führt. Ebenso konnte kein Hinweis auf einen vermehrten Abbau von Muskelmasse über Unterschiede in der Kreatininausscheidung erhalten werden. Auch schien es keine allgemeingültigen Veränderungen im Purinabbau zu geben, die über die Allantoinausscheidung erkannt hätten werden können.

3.7 N- und Proteinverluste hochgerechnet über die ganze Versuchsdauer

Um eine Einschätzung zu den gesamten N- und Proteinverlusten über die Versuchsdauer zu bekommen, wurde anhand der gemittelten Bilanzwerte der jeweiligen Stufen auf den Gesamtverlust hochgerechnet. Am Beispiel von Lysin soll die verdeutlicht werden: Bei der Stufe Lys 100 ergab sich eine gemittelte Bilanz von $-0,003 \text{ gN/d/kg}^{0,75}$, multipliziert mit 6 Tagen ergibt sich ein N-Verlust von $-0,021 \text{ gN/kg}^{0,75}$. Die Bilanz der Stufen 60, 30 und 0 wurde mit 11 Tagen Bilanzdauer, gerechnet ab dem Tag der Umstellung auf diese Stufe, multipliziert. Daraus ergeben sich folgende in Tabelle 49 zusammengefaßte Werte.

Tabelle 49: Beispiel zur Berechnung des N- und Proteinverlustes

| Lysin Stufe im Futter | Bilanz [gN/d/kg ^{0,75}] | Dauer der Fütterung der Stufe [d] | N-Verluste [gN/kg ^{0,75}] |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 100 | -0,003 | 6 | 0,021 |
| 60 | -0,016 | 11 | 0,171 |
| 30 | -0,020 | 11 | 0,221 |
| 0 | -0,043 | 11 | 0,477 |
| Summe der Verluste [gN/kg^{0,75}] | | | 0,890 |
| N-Verlust bei 200 kg LM [g] | | | 47 |
| Proteinverlust bei 200 kg LM [g] | | | 296 |

Alle, auf diese Weise für jede Aminosäure errechneten Werte befinden sich in Tabelle 50. Die N-Verluste liegen zwischen 24 g und 137 g bei einer durchschnittlichen LM von 200 kg. Umgerechnet auf Protein liegen die Werte zwischen 148 g und 857 g.

Tabelle 50: N- und Proteinverluste über gesamte Versuchsdauer

| Untersuchte Aminosäure | N-Verlust bei 200 kg LM [g] | Proteinverlust bei 200 kg LM [g] |
|------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Threonin | 137 | 857 |
| Lysin | 47 | 296 |
| Methionin+Cystein | 113 | 708 |
| Methionin | 42 | 264 |
| Tryptophan | 118 | 740 |
| Phenylalanin+Tyrosin | 98 | 615 |
| Phenylalanin | 69 | 432 |
| Isoleucin | 134 | 840 |
| Leucin | 24 | 148 |
| Valin | 89 | 555 |

4 Diskussion

In der folgenden Diskussion wird zunächst auf die Nährstoffversorgung der Tiere eingegangen. Anschließend wird die Lebendmasseentwicklung erläutert. Ein weiterer Betrachtungspunkt sind die Stickstoffverluste über die Körperoberfläche. Im Hauptteil dieses Kapitels werden dann der Versuchsverlauf und die Auswirkungen der Limitierung einzelner essentieller Aminosäuren auf die N-Bilanz, auf die Gehalte freier Aminosäuren im Blutplasma und auf die Ausscheidung von N-Stoffwechselfparametern im Harn diskutiert.

4.1 Nährstoffversorgung und Verdaulichkeiten der Rationen

Bei der Rationsgestaltung war ein wichtiges Kriterium die Energieversorgung der Sauen. Es sollte sichergestellt werden, daß die Tiere mit Nährstoffen wie Zucker, Fett und Cellulose energetisch ausreichend versorgt waren, um zu verhindern, daß die in den Rationen enthaltenen kristallinen Aminosäuren zur Deckung des Energiebedarfs herangezogen werden mußten. Eine zu geringe Zufuhr an Nicht-Protein-Energie hat eine Erniedrigung der N-Retention zur Folge. Das heißt, daß Aminosäuren, die absorbiert wurden nicht zur Proteinsynthese, sondern zur Energiegewinnung genutzt werden. Die N-Retention ist somit nicht maximal möglich. Vor der Rationsberechnung mußte deshalb der Energiebedarf von ausgewachsenen Sauen abgeklärt werden. Der Bedarf an umsetzbarer Energie ausgewachsener Sauen in leicht produktiver Phase liegt bei $0,410 \text{ MJ ME/kg}^{0,75}$ (MÜLLER und KIRCHGESSNER 1979). Der Durchschnittswert ähnlicher Studien ergibt für die Erhaltung einen Wert von $0,414 \text{ MJ ME/kg}^{0,75}$ (WALACH-JANIAC et al. 1986; CLOSE et al. 1985; NOBLET and CLOSE 1980; HOLMES and MCLEAN 1974;). Aufgrund der Wichtigkeit der Energieversorgung wurde ein Sicherheitszuschlag hinzugezählt, die verabreichte Energie sollte $0,45 \text{ MJ ME/kg}^{0,75}$ betragen. Dieser Wert wurde dann zur Gestaltung der Rationen herangezogen, um einen Energiegehalt im Futter festzulegen, der für die Sauen angemessene Futtermengen zuließ. Der Gehalt, der für die Berechnung der Rationszusammensetzung vorgegeben wurde, war $13 \text{ MJ ME je kg Futter}$. Daraus ergaben sich Futtermengen von ca. 2 kg/d je Tier . Die mit dem Bombenkalorimeter gemessenen Energiegehalte von Futter und Kot ergaben einen um $3,5 \%$ höheren Gehalt an umsetzbarer Energie als angenommen. Die durchschnittliche Energieaufnahme je Tier und Tag war somit um $4,4 \%$ höher im Vergleich zum berechneten Wert.

Die Verdaulichkeit der Energie wurde von der Reduktion einer Aminosäure im Futter nicht beeinflußt und lag durchschnittlich bei $93,6 \%$. Das ergaben die Energiemessungen von Futter und Kot.

Futterprotein kann für die Proteinsynthese erst dann genutzt werden, wenn es zu freien Aminosäuren oder kleinen Peptiden verdaut und im Dünndarm über verschiedene Transporter ins Darmepithel absorbiert wurde. Es gibt einige Faktoren, die die Verdaulichkeit der Aminosäuren im Dünndarm beeinflussen. Ein steigender Anteil an Rohfaser in der Ration verringert die scheinbare Verdaulichkeit vom Stickstoff. In einer Studie wurde ausgewachsenen Sauen zu einer Basaldiät steigende Anteile Cellulose verfüttert. Die Cellulose erniedrigte die scheinbare N-Verdaulichkeit um 3 % je 100 g Zugabe. Die N-Retention war durch die gegenteilige Wirkung auf die Harn-N-Ausscheidung nicht beeinflusst (KREUZER et al. 1991). Ein weiterer Punkt zur Aminosäureverdaulichkeit ist die Konkurrenz von Aminosäuregruppen um denselben Transporter. Außerdem können Faktoren aus pflanzlichen Futterkomponenten, wie z.B. Trypsininhibitoren, den Proteinabbau hemmen. Fehler bei der Lagerung oder Hitzebehandlung der Futtermittel können, durch die Maillard-Reaktion von Aminosäuren mit Aldehydgruppen der Zuckerkomponenten, eine niedrigere Verdaulichkeit der Aminosäuren zur Folge haben. Vom Bedarf der Tiere ist die Proteinverdauung und Aminosäureabsorption dagegen nicht beeinflusst (Harper 1974). Jedoch werden die absorbierten Aminosäuren bei einem niedrigeren Ernährungsniveau effektiver genutzt (HEGER et al. 1985; FORBES et al. 1958;). In den Diäten der vorliegenden Studien waren synthetische Aminosäuren die einzige N-Quelle im Futter. Die ileale Verdaulichkeit dieser Aminosäuren wird als 100 % angenommen (WANG 1988). Die scheinbare N-Verdaulichkeit war in den vorliegenden Versuchen bei 87 %. Da die Kot-N-Ausscheidungen der proteinfreien Diät gleich denen der adäquaten N-Versorgung waren, kann eine 100 %ige Absorption der Aminosäuren angenommen werden.

Der Rohproteinbedarf von Sauen wird mit 2,5 g/kg metabolische Lebendmasse angegeben (GfE 1987). Das entspricht einem N-Bedarf von 0,40 g N/kg^{0,75}. In einer zusammenfassenden Arbeit wurden durch Extrapolation verschiedener N-Bilanzmessungen an Schweinen unterschiedlicher Gewichtsbereiche ein N-Erhaltungsbedarf von 0,246 g N/d/ kg^{0,75} errechnet (CARR et al. 1977). Bei wachsenden Schweinen ist der N-Verlust bei der Verfütterung einer N-freien Diät 0,268 g/d/kg^{0,75} (FULLER et al. 1989). Schweine im Gewichtsbereich von 140-150 kg erreichen bei N-freier Ernährung eine N-Bilanz von -3,56 gN/d, das entspricht N-Verlusten zwischen 0,083 und 0,087 gN/d/kg^{0,75} (BAKER 1966a). Da sich die in der Literatur befindlichen Werte zum Proteinbedarf auf praktische Rationszusammensetzungen mit hauptsächlich pflanzlichen Proteinquellen beziehen, wurde für diese Untersuchungen folgendermaßen verfahren. Zur Rationsgestaltung dieser Versuche wurde sich an dem N-Verlust bei proteinfreier Ernährung von FULLER et al. (1989) orientiert (268 gN/d/kg^{0,75}). Er fand heraus, daß die Zugabe von 0,250 gN/d/kg^{0,75} bei vorangegangener N-freier Ernährung einen Anstieg der Bilanz um denselben Wert hatte. Daraufhin wurde daraus gefolgert, daß 0,268 gN/d/kg^{0,75} N-Aufnahme offensichtlich zum Erreichen eines Bilanzgleichgewichts ausreichen. Der wahre N-Bedarf für

die in diesen Untersuchungen verwendeten Sauen sollte möglichst exakt getroffen werden, um zu vermeiden, daß bei einer N-Übersorgung die Aktivität des N-Stoffwechsel angekurbelt wird. Die N-Aufnahme der Tiere sollte mit einem Sicherheitszuschlag von 20 % auf 0,268 gN/d/kg^{0,75} bei 0,322 gN/d/kg^{0,75} liegen. Dieser Wert ergab sich ebenfalls wenn man den Rohproteinbedarf nach GfE (1987) mit einer praxisüblichen Verdaulichkeit von 80 % multiplizierte. Bei der Untersuchung der Futter ergaben sich N-Aufnahmen von $0,262 \pm 0,004$ gN/d/kg^{0,75} für die Threonin-Rationen (kein Sicherheitszuschlag) und $0,312 \pm 0,005$ gN/d/kg^{0,75} für alle anderen Rationen. Bei der Betrachtung der Regression aus den Bilanzen der N-freien und N-adäquaten Diät wurde allerdings festgestellt, daß die errechnete notwendige N-Zufuhr um eine, sich im Gleichgewicht befindende, Bilanz zu erreichen bei 0,323 gN/d/kg^{0,75} liegt. Das bedeutet, daß eine um 3,4 % zu geringe Versorgung mit Stickstoff vorlag. Bei den Threoninrationen wurden 18,9 % zu wenig Stickstoff verabreicht. Bei der Betrachtung der N-Bilanzen der Rationen AS100 fällt jedoch auf, daß der über alle Rationen gemittelte Wert (-0,004 gN/d/kg^{0,75}) sich praktisch auf der Nullmarke befindet, das heißt eine ausgeglichene Bilanz anzeigt. Von einer echten N-Unterversorgung kann deshalb, außer bei Threonin, abgesehen werden.

4.2 Lebendmasseentwicklung

Bei der Lebendmasseentwicklung der Sauen während der Versuche konnten leichte Gewichtserhöhungen, die jedoch nicht statistisch absicherbar waren, bemerkt werden. Diese Zunahmen resultieren vermutlich aus der Übersorgung mit Energie, die, wie in Kapitel 4.1 beschrieben wurde, notwendig war. Außerdem ist die Wägung der Sauen eine Messung, die mit einigen Fehlern behaftet sein kann. Trotz der Einhaltung des Wägetermins (13 h mittags) kann es durch unterschiedliches Abharnen und -koten zu ausschlaggebenden Differenzen im Sauengewicht kommen. Die gemessenen Anstiege in der LM wirkten sich nicht auf Berechnungen der N-Bilanzdaten aus und wurden deshalb vernachlässigt.

4.3 Versuchsablauf

Zum Versuchsablauf dieser Untersuchungen stellten sich folgende Fragen: Wieviel Zeit benötigt der Stoffwechsel der Sauen, um sich von einer praxisüblichen Gerste-Soja-Ration auf eine chemisch definierte Diät umzustellen? Wie lange dauert es bei chemisch definierten Diäten bis die N-Ausscheidungen sich nach der Umstellung auf eine Ration, in der eine Aminosäure reduziert wurde, auf das neue Niveau einpendeln?

In einer Studie an niedertragenden Sauen wurde die Veränderung der Harn-N-Ausscheidung bei der Umstellung von einer praxisorientierten Diät (Gerste, Weizen, Soja, Fischmehl) mit einem hohen Rohproteingehalt von 38 % auf eine N-freie Ration (Maisstärke, Zucker, Heweten, Speiseöl) untersucht. Dabei wurde festgestellt, daß sich die Harn-N-Ausscheidung 60 Stunden nach der Umstellung auf ein konstantes niedriges Niveau eingestellt haben (HERRMANN und SCHNEIDER 1981). In einer anderen Untersuchung an wachsenden Schweinen wurde ebenso nach der Umstellung von einer adäquaten auf eine Lysin-depletierte Ration ab dem zweiten Tag nach der Umstellung keine Veränderungen in der Harn-N-Ausscheidung festgestellt (BROWN and CLINE 1974). Bei einem Wechsel von einer synthetischen adäquaten auf eine Valin-depletierte Diät war der Anstieg der Harn-N-Ausscheidung sogar ab dem ersten Tag der Umstellung konstant auf dem gleichen Niveau (WANG 1988). Diese in der Literatur beschriebenen Ergebnisse werden von der vorliegenden Studie bestätigt. Bei der Bestimmung des Threoninbedarfs wurden die Harn-N-Ausscheidungen einer Threoninstufe nicht komplett sondern aufgeteilt in zwei bis drei gepoolte Bilanztage erfaßt (vgl. Kapitel 3.4). Nach der Umstellung von der Ration Thr50 auf Thr 25 konnte bei den ersten drei gepoolten Bilanztagen eine signifikante Erhöhung der N-Ausscheidung registriert werden, die sich in den folgenden Tagen nicht mehr veränderte. In Tabelle 51 sind die ermittelten Werte aufgeführt. An den Bilanztagen 27-31, an denen die Ration Thr50 verfüttert wurde, wurde kein Harn gesammelt.

Tabelle 51: Zeitlicher Verlauf der Harn-N-Ausscheidungen nach Diätumstellung

| | zugeführtes Threonin 31 mg/d/ kg ^{0,75} | | | | zugeführtes Threonin 17 mg/d/ kg ^{0,75} | | |
|---------------------------------|--|----------------------|----------------------|----------------------|--|----------------------|----------------------|
| | gepoolte Bilanztage | | | | gepoolte Bilanztage | | |
| | 18-20 | 21-22 | 23-25 | 26-27 | 32-34 | 35-37 | 38-40 |
| N-Harn | 0,235 | 0,244 | 0,249 | 0,224 | 0,282 | 0,279 | 0,290 |
| [gN/d/kg^{0,75}] | ± 0,020 ^a | ± 0,011 ^a | ± 0,015 ^a | ± 0,010 ^a | ± 0,011 ^b | ± 0,021 ^b | ± 0,008 ^b |

Für die Gestaltung des Versuchsverlaufs bedeutet das, daß unter diesen Versuchsumständen eine Adaptationszeit auf eine neue Versuchsrations von drei Tagen auf alle Fälle ausreichend wäre. Um die Tiere bei der Harnsammlung mit dem Blasenkateter nicht übermäßig zu beanspruchen wurde die Einstellungsphase auf eine neue Diät in Versuch 3 auf fünf Tage festgelegt. Diese Zeit reichte offensichtlich für eine Regeneration zwischen zwei Sammelperioden nicht aus, Entzündungen der Blase und des Harnleiters waren die Folge. Auf Grund dessen wurde in den folgenden Versuchen die Adaptationszeit auf neun Tage erhöht und die Sammeldauer um einen Tag auf fünf Tage verkürzt.

Für die Umstellung am Beginn jedes Versuchs von der Gerste-Soja-Ration auf die hochverdauliche Versuchsdiät wurden 14 Tage veranschlagt. Dieser Zeitraum stellte sicher, daß sich keine Gerste-Soja-Ration mehr im Verdauungstrakt der Tiere befand.

4.4 Stickstoff- und Aminosäurenstoffwechsel im Erhaltungsbedarf

Protein- und Aminosäurenbedarfswerte sind eine Funktion des Stoffwechselbedarfs und der Effektivität, mit der eine Diät genutzt werden kann, um den Stoffwechselbedarf zu decken. Der Erhaltungsbedarf an Aminosäuren von adulten Monogastern, wie Mensch, Schwein, Ratte, wird von zwei Komponenten gebildet, nämlich von den obligatorischen Verlusten, die fix sind und sich nicht verändern, und von den adaptiven Verlusten, die variabel sind.

Damit gibt es einen obligatorischen Stoffwechselbedarf, der sich aus der Proteinsynthese für Gewebeprotein, der Synthese von Nicht-Protein-Produkten und den Recyclingverlusten aus dem Proteinturnover zusammensetzt. Der Bedarf für die Proteinsynthese wird für einen adulten Organismus, in dem kein Wachstum stattfindet, von nicht sehr großer Bedeutung sein, da sich die Proteinsynthese auf die Bildung von Haut, Haaren und verschiedenen Sekreten beschränkt. Normalerweise beträgt der Anteil der Proteinsynthese am Gesamtstoffwechselbedarf in der Erhaltung weniger als 10 %. Ebenso fallen die Verluste beim Recycling von Aminosäuren aus dem Proteinturnover nicht hauptsächlich ins Gewicht. Den größten Anteil am Bedarf bildet die Synthese von Nicht-Protein-Produkten, wie Nucleinsäuren und kleinerer Moleküle, wie Kreatin, Taurin, Catecholamine, Thyroxin, Serotonin oder Dopamin. Während die Aminosäurezusammensetzung, die für die Synthese von Gewebeprotein benötigt wird, bekannt ist, kann für das benötigte Aminosäuremuster zur Herstellung der Nicht-Protein-Produkte keine Aussage getroffen werden. Insgesamt kann der obligatorische Stoffwechselbedarf, natürlich inclusive der den Methoden angehafteten Fehlern, jedoch bestimmt werden.

Der adaptive Stoffwechselbedarf an Aminosäuren spiegelt sich in den „labilen Proteinreserven“ eines Organismus wider. Die labilen Proteinreserven sind Proteine, die bei der Zufuhr eines Proteinüberschusses synthetisiert und bei Bedarf an Aminosäuren wieder schnell mobilisiert werden können. Sie bilden mit den freien Aminosäuren im Körper einen Pool, der Aminosäuren für die verschiedenen Synthesen, wie Körperproteinaufbau, Bildung von Hormonen, biogenen Aminen usw., bereitstellt. Wird von einer normalen Proteinversorgung auf eine proteinfreie Diät umgestellt, so fällt die Harn-N-Ausscheidung ab, bis sie ein konstantes, niedriges Niveau erreicht hat. Dazwischen ergibt sich allerdings eine Phase, in der die N-Bilanz negativ ist und die aus der Mobilisierung der Proteine der „labilen Proteinreserven“ resultiert. Dieser Proteinpool ist von der Proteinaufnahme beeinflusst. Nach dem Füttern in der postprandialen Phase wird abhängig von der Proteinzufuhr, die größer ist als der obligatorische

Stoffwechselbedarf, Protein angesetzt, das in der postprandialen und postabsorptiven Phase wieder abgebaut wird. Je größer die Proteinzufuhr, desto größer ist die angesetzte Proteinmenge und desto größer sind auch die Proteinverluste. Außerdem hängt die Menge an postprandial angesetztem Protein von der Aminosäurezusammensetzung der Diät ab. Denn je ungünstiger das Muster an zugeführten Aminosäuren, desto weniger Protein wird angesetzt und somit sinken auch die postabsorptiven Verluste. Das Aminosäurenmuster für die adaptive Komponente des Stoffwechselbedarfs kann nicht vorhergesagt werden, da es von zu vielen Faktoren abhängt, wie dem täglichen Rhythmus von Füttern und Hungern, unterschiedlichen Poolgrößen und Oxidationsraten einzelner Aminosäuren und der schon oben genannten Aminosäurezusammensetzung der Diät.

Durch die komplexen Zusammenhänge im N-Stoffwechsel ist es also schwer einen gesamten Stoffwechselbedarf für Aminosäuren zu ermitteln. Die obligatorische Komponente kann jedoch, natürlich inklusive der an den Methoden behafteten Fehler, bestimmt werden. Eine Methode stellt die Bestimmung der obligatorischen oxidativen Verluste dar. Bei proteinfreier Ernährung stellt sich nach der Adaptation an die neue Situation ein konstant niedriger N-Verlust ein, der als obligatorischer N-Verlust bezeichnet wird. Das Aminosäurenmuster dieses obligatorischen N-Verlusts sind die obligatorischen oxidativen Verluste an Aminosäuren, die somit den minimalen Bedarf des Stoffwechsels darstellen. Eine weitere Möglichkeit sind Messungen mit stabilen Isotopen-Techniken, bei denen Aminosäuren mit einem ^{13}C -Atom markiert sind. So kann man entweder die markierte Aminosäure selbst oder über eine Indikatoraminosäure den Stoffwechsel einer anderen Aminosäure verfolgen und den Bedarf bestimmen. Die dritte Methode zur Bestimmung des obligatorischen Aminosäurenbedarfs ist die N-Bilanz. Hier wird mit abgestufter Zufuhr an einer Aminosäure bei einer adäquaten Proteinzufuhr der Punkt gesucht, bei dem sich die N-Bilanz im Gleichgewicht befindet. (MILLWARD 1998;)

In den folgenden Kapiteln wird nun genauer auf die Verluste an Aminosäuren im Stoffwechsel eingegangen, die unausweichlich sind und somit zu den obligatorischen Verlusten zählen.

4.4.1 Oxidative Verluste an Aminosäuren

Der Proteinturnover stellt die dynamische Balance zwischen Proteinsynthese und –abbau dar. Im Erhaltungsbedarf von ausgewachsenen Tieren herrscht ein Gleichgewicht zwischen Proteinsynthese und –abbau, das den Proteinpool den Körpers konstant hält. Der Proteinturnover in der Erhaltung bezogen auf das metabolische Körpergewicht in Säugetieren ist relativ konstant bei $16 \text{ g Protein/kg}^{0,75}/\text{d}$ (MILLWARD und GARLICK 1977). Die Hauptaufgaben des Proteinturnovers in diesem steady state bestehen darin,

Adaptationsmechanismen zu ermöglichen, die für normale physiologische Funktionen nötig sind. Die Möglichkeit schnell die Menge und Aktivität spezifischer Enzyme zu ändern, oder die Entfernung fehlerhafter oder anderer Proteine, die zelluläre Funktionen stören, sind in diesem Zusammenhang von großer Wichtigkeit. Desweiteren müssen Stoffwechselprodukte wie Hormone, biogene Amine, Purine und Pyrimidine gebildet werden. Von der Aufgabe der gebildeten Proteine hängt nun ihre Lebensdauer ab. Proteine mit mechanischen Aufgaben (z.B. Muskel) sind langlebig und Proteine des Energietransfers dagegen sehr kurzlebig. Messungen von fraktionellen Proteinturnoverraten einzelner Gewebe und Organe im wachsenden Schwein zeigen, daß z.B. das Leberprotein zu mehr als 100 % im Lauf eines Tags erneuert wird, während im Muskel nur 10 % ausgetauscht wird (SIMON et al. 1978). Bei jedem Proteinabbau unterliegt ein Teil der freigesetzten Aminosäuren der Oxidation. Dieser obligatorische N-Verlust an Aminosäuren ist umso größer, je höher der Anteil der Proteinsynthese für Proteine mit hoher Turnoverrate im Vergleich zu Proteinen mit niedriger Umsatzrate ist. Beim ausgewachsenen Tier ist dieser Verlust folglich höher als beim wachsenden, da die Synthese schnelllebiger Proteine die der langlebigen, durch den Wegfall des Proteinansatzes (positive N-Bilanz), überträgt. Das Verhältnis der Proteinsyntheseraten für die verschiedenen Körperproteine ist eine wichtige Regelgröße für den N-Umsatz im Intermediärstoffwechsel. Bei der Betrachtung einiger Poolgrößen verschiedener Körperproteine (RIIS 1983) fällt beim wachsenden Tier die überragende Bedeutung des Muskelproteins auf. Durch den großen Anteil an der Körpermasse erreicht der Muskel, trotz relativ geringer Syntheseraten, 35 % des absolut vom Gesamtkörper synthetisierten Proteins. Zählt man die Menge an produziertem Protein in Leber, Plasma und Verdauungstrakt zusammen, so übersteigt sie die Menge im Muskel um 40 %. Diese drei Proteinfractionen, die die entscheidenden Proteine beinhalten, die das Leben selbst charakterisieren, leisten keinen Beitrag zur positiven N-Bilanz. Sie werden fast gänzlich wieder abgebaut. Mit zunehmendem Alter wird das Verhältnis von Proteinansatz zu Proteinsynthese immer kleiner (KANG et al. 1985a; KANG et al. 1985b; GOLDSPINK und KELLY 1984;) und geht beim ausgewachsenen Tier gegen null. Außerdem ist ein Rückgang der Synthese auf ein Drittel des Werts beim wachsenden Tier zu beobachten (GOLDSPINK und KELLY 1984). Folglich dürfte der Anteil der gebildeten Proteine in Leber, Plasma und Verdauungstrakt am gesamten synthetisierten Protein bei ausgewachsenen Tieren im Erhaltungsbedarf noch größer werden.

Die N-Aufnahme beinhaltet bei Monogastriden im Wesentlichen eine Eiweißaufnahme. Die aus der Hydrolyse durch die Proteasen im Verdauungstrakt gewonnenen Aminosäuren werden über verschiedene Transportsysteme in die Zellen der Dünndarmschleimhaut aufgenommen. Die wenigsten dieser Transportsysteme lassen Spezifitäten gegenüber einzelnen Aminosäuren erkennen. Darüber hinaus verbergen sich hinter den Systemen meist mehrere Carrierproteine

mit ähnlicher Funktion. Für die Aufnahme der Aminosäuren werden von den meisten Transportern zelleinwärts gerichtete Na^+ -Gradienten genutzt. Die absorbierten Aminosäuren gelangen über die Pfortader in die Leber und somit in den sogenannten Aminosäurenpool. Auch die aus dem Proteinabbau im Körper stammenden Aminosäuren wandern in diesen Pool. Aus diesem Pool werden die Aminosäuren zur Proteinsynthese genutzt, oxidiert und für die Gluconeogenese herangezogen, oder zum Aufbau von Metaboliten wie Hormonen, aktiven Aminen, Purinen und Pyrimidinen verwendet. Für die meisten Aminosäuren, und speziell für die essentiellen Aminosäuren, sind die Proteinsynthese und der -abbau die Wege von quantitativer Bedeutung. Der Stoffwechsel der Aminosäuren hängt von ihrer Konzentration im Verhältnis zur Michaeliskonstanten und der Menge der am Stoffwechsel beteiligten Enzyme ab (HARPER et al. 1983; KANG-LEE und HARPER 1977, 1978;). So wurde herausgefunden, daß die K_m -Werte der AS-aktivierenden Enzyme kleiner sind als die der AS-abbauenden, was darauf hinweist, daß Aminosäuren bevorzugt zur Proteinsynthese verwendet werden. Und weil es keine Speichermechanismen für Aminosäuren gibt, die nicht zur Proteinsynthese genutzt werden können, ist die Oxidation die einzige Möglichkeit diese zu beseitigen. In vielen Experimenten wurde gezeigt, daß eine Erhöhung der Zufuhr an balancierten Proteinen die Abbauege aller Aminosäuren stimuliert. Außerdem wurde festgestellt, daß wenn eine Aminosäure in steigenden Mengen zu einer Diät gegeben wird, die einen Mangel an dieser Aminosäure hat, die Oxidationsrate dieser Aminosäure solange vermindert ist, bis ihr Gehalt in der Diät den Bedarf deckt. Gaben über den Bedarf hinaus lassen die Oxidationsraten stetig steigen (BERGNER et al. 1987; SIMON et al. 1978b; KANG-LEE und HARPER 1977; NEWPORT et al. 1976; BERGNER und KRIEGHOFF 1975; BROOKES et al. 1972;).

Der tägliche Proteinturnover und die damit verbundene Proteinsynthese ist ca. fünfmal größer als die Proteinaufnahme. Das bedeutet, daß Aminosäuren, die aus dem Proteinabbau des Körpers freigesetzt werden nicht unumgänglich oxidiert, sondern zur Proteinsynthese wiederverwertet werden. Durch den Vergleich der Rate an Aminosäuren, die durch den Proteinabbau frei werden mit der Menge an Aminosäuren die dem Körper durch Oxidation und Exkretion verlorengehen, kann das Recycling dargestellt werden. Die Wiederverwertung der einzelnen Aminosäuren ist nicht an den Abbauort gebunden. Anders als beim internen Recycling, bei dem die Aminosäure in derselben Zelle bleibt, findet beim externen Recycling ein Austausch zwischen den Geweben statt. Beide Vorgänge laufen parallel im Körper ab. Der Recyclingprozess von Aminosäuren wird durch viele Faktoren beeinflusst, wie:

- * die Höhe der täglichen Proteinaufnahme
- * die Aminosäure selbst
- * der physiologischen Status des Tiers.

In Untersuchungen von PICOU und TAYLOR-ROBERTS (1969) an Kindern wurde gezeigt, daß je höher die tägliche Proteinaufnahme, desto geringer ist die Wiederverwertung der Aminosäuren. Der gegenteilige Effekt wurde an wachsenden Ratten beobachtet, deren Reutilisierungsrate bei der Aufnahme von Niedrig-Protein-Diäten stieg (KRAWIELITZKI 1980). Der Grund für diese Reaktionen ist die Zu- oder Abnahme der Oxidation der Aminosäuren, die wiederum aus Anpassungen der Synthese an proteinabbauenden Enzymen resultieren. Die Zufuhr an Aminosäuren verschlechtert die Recyclingrate der körpereigenen Aminosäuren besonders dann, wenn das Muster der resorbierten essentiellen Nahrungsaminosäuren vom Aminosäuremuster der Körperproteine stark abweicht. Eine analog schlechte Verwertung gilt dann auch für die Nahrungsaminosäuren bzw. für das Nahrungsprotein selbst (BERGNER 1989). Desweiteren ist die Wiederverwertung von der Aminosäure selbst abhängig. So wurden im wachsenden Schwein bei der Verabreichung der selben Diät für die Aminosäuren Methionin (95 %) und Lysin (81 %) unterschiedliche Raten gefunden (KRAWIELITZKI 1980). Das Recycling von Aminosäuren kann mit dem Verhältnis Proteinsynthese zu Proteinzufuhr dargestellt werden. Betrachtet man diesen Quotienten in unterschiedlich alten Menschen so wird festgestellt, daß die Wiederverwertung mit zunehmendem Alter größer wird. Proteinsynthese und Proteinzufuhr nehmen zwar beide, jedoch die Proteinsynthese nicht in dem Maß ab (YOUNG und SCRIMSHAW 1977). Zusammenfassend kann gesagt werden, daß unter normalen Bedingungen 80 % der Aminosäuren die aus dem Proteinabbau freigesetzt werden für die Proteinsynthese wiederverwendet werden. Bei Niedrig-Protein-Diäten kann diese Rate auf 95 % steigen. Die Konsequenz aus den Betrachtungen ist, daß wenn eine Aminosäure effektiv recycled wird, ihr Bedarf niedrig ist und umgekehrt (WATERLOW et al. 1978).

Kommt es zu einem Minimum an einer einzigen essentiellen Aminosäure, so kann die Eiweißsynthese nicht optimal ablaufen, da die genetische Kodierung mit der Aminosäuresequenz auch die quantitativen Verhältnisse zwischen den Aminosäuren festlegt. Ein Überschuß an einer einzelnen Aminosäure kann die optimale Eiweißsynthese auch beeinträchtigen, da es zum Konkurrieren im Transportmechanismus kommt und andere biochemische Funktionen der Proteinbiosynthese ebenfalls beeinträchtigt werden. Allgemein spricht man von Imbalancen, wenn es für einzelne Aminosäuren starke Abweichungen zwischen dem Bedarf und den zugeführten Aminosäuren gibt. Sie können sich auf die Futteraufnahme und die Futtermittelverwertung auswirken.

Aminosäureantagonismen ergeben sich aus Interaktionen strukturähnlicher Aminosäuren, woraus negative Effekte, wie verminderte Nutzung von verwandten Aminosäuren, entstehen können. Der Antagonismus verzweigtkettiger Aminosäuren könnte Einfluß auf den Bedarf

dieser Aminosäuren für die Erhaltung haben. Näheres hierzu erfolgt in den Diskussionskapiteln dieser Aminosäuren.

Sinkt die biologische Wertigkeit eines Nahrungsproteins, z.B. durch den Mangel an einer Aminosäure, werden die überschüssigen Aminosäuren aus Futter und vermehrtem Proteinabbau oxidiert. Die NH_2 -Gruppen dieser Aminosäuren erhöhen die Harnstoffsynthese im Ornithincyclus. Die Aktivität der Enzyme, die an diesem Cyclus beteiligt sind, die Ornithin-Carbamoyl-Transferase und die Arginase (in Lebergewebe und Blut), muß sich folglich erhöhen. BERGNER et al. (1968) konnten beweisen, daß die Arginaseaktivität im Blutserum von Schweinen ansteigt, wenn Proteine mit abnehmenden biologischer Wertigkeit verfüttert werden. Die steigende Harnstoffsynthese hatte auch steigende Gehalte im Bluserum zur Folge (MÜNCHOW und BERGNER 1967). Bei proteinarmer und proteinfreier Ernährung sinkt die Arginaseaktivität drastisch ab, der Ornithincyclus wird durch den Mangel an Stickstoff wenig in Anspruch genommen (BERGNER 1989).

4.4.2 Endogene Aminosäurenverluste

Im Gegensatz zum Leistungsbedarf an Aminosäuren sind für die Erhaltung die endogenen Aminosäurenverluste von großer Wichtigkeit. Der Bedarf für die Erhaltung setzt sich im Wesentlichen aus den unvermeidbaren (durch AS-Abbau) und endogenen AS-Verlusten zusammen. Endogener Stickstoff, der den Dünndarm erreicht, setzt sich zusammen aus den Sekreten der Bauchspeicheldrüse, Galle, des Magens, Darms und Speichels und den abgeschilferten Zellen der Schleimhaut des Verdauungstraktes. Die Angaben über die Mengen an endogenem Stickstoff der im Lumen des Dünndarms anfällt sind sehr unterschiedlich. In einer Studie wurden die N-Gehalte der einzelnen Sekrete zusammengerechnet und so die Menge an endogenem Stickstoff, der im Lumen des Dünndarms anzutreffen ist, bestimmt (LOW und ZEBROWSKA 1989). Sie beträgt bei Schweinen mit einer LM von 30-50 kg 21,57 g/d. In anderen Untersuchungen wurde die Gesamtmenge an endogenem Stickstoff der den Dünndarm erreicht mit markiertem Stickstoff oder markierten Aminosäuren bestimmt und betrug etwas über 12 g/d (KRAWIELITZKI et al. 1979; GEBHARDT et al. 1978; KÖHLER et al. 1978;). Am Ende des Dünndarms waren ca. 82 % des endogenen Stickstoff absorbiert (KRAWIELITZKI et al. 1979). LETERME (1995) gibt die Menge an endogenem Stickstoff, der im Lumen des Dünndarms anfällt mit 19,1-26,8 g/d an. Davon werden bis zum Ende des Ileums 70-90 % reabsorbiert (KRAWIELITZKI et al. 1996; SOUFFRANT et al. 1993;). Zwar sind die Angaben über die Mengen an endogenem Stickstoff sehr unterschiedlich, jedoch bestätigt sich die Aussage, daß ein großer Anteil des endogenen Stickstoffs im Dünndarm auch wieder absorbiert wird. Das heißt, daß nur ein geringer Anteil des endogenen N auch wirklich verloren

geht. STEIN und EASTER (1997) fanden heraus, daß sich Alter, Lebendmasse und physiologischer Zustand von Schweinen nicht oder nur wenig auf die Menge endogener ausgeschiedener Aminosäuren (in g/kg Trockenmasseaufnahme), auswirkt. Jedoch hat die tägliche Futterraufnahme einen signifikanten Einfluß auf die endogenen Verluste. So hatten restriktiv gefütterte tragende Sauen einen höheren Verlust an endogenem Protein und an der gesamten Menge an Aminosäuren als ad libitum gefütterte Tiere. Allerdings wurden nicht für alle Aminosäuren erhöhte Ausscheidungen festgestellt. 40 % der ausgeschiedenen Aminosäuren bestehen aus Glutaminsäure, Prolin, Glycin und Asparaginsäure. Bei den restriktiv gefütterten Tieren machen diese Aminosäuren einen Anteil von 60 % aus. Die Ausscheidung sämtlicher essentiellen Aminosäuren wurde dagegen von der reduzierten Futterraufnahme nicht beeinflusst. Die basalen endogenen Verluste an Aminosäuren können im wesentlichen über fünf verschiedene experimentelle Ansätze bestimmt werden. Das sind die Fütterung proteinfreier Rationen, die Fütterung hochverdaulicher Proteinquellen, die Regressionsmethode (abgestufte Proteinzufuhr), die Fütterung von enzymatisch hydrolysiertem Casein und die Fütterung N-freier Rationen mit parenteraler Aminosäureinfusion. Bei der proteinfreien Ernährung wird angenommen, daß die N-haltigen Bestandteile des Darminhalts endogenen Ursprungs sind. Der Hauptkritikpunkt der Methode ist das Vorliegen von stark unphysiologischen Bedingungen. Dem kann durch gleichzeitige Infusion von Aminosäuren ins Blut vorgebeugt werden. Werden hochverdauliche Proteinquellen verfüttert, wird davon ausgegangen, daß die zugeführten Aminosäuren vollständig absorbiert werden und keine spezifischen endogenen Protein- und Aminosäureverluste in den Verdauungstrakt induziert werden. Bei der Regressionsmethode erhalten die Tiere eine abgestufte Proteinzufuhr. Über die Regression der Wiederfindung von Aminosäuren in Abhängigkeit von der Stickstoff- und Aminosäurezufuhr kann die endogene Ausscheidung bei einer N-Zufuhr von 0 errechnet werden. Enzymatisch hydrolysiertes Casein, das den Tieren als alleinige Stickstoffquelle angeboten wird, ist in seinem Molekulargewicht viel kleiner als die endogenen N-haltigen Anteile im Darm und kann deshalb durch Ultrafiltration von den endogenen Bestandteilen abgetrennt werden. Aus 33 Ergebnissen dieser fünf Methoden wurde der mittlere gewichtete Gehalt an basalem Rohprotein und Aminosäuren ermittelt (JANSMANN et al. 1999). Die Werte sind in Tabelle 52 dargestellt.

Tabelle 52: Mittlere Gehalte an basalem endogenem Rohprotein und Aminosäuren (g/kg TM-Aufnahme)* (JANSMANN et al. 1999)

| Rohprotein und Aminosäuren | endogene Verluste (g/kg TM-Aufnahme) |
|----------------------------|---|
| Rohprotein | 11,82 |
| Lysin | 0,40 |
| Methionin | 0,11 |
| Cystin | 0,21 |
| Met+Cys | 0,32 |
| Threonin | 0,61 |
| Tryptophan | 0,14 |
| Isoleucin | 0,38 |
| Leucin | 0,49 |
| Valin | 0,54 |
| Histidin | 0,19 |
| Arginin | 0,39 |
| Phenylalanin | 0,34 |

*gewichtete Mittelwerte der fünf Methoden gemäß der Anzahl der Beobachtungen (JANSMANN et al. 1999)

4.4.3 Verluste an Stickstoff und Aminosäuren über die Körperoberfläche

Der Stickstoff, der über die Körperoberfläche abgegeben wird, stellt einen weiteren bedarfsbildenden Verlust dar. Bei Tieren, die sich in Leistung befinden (Wachstum, Laktation) fällt dieser Anteil im Vergleich zu den gesamt benötigten Aminosäuren nicht wirklich ins Gewicht. Anders verhält es sich bei Tieren im Erhaltungsstoffwechsel. Hier gewinnt dieser Verlust an Wichtigkeit, da die Bedarfsmenge an Aminosäuren viel geringer ist. Leider wurden, bei den in der Literatur beschriebenen N-Bilanzstudien an Schweinen, die Verluste über die Körperoberfläche in den seltensten Fällen berücksichtigt, da es sich hauptsächlich um Untersuchungen an wachsenden, also leistenden Schweinen handelt. FULLER und BOYNE (1971) stellten die Verluste an wachsenden Schweinen fest. Bei einer Stalltemperatur von 23 °C verloren die Tiere täglich 0,25-0,52 g N je nach Futteraufnahme und Lebendmasse.

In der vorliegenden Studie wurde der tägliche Verlust an Stickstoff an sechs Tieren gemessen. Der tägliche Verlust an Stickstoff wurde mit einem Wert von 0,501 g N/d festgelegt. Bezogen auf die metabolische Lebendmasse der Tiere wurde ein Verlust von 0,010 gN/kg^{0,75}/d errechnet. Der Erhaltungsbedarf setzt sich aus den Verlusten an Stickstoff über Kot, Harn und über die Körperoberfläche zusammen. Korrekt wäre es folglich für eine mit Harn- und Kot-N-Verlusten berechneten Regression der N-Bilanz den Bedarf bei einer positiven Bilanz von 0,010 g/kg^{0,75}/d festzulegen. In Tabelle 53 sind die Bedarfswerte einmal für eine N-Bilanz von 0 und eine N-

Bilanz von $+0,010 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$ aufgeführt. Die Varianz der einzelnen Bedarfswerte ist mit Hilfe der Fehlerfortpflanzung anhand der Varianzen der Regressionsgleichung errechnet worden.

Tabelle 53: Vergleich der Bedarfswerte ohne und mit Einbeziehung der N-Verluste über die Körperoberfläche

| Aminosäure | Erhaltungsbedarf in $\text{g/kg}^{0,75}/\text{d}$ der AS bestimmt bei einer N-Bilanz von | | |
|-----------------------------|--|-----|--|
| | $0,000 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$ | und | $0,010 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}^*$ |
| Threonin | $0,040 \pm 0,002$ | | $0,043 \pm 0,002$ (+8%) |
| Lysin | $0,038 \pm 0,001$ | | $0,047 \pm 0,001$ (+24 %) |
| Methionin+Cystein | $0,037 \pm 0,001$ | | $0,039 \pm 0,001$ (+5 %) |
| Methionin | - | | - |
| Tryptophan | $0,011 \pm 0,003$ | | $0,012 \pm 0,003$ (+9 %) |
| Phenylalanin+Tyrosin | - | | - |
| Phenylalanin | $0,017 \pm 0,001$ | | $0,020 \pm 0,001$ (+18 %) |
| Isoleucin | $0,020 \pm 0,001$ | | $0,024 \pm 0,001$ (+20 %) |
| Leucin | - | | - |
| Valin | $0,023 \pm 0,001$ | | $0,025 \pm 0,001$ (+9 %) |

*prozentuale Zunahme der Bedarfswerte ist in Klammern angegeben

Durch die unterschiedlichen Steigungen der Regressionsgeraden der einzelnen Aminosäuren kommt es bei der Bestimmung des Bedarfs am Punkt $0,010 \text{ gN/kg}^{0,75}/\text{d}$ zu Verschiebungen der Aminosäureverhältnisse. Die Bedarfswerte stiegen zwischen 5 % (Met+Cys) und 24 % bei der sehr flachen Regressionsgerade von Lysin. Der Verlust an Stickstoff über Haut und Haare spielt beim ausgewachsenen Tier im Erhaltungsbedarf sicher eine größere Rolle als für ein leistendes Tier. Bezieht man bei den Werten von FULLER und BOYNE (1971) die metabolische Lebendmasse der Tiere mit ein, so ergeben sich Verluste von $0,018 \text{ gN/kg}^{0,75}/\text{d}$ (bei Verlusten von $0,52 \text{ gN/d}$; 90 kg LM ; Temp. $23 \text{ }^\circ\text{C}$). Es wird angegeben, daß die N-Verluste mit steigender LM (zwischen 10 und 90 kg) wachsen, was auch logisch erscheint, da sich die Oberfläche der Tiere vergrößert. Allerdings wächst das Volumen und damit das Gewicht der Tiere im Vergleich zur Oberfläche schneller. Das bedeutet, daß ein ausgewachsenes Tier je kg LM weniger Körperoberfläche besitzt als ein wachsendes Tier. Folglich sinken die N-Verluste wenn sie auf die metabolische LM der Tiere bezogen werden. Betrachtet man die gesamten täglichen Verluste, so fällt auf, daß beim wachsenden Tier bei ähnlicher Stalltemperatur gleiche Werte erzielt wurden wie bei ausgewachsenen. Somit liegt die Vermutung nahe, daß mit zunehmendem Erwachsenwerden durch den sich verlangsamenden Proteinturnover die täglichen N-Verluste an Haut und Haaren abnehmen.

4.5 Auswirkungen eines Aminosäurenmangels im Erhaltungsniveau von Sauen

4.5.1 Auswirkungen eines Threoninmangels

Threonin ist eine glucogene Aminosäure, die über drei verschiedene Wege abgebaut werden kann. Sie wird entweder durch eine Desaminierung, Aldolspaltung oder Dehydrierung katabolisiert. Aus dem bei der Desaminierung entstehenden α -Ketobutyrat entsteht über Propionyl-CoA Succinyl-CoA, das im Citratcyclus umgesetzt wird. Die Desaminierung stellt also die Schnittstelle zwischen Threonin und dem Kohlenhydratstoffwechsel dar. Das entstehende Ammoniak wird entweder an α -Ketoglutarat gebunden, wobei Glutaminsäure entsteht, oder bei einem Überangebot in den Harnstoffcyclus eingeschleust und renal ausgeschieden. Die Aldolasereaktion hat die Produkte Glycin und Acetaldehyd zur Folge. Die Dehydrierung führt zu Aminoaceton, Glycin und Acetyl-CoA. Threonin ist über diese Abbauege durch das Entstehen von Acetaldehyd und Acetyl-CoA mit dem Fettstoffwechsel verbunden. Der Abbau von Threonin findet hauptsächlich in der Leber statt, wobei die Desaminierung und die Dehydrierung die wichtigsten Abbauege darstellen (BALLÈVRE et al. 1990; BIRD und NUNN 1983;). In Glycoproteinen kann sie über eine O-glycosidische Bindung die Verknüpfung von Kohlenhydrat und Protein vermitteln. Im tierischen Organismus dient Threonin nur als Proteinbaustein. Ihr Anteil in der Rohproteinfraktion des Ganzkörpers beim Schwein beträgt 4,0 % (RIIS 1983b).

Da der Bedarf von Aminosäuren mathematisch anhand der Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen der Aminosäureaufnahme und dem untersuchten Parameter, z.B. der N-Bilanz oder Enzymaktivitäten abgeleitet wird, stellt sich die Frage, ob und wie sich unterschiedliche Threoninzulagen auf die am Stoffwechsel beteiligten Enzyme auswirken. So wurden in einem Stoffwechselversuch an Ratten bei geringer Threoninversorgung nahezu konstante Oxidationsraten gefunden. Steigende Threoninzulagen erhöhten den Katabolismus der Aminosäure (KANG-LEE und HARPER 1978). In neueren Versuchen an Schweinen von BALLÈVRE et al. (1991) und LE FLO'H et al. (1996) war eine steigende Proteinzufuhr positiv mit der Aktivität der Threonindehydrogenase korreliert, aber nur wenn Threonin nicht limitierend war (LE FLO'H et al. 1996). HARPER (1965) konnte zeigen, daß sich auch die Threonindehydrogenaseaktivität in der Leber erst dann entscheidend verstärkt, wenn die Nährstoffzufuhr den Bedarf überschreitet. Diese Versuchsergebnisse deuten darauf hin, daß der Organismus bestrebt ist, Threoninimbancen regulierend auszugleichen.

Threonin ist eine wichtige limitierende Aminosäure für Geflügel und Schwein und außerdem eine Aminosäure, deren Erhaltungsbedarf relativ zu Lysin hoch zu sein scheint (BAKER et al. 1966; FULLER 1994). Bedarfsbestimmungen für Threonin wurden in zahlreichen Studien an unterschiedlichen Spezies durchgeführt (HARDY et al. 1997; GAHL et al. 1996; FULLER et al.

1989; HEGER und FRYDRYCH 1985; BAKER et al 1966b;). In allen Untersuchungen waren deutliche Auswirkungen eines Threoninmangels auf die N-Ansatz, Lebendmassezunahmen oder Threoninretention festzustellen. In dem vorliegenden Versuch hatte der Threoninmangel einen Abfall der N-Bilanz bei abnehmender Thr-Aufnahme zur Folge. Der bei N-Gleichgewicht festgelegte Thr-Bedarf für die Erhaltung beträgt $0,040 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$. BAKER et al. (1966b) ermittelten für Sauen im Gewichtsbereich von 140-150 kg im N-Gleichgewicht einen Bedarf von nur $24 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$. Bei wachsenden Schweinen wurde der Erhaltungsbedarf von Threonin bei $53 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$ festgelegt (FULLER et al. 1989). In beiden Versuchen wurden chemisch definierte Diäten verabreicht. In wachsenden Ratten wurde ein Bedarf von $54 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$ ermittelt (HEGER und FRYDRYCH 1985). Erwachsene Menschen hingegen benötigen für die Erhaltung scheinbar nur $6 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$ Threonin. Der von BAKER et al. (1966b) bestimmte ziemlich niedrige Wert könnte möglicherweise dadurch bedingt sein, daß in dem Experiment nur zwei Tiere je Beobachtung verwendet wurden. Die Tiere der beiden Wiederholungen waren außerdem unterschiedlichen Umgebungstemperaturen ausgesetzt. Möglicherweise wirkte sich auch der Threoningehalt, der sich in der Maisstärke befand und nicht in die Berechnungen mit einging, auf den Wert aus. In einer späteren Untersuchung wurde nämlich festgestellt, daß sich erhebliche Anteile Rohprotein (0,3 %) in der Maisstärke befanden (BAKER et al. 1970). Leider wurde der Aminosäuregehalt nicht bestimmt.

Der mittlere endogene Threoninverlust beträgt $0,61 \text{ g/kg}$ TM-Aufnahme (JANSMANN et al. 1999). Bei einem mittleren TM-Gehalt, der für diese Untersuchungen verwendeten Rationen, von 91 % und einer mittleren Lebendmasse der Tiere von 200 kg lag die tägliche TM-Aufnahme bei 1,7 kg. Diese TM-Aufnahme hätte dann einen endogenen Threoninverlust von $1,0 \text{ g/d}$ oder, bezogen auf die metabolische Lebendmasse, $0,019 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$ zur Folge. Der ermittelte Bedarf für die Threoninzufuhr von $0,040 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$ wird also zur Hälfte von den endogenen Ausscheidungen gebildet.

Die andere Hälfte des Bedarfs ($0,021 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$) sollte sich aus oxidativen Verlusten während des Proteinturnovers ergeben. Bei einem Proteinturnover in der Erhaltung von $16 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$ ergibt sich eine tägliche, durch den Abbau freigesetzte, Threoninmenge (4 % Thr im Rohprotein des Ganzkörpers) von $0,64 \text{ g/kg}^{0,75}$. Unter normalen Bedingungen geht man davon aus, daß im Mittel 80 % der Aminosäuren die aus dem Proteinabbau freigesetzt werden wieder für die Proteinsynthese genutzt werden. In niedrig-Protein Rationen wurde beobachtet, daß die Recyclingraten auf 95 % steigen können (WATERLOW et al 1978). Im vorliegenden Fall ergäbe sich eine Rate für das Threoninrecycling von 97 %, wenn man die Hälfte des ermittelten Thr-Bedarfs mit der aus dem Proteinturnover täglich freigesetzten Thr-Menge ins Verhältnis setzt.

An der Ausscheidung von Stoffwechselfparametern im Harn konnten keine Auswirkungen der Threoninabsenkung ermittelt werden. Weder deutete die Allantoinausscheidung auf einen erhöhten Purinabbau, noch die Kreatininabgabe auf eine sich reduzierende Muskelmasse hin. Betrachtet man hierzu die absolute Menge an Protein, die die Tiere während des ganzen Versuchs verloren haben, können diese fehlende Effekte vielleicht gedeutet werden. Die Threoninreduktion hatte einen Gesamtproteinverlust von 857 g bei einer LM von 200 kg zur Folge. Der Körper eines Tiers mit 200 kg LM beinhaltet, bei einem Proteinanteil des Gesamtkörpers von 15 %, eine Proteinmenge von 40 kg. Die durch die Thr-Absenkung verlorenen 857 g machen 2 % der Körperproteinmenge aus. Würde man daraufhin annehmen, daß sich der Kreatininspiegel durch den Proteinabbau um 2 % erhöht, ergäbe das bei einer Ausscheidung von 1,10 mmol /kg^{0,75}/d einen Anstieg um 0,02 mmol /kg^{0,75}/d. Dieser Anstieg wäre bei der ermittelten Standardabweichung von 0,04 nicht mehr zu erkennen.

4.5.2 Auswirkungen eines Lysinmangels

Lysin ist eine ausschließlich ketogene Aminosäure und ist damit mit dem Fettstoffwechsel verbunden. Desweiteren stellt Lysin die Vorstufe von Carnitin dar. Carnitin ist ein Acylgruppen-Carrier in der Mitochondrienmembran, der den Abbau langkettiger Fettsäuren beschleunigt. Muskelzellen, deren Kapazität zum Fettsäureabbau beträchtlich ist, enthalten besonders viel Carnitin. Im Kollagen nimmt ein Teil des Lysins eine veränderte Form an. Nach dem Einbau in das Protein wird ein Teil hydroxyliert. Das beim Kollagenabbau freiwerdende Hydroxylysin kann nicht mehr verwendet werden und wird deshalb abgebaut oder renal ausgeschieden.

Der Abbau von Lysin wird mit einer irreversiblen Transaminierung durch die Lysin- α -Ketoglutarat-Dehydrogenase, die hauptsächlich in der Leber vorkommt, eingeleitet. Über mehrere Stufen wird dabei die ϵ -Aminogruppe des Lysins auf α -Ketoglutarat übertragen. Dabei ist ein weiteres Enzym, die Saccharopindehydrogenase, beteiligt. Die α -Aminogruppe wird dann in einer anschließenden Transaminierung ebenfalls auf α -Ketoglutarat übertragen (Amino adipattransaminase). Der restlichen Abbau des α -Keto adipats erfolgt dann über eine dehydrierende Decarboxylierung (α -Keto adipat-Dehydrogenase) und mehrere β -Oxidationsschritte zu Malonyl-CoA und Acetyl-CoA. Der Abbau von Lysin ist abhängig von der Lysin Zufuhr. An wachsenden Schweinen wurde mit zunehmender Lysinabgabe eine Zunahme der Oxidation festgestellt (NMILK et al. 1996). An wachsenden Ratten konnte eine Erhöhung des Lysin katabolismus festgestellt werden, wenn die Lysin Zufuhr den Bedarf übertraf (SIMON et al. 1977; BROOKES et al. 1972;).

Ebenso wie Threonin hat Lysin eine wichtige Rolle in der Ernährung der Schweine und anderer Säugetiere. Der Lysingehalt der Rohproteinfraktion des Ganzkörpers beträgt beim Schwein 7,2 % (SMITH 1980). Lysin besitzt unter den essentiellen Aminosäuren den größten Anteil am Körperprotein. In der vorliegenden Untersuchung wurde durch die stufenweise Reduktion der Lysin Zufuhr mit dem Futter ein Anstieg der N-Ausscheidung im Harn und damit ein Absinken der N-Bilanz ermittelt. Der aus den Regressionen berechnete Bedarf beträgt $0,038 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$. Negative Bilanzen durch unzureichende Lysin-Zufuhr konnten auch im wachsenden und nahezu ausgewachsenen Schwein festgestellt und ein Bedarf für die Erhaltung berechnet werden. Während FULLER et al. (1989) einen Wert ermittelte, der sehr nahe an dem der hier durchgeführten Studie liegt ($0,036 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$), wurde bei den fast erwachsenen Sauen ein um 84 % niedrigerer Bedarf im N-Gleichgewicht errechnet (BAKER et al. 1966b). Hier wurden auch nur sehr gering negative N-Bilanz-Werte bei einer Lysin Zufuhr von 0 erreicht. Im Fall von Lysin sind die Abweichungen noch größer als bei Threonin. Dazu muß angeführt werden, daß wiederum nur zwei Tiere für die jeweiligen Beobachtungen verwendet wurden.

Die endogenen Lysinverluste sollen, wie beim Threonin, am Beispiel eines Tiers mit 200 kg LM und einer TM-Aufnahme von 1.7 kg betrachtet werden. Bei einem basalen Verlust von 0,40 g/kg TM-Aufnahme (JANSMANN et al. 1999) beträgt der Lysinverlust je Sau 0,68 g/d oder $0,013 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$. 34 % des Lysinbedarfs von $0,038 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$ werden von den endogenen Ausscheidungen gebildet. Lysin kommt, wie oben beschrieben, mit einem hohen Anteil in der Rohproteinfraktion des Körpers vor. Diese Tatsache deutet auf einen hohen Bedarf im Vergleich zu anderen Aminosäuren hin.

Ein angenommener Proteinturnover von $16 \text{ g/kg}^{0,75}$ ergäbe eine tägliche Lysinfreisetzung von $1,12 \text{ g/kg}^{0,75}$. Es wird angenommen, daß sich die Recyclingraten der freigesetzten Aminosäuren für die Neusynthese von Protein bei Lysinmangel im Vergleich zum normalen Ernährungszustand verbessern. Vor allem erwachsene Tiere scheinen sich an Lysinmangel anpassen zu können, wie bei Ratten festgestellt wurde (MITTAL 1985). Darauf deutet auch die oben beschriebene Abhängigkeit des Lysinkatabolismus von der Lysinaufnahme hin. Auch in der vorliegenden Studie weist alles auf hohe Wiederverwendungsraten von Lysin hin. Die Lysinverluste auf die der ermittelte Lysin-Bedarf (endogene Verluste abgezogen) hinweist, betragen 2 % der Menge an Lysin, die aus dem Proteinturnover freigesetzt wird. Das heißt, daß Lysin zu 98 % recycled wird.

Weitere mögliche Verlustquellen für Lysin sind Hydroxylysin, das im Kollagen vorliegt, und Carnitin, das aus Lysin synthetisiert wird. Lysin ist hier irreversibel in Formen umgewandelt worden, die bei einem Abbau kein Lysin, das für eine Neusynthese von Protein in Frage käme, freisetzen. Es kann jedoch angenommen werden, daß ein Lysinmangel Auswirkungen auf die Carnitinverluste, z.B. die renale Excretion, hat. In Ratten hatte die restriktive Proteinaufnahme

zwar keinen Einfluß auf die Carnitingehalte der Gewebe, es konnten jedoch gefallene Konzentrationen im Serum und eine verminderte renale Excretion festgestellt werden (HEINONEN et al. 1991). Der Stoffwechsel scheint sich also auf eine verminderte Bildung von Carnitin einzustellen.

Im Blutplasma wurde bei der vollständigen Lysindepletion ein signifikanter Abfall der Lysinkonzentration um 70 % festgestellt werden. Die Reduktion der Lys-Konzentration im Plasma aufgrund einer nicht adäquaten Lys-Versorgung bei ausreichender Zufuhr aller anderen Aminosäuren wurde in verschiedenen Studien beobachtet (MARKERT 1992; LEWIS et al. 1977). Die Ausscheidung von N-Stoffwechselfparametern im Harn wurde durch den Lysinmangel nicht beeinflusst.

4.5.3 Auswirkungen eines Mangels an Methionin und Cystein

Methionin hat eine wichtige Position im Stoffwechsel. Als aktiviertes S-Adenosylmethionin ist es im Zellstoffwechsel der wichtigste Methylgruppendonator für die Biosynthese zahlreicher anderer Moleküle. In Tabelle 54 sind einige Methylierungsprodukte mit ihren Ausgangssubstanzen aufgeführt.

Durch die Abspaltung der Methylgruppe entsteht aus S-Adenosylmethionin S-Adenosylhomocystein, das in Homocystein und Adenosin gespalten wird. Homocystein kann nun über eine Remethylierung in Methionin rückverwandelt, oder weiter abgebaut werden. Homocystein reagiert in einer Transsulfurierungsreaktion mit Serin und überträgt dabei die Sulfhydrylgruppe auf Serin wobei Cystein und Homoserin entstehen. Homoserin wird über Stufen zum Propionyl-CoA, das in der Gluconeogenese verwendet wird, abgebaut. Durch die Transsulfurierung wird aus Methionin die zweite schwefeltragende Aminosäure Cystein synthetisiert. Bei einem ausreichenden Angebot an Methionin gilt Cystein nicht als essentiell. Die Produkte des Cysteinabbaus sind Pyruvat (glucogen) und Sulfat, die jeweils auf 2 Wegen entstehen können. Entweder wird Cystein in einer Transaminierung und einer anschließenden Abspaltung der SH-Gruppe abgebaut, oder es wird zuerst die SH-Gruppe als H₂S abgespalten und dann desaminiert. Der Hauptanteil der im Stoffwechsel gebildeten Protonen stammt aus der Oxidation des H₂S zu Sulfat. Dies erklärt die Beobachtung, daß eine hohe Zufuhr an Protein, und damit Cystein, eine Ansäuerung des Harns bewirkt. Cystein bildet außerdem die Vorstufe für Taurin, das mit Choly-CoA die konjugierte Gallensäure Taurocholsäure ergibt (LÖFFLER und PERITRIDES 1988). Beim Schwein bilden die Taurocholsäuren im Vergleich zu den

Glycin-konjugierten Säuren den geringeren Anteil an den Gallensäuren (SCHEUNERT und TRAUTMANN 1987).

Tabelle 54: Verbindungen, deren Methylgruppe von S-Adenosylmethionin stammt (LÖFFLER und PETRIDES 1988)

| Ausgangssubstanz | Methyliertes Produkt |
|---|------------------------------|
| Methylierung von Mikromolekülen | |
| Ethanolamin | Cholin (3fache Methylierung) |
| Guanidinoacetat | Kreatin |
| N-Acetylserotonin | Melatonin |
| Noradrenalin | Adrenalin |
| Methylierung von Makromolekülen | |
| Basen der DNA und RNA (im Nukleinsäurenverband) | Methylierte Basen |
| Histidin (im Proteinverband) | 3-Methylhistidin |

Der Abbau von Methionin ist von der Zufuhr der Aminosäure abhängig. In Studien an erwachsenen Menschen konnte festgestellt werden, daß die Methioninoxidation bei sinkender Met-Zufuhr abnimmt. Desweiteren konnte kein Effekt einer steigenden Cys-Zufuhr bei Met-Mangel auf die Methioninoxidation erkannt werden (RAGUSO et al. 1997; HIRAMATSU et al. 1994;). An wachsenden Ratte konnte anhand des markierten Schwefelatoms der Zusammenhang zwischen der Proteinaufnahme und dem Cys-Abbau und Umbau in Taurin dargestellt werden. Steigende Cys-Gehalte in der Diät führten zur vermehrten Cys-Oxidation und Taurinbildung. Cystein wird außerdem bevorzugt zur Proteinsynthese verwendet, ein kleinerer Anteil geht in die Taurinsynthese (TANAKA et al. 1993).

Die endogenen Verluste dieser beiden Aminosäuren werden mit 0,32 g/kg TM-Aufnahme angegeben (JANSMANN et al. 1999). Für eine Sau mit einer LM von 200 kg (im vorliegenden Versuch) würde das einen täglichen Verlust von 0,544 g Met+Cys je Tag, oder 0,010 g/kg^{0,75}/d, bedeuten. Der Bedarf an den beiden Aminosäuren wurde mit 0,037 g/kg^{0,75}/d ermittelt. Das bedeutet, daß 27 % des Bedarfs durch die endogenen Verluste entstehen. Allerdings konnte für Methionin in Gegenwart von Cystein kein Bedarf ermittelt werden. In der Studie von BAKER et al. (1966c) konnte gezeigt werden, daß ein Cys-Gehalt in der Ration von 0,10 % 94 % des Erhaltungsbedarfs an den schwefelhaltigen Aminosäuren deckt. Der von BAKER et al. (1966c) ermittelte Bedarf an Methionin, bei gleichzeitiger Cys-Depletion, beträgt 0,012 g/kg^{0,75}/d. Wiederum liegen die Werte vorliegender Studie und die Werte von FULLER et al. (1989) über diesen Angaben. Wachsende Schweine haben einen Bedarf dieser Aminosäuren von 0,049

$\text{g/kg}^{0,75}/\text{d}$. Ihr Met-Bedarf ist dagegen, mit $0,009 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$, ebenfalls klein. Wahrscheinlich liegt dieser, im Vergleich zu Methionin, große Cys-Bedarf daran, daß im Erhaltungsniveau die Bildung von Haaren eine große Rolle spielt. In den Haaren ist der Cys-Gehalt mit 22 % des Proteins sehr hoch, während der Methioningehalt mit 0,47 % unter dem des Ganzkörpers liegt (BAKER et al. 1966c). Der Grund, daß in dieser Studie kein Bedarf für Methionin bestimmt werden konnte, mag hauptsächlich an der Methode der Bedarfsbestimmung, liegen. Möglicherweise sind andere Methoden, wie z.B. Isotopen-Techniken, für die Ermittlung kleiner Bedarfswerte besser geeignet.

Methionin hat an der Rohproteinfraktion im Gesamtkörper des Schweines einen Anteil von 2,1 %, Cystein von 1,3 % (RIIS 1983). Ein Proteinturnover von $16 \text{ g/kg}^{0,75}$ setzt folglich täglich $0,336 \text{ g/kg}^{0,75}$ Methionin und $0,208 \text{ g/kg}^{0,75}$ Cystein frei. Insgesamt ergibt das eine Menge von $0,544 \text{ g/kg}^{0,75}$. Der in dieser Studie ermittelte Bedarf für Met+Cys beträgt $0,037 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$. Zieht man davon die endogenen Verluste ab, so bleiben die Verluste übrig, die aus dem Abbau der beiden Aminosäuren herrühren, nämlich $0,027 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$. Bildet man das Verhältnis dieser Verluste zu der Menge an freigesetztem Met+Cys so ergibt sich eine Recyclingrate für die beiden Aminosäuren von 95 %.

Der Gehalt an Methionin im Blutplasma wurde durch die Reduktion der Aminosäure nicht signifikant beeinflusst. Zwar war die Konzentration leicht erniedrigt, wie auch bei der alleinigen Absenkung von Methionin, jedoch konnten keine statistisch absicherbaren Aussagen darüber getroffen werden. Cystein war hingegen deutlich um 30 % erniedrigt. Diese Ergebnisse bestätigen das Bedarfsverhältnis von Methionin und Cystein. Die Gehalte an Isoleucin und Leucin waren durch die Depletion mit Met+Cys um 100 % und 66 % erhöht worden. Lysin und Phenylalanin waren in ihren Konzentrationen um 30 % und 41 % gestiegen. Die Anreicherung dieser Aminosäuren im Plasma resultieren aus dem Abbau von Körperprotein durch den Met+Cys-Mangel.

4.5.4 Auswirkungen eines Tryptophanmangels

Tryptophan spielt eine wesentliche Rolle im Leberstoffwechsel. Tryptophan stimuliert die Proteinbiosynthese in der Leber, die sich in einer vermehrten Aggregation von Ribosomen zu Polyribosomen widerspiegelt und hat dadurch eine Schlüsselfunktion für die Synthese von größeren Proteinbausteinen (MCGOWN et al. 1973; SIDRANSKI et al. 1971; MUNRO 1970;). Ein Tryptophanmangel bewirkt folglich das Gegenteil (YOKOGOSHI und YOSHIDA 1980). Es kommt zum Abfall der hepatischen Eiweißsynthese, was sich an dem Zerfall der Polyribosomen zu Ribosomen und deren vermehrtem Abbau beobachten läßt. Möglicherweise

bedingt die geringe Konzentration an freiem Tryptophan in der Leber die Empfindlichkeit der Polysomen gegenüber der Trp-Zufuhr (LÖFFLER und PERTRIDES 1988;). An Ferkeln wurde der unterdrückende Effekt der Trp-Mangels auf die Proteinbiosynthese in verschiedenen Geweben, z.B. der Leber und im Ganzkörper, und die RNA-Aktivität bestätigt (PONTER et al. 1994). Tryptophan hat auch Einfluß auf die Aktivität einiger Enzyme. Es steigert in der Leber die Aktivität der Tryptophandioxygenase, dem Enzym, das den Trp-Abbau einleitet, der Tyrosintransaminase (Tyrosinabbau), der Serin-Threonin-Dehydratase (Threoninabbau) und der Phosphoenolpyruvatcarboxylase (Gluconeogenese). Daneben blockiert es die Neubildung der Leberglucokinase, einem Enzym, das zur Glykogenbildung beiträgt. Tryptophan ist das Provitamin der Nicotinsäure. Außerdem ist Tryptophan die Ausgangssubstanz zur Biosynthese von Serotonin, Melatonin und Tryptamin. Serotonin ist ein Hormon, das auf die glatte Muskulatur der Gefäße, des Respirations und Gastrointestinaltraktes wirkt. Ferner ist Serotonin im Gehirn als Neurotransmitter wirksam, wobei es an der Regulation des Schlaf/Wachrhythmus und sensorischer Wahrnehmungen beteiligt zu sein scheint. Die Biosynthese von Serotonin wird durch die Trp-Zufuhr beeinflusst. So führt ein Mangel an Tryptophan zu abfallenden Trp-Konzentrationen im Blut (ROGERS and PESTI 1990; JONES et al. 1985;) und im Gehirn (VENERO et al. 1992), wodurch auch die Gehalte an Serotonin im Gehirn (VENERO et al. 1992; JONES et al. 1985) fallen. Aus Serotonin wird in der Epiphyse das Hormon Melatonin gebildet, das im erwachsenen Organismus möglicherweise als Zeitgeber für den Tag/Nachtrhythmus fungiert (KARLSON et al. 1994). Tryptamin, das biogene Amin des Tryptophan, ist im Vergleich zu Serotonin nur schwach blutdruckwirksam. Der Hauptabbauweg des Tryptophans führt unter Abspaltung des Alanins zum Acetoacetyl-CoA. Tryptophan ist also gleichermaßen glucogen und ketogen.

Eine Reihe von Untersuchungsergebnissen mit Ratten, Mäusen, Schweinen und Geflügel weist darauf hin, daß es eine von der Energieaufnahme getrennte Steuerung der Futteraufnahme gibt, die in Zusammenhang mit der Protein- und Aminosäurenkonzentration des aufgenommenen Futters steht (CHEE et al. 1981; ANDERSON 1979; KAUFMAN et al. 1978; NOBLET und HENRY 1977; MUSTEN et al. 1974; ROGERS und LEUNG 1973;). So bewirkt z.B. ein Trp-Mangel bei Ratten (NODA 1975) und Ferkeln (GRUBER und MENKE 1984) deutliche Verzehrsdepressionen, wofür vermutlich ein Konzentrationsabfall von Tryptophan im Gehirn verantwortlich ist (ANDERSON 1977; ROGERS und LEUNG 1973;). Die Konzentration von Trp im Gehirn hängt von der Konzentration im Plasma und von den Gehalten an Aminosäuren, die um dasselbe Transportsystem im Gehirn konkurrieren, ab (FERNSTROM und FALLER 1977; FERNSTROM und WURTMAN 1972;). Die exakte Rolle von Tryptophan und seinen Abkömmlingen 5-Hydroxytryptamin und Serotonin im Gehirn bei der Futteraufnahme ist noch nicht geklärt. Fakt ist jedoch, daß es bei Trp-Mangel zu Verzehrsdepressionen kommt, wie

zahlreiche Studien beweisen (HENRY 1995a; HENRY 1995b; MONTGOMERY et al. 1978; SEVE et al. 1978; HENRY und PASTUSZEWSKA 1976;). In der vorliegenden Studie kam es bei den Trp-Mangelrationen zu erheblichen Problemen bei der Futteraufnahme. Einige Sauen verweigerten die Futteraufnahme völlig. Sie mußten daraufhin aus dem Versuch genommen werden.

Die N-Bilanz in der vorliegenden Untersuchung nahm aufgrund des stufenweisen Entzugs von Tryptophan aus den Diäten immer mehr ab. Die lineare Regression der Bilanzwerte in Abhängigkeit von der Trp-Zufuhr ergab bei einer N-Bilanz von 0 einen Bedarf für die Erhaltung von $0,011 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$. Ähnliche Werte wurden auch an wachsenden Schweinen ($0,011 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$) (FULLER et al. 1989) und an wachsenden Ratten ($0,008 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$) (HEGER und FRYDRYCH 1985) gefunden. BAKER et al. (1966c) ermittelten für Sauen einen weit niedrigeren Wert von $0,002 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$. Die endogenen Verluste an Tryptophan betragen bei Schweinen $0,14 \text{ g/kg TM-Aufnahme}$ (JANSMANN et al. 1999). Die TM-Aufnahme einer Sau (200 kg LM) betrug in diesen Untersuchungen 1,7 kg, woraus sich Trp-Verluste von 0,238 g je Tier oder $0,004 \text{ g/kg}^{0,75}$ ergeben. Das bedeutet, daß sich der Erhaltungsbedarf zu 36 % aus den endogenen Trp-Verlusten ergibt. Weitere Verluste ergeben sich durch die Synthese von Serotonin, Melatonin und Tryptamin. Der im Vergleich zu anderen Aminosäuren niedrige Bedarf an Tryptophan mag auch an dem geringen Anteil liegen, den die Aminosäure an der Rohproteinfraktion des Ganzkörpers hat. Er beträgt 1.1 % (SMITH 1980) und ergibt somit bei einem Proteinturnover von $16 \text{ g/kg}^{0,75}$ eine Trp-Freisetzung von $0,176 \text{ g/kg}^{0,75}$. Mit der Annahme, daß sich der restliche Bedarf (endogene Verluste schon abgezogen) aus der Oxidation des, aus dem Proteinturnover freigesetzten, Tryptophans ergibt, errechnet sich ein Trp-Abbau von 4% und folglich eine Recyclingrate von 96 %.

Im Blutplasma konnten aufgrund des Trp-Mangels signifikant niedrigere Trp-Gehalte festgestellt werden. Daß erniedrigte Plasmawerte an Tryptophan auf einen Mangel der Aminosäure hinweisen, wurde auch in anderen Versuchen beobachtet (ROGERS and PESTI 1990; JONES et al. 1985). In dieser Studie wurden neben dem erniedrigten Trp-Gehalt eine Erhöhung der Konzentrationen an Cystein, Isoleucin und Threonin festgestellt werden. Diese Aminosäuren stammen vermutlich aus der durch den Trp-Mangel ausgelösten Mobilisierung von Körperprotein. Diese Überschüsse an den Aminosäuren können scheinbar zum Teil im „Plasmapool“ gespeichert werden, ohne daß abbauende Metabolismen in Gang kommen (GRUBER 1985)

Im Harn wurde bei Trp-Mangel eine erhöhte Ausscheidung an Allantoin festgestellt. Möglicherweise werden durch den Trp-Mangel, der den Abbau von Ribosomen zur Folge hat (LÖFFLER und PERITRIDES 1988), vermehrt Purine freigesetzt, deren Endprodukt Allantoin ist.

4.5.5 Auswirkungen eines Mangels an Phenylalanin und Tyrosin

Phenylalanin, eine essentielle Aminosäure, kann irreversibel in Tyrosin umgewandelt werden. Die Reaktion, bei der ein Sauerstoffatom in Parastellung des aromatischen Rings eingeführt wird, wird von dem Enzym Phenylalaninhydroxylase katalysiert und ist gleichzeitig der erste Schritt beim Abbau von Phenylalanin. Der weitere Abbau von Tyrosin erfolgt über eine Transaminierung (Tyrosinaminotransferase) bei der die Aminogruppe auf α -Ketoglutarat oder Pyruvat übertragen wird. Die weiteren Oxidationen führen zur Aufspaltung des aromatischen Rings und enden in den Produkten Fumarat und Acetacetat. Die beiden Aminosäuren sind folglich gluco- und ketogen.

Tyrosin hat eine bedeutende Rolle als Vorstufe für stoffwechselrelevante Verbindungen. Es dient als Vorstufe für die Schilddrüsenhormone, die Catecholamine (Hormone des Nebennierenmarks) und Melanin, dem Pigment in Haut und Haaren. Desweiteren wird der aromatische Ring des Tyrosins bei der Synthese von Ubichinon, einem Bestandteil der Multienzymkomplexe der mitochondrialen Atmungskette, verwendet. In Abbildung 13 sind die Stoffwechselwege des Tyrosin dargestellt. Die Bildung der Catecholamine wird direkt von der Verfügbarkeit des Precursors Tyrosin beeinflusst. Bei einem Tyrosinmangel ist die Konzentration der Aminosäure im Gehirn reduziert. Der Grund dafür ist die geringere Aufnahme ins Gehirn durch die Konkurrenz mit den anderen neutralen Aminosäuren (Valin, Leucin, Isoleucin) und Tryptophan (CHOI und PARDRIDGE 1986; TEWS und HARPER 1985; FERNSTROM 1977;). Daraus folgt eine niedrigere Umsetzung zu den Catecholaminen, die sich in einer herabgesetzten Konzentration im Gehirn verdeutlicht (FERNSTROM 1977; WURTMANN und FERNSTROM 1975). Anders als bei den Catecholaminen, scheint die Bildung der Schilddrüsenhormone nicht spezifisch vom Vorhandensein ihrer Vorstufe Tyrosin abhängig zu sein. In Küken wurde gezeigt, daß der Rückgang der Konzentrationen dieser Hormone in der Leber auch durch die Depletion anderer Aminosäuren hervorgerufen werden kann (ELKIN et al. 1980). Ebenso wie bei Tryptophan führt ein Mangel an Phenylalanin und Tyrosin zur vermehrten Auflösung der Polyribosomen in der Leber, was höhere Monosomen und Disomenzahlen und eine verringerte Proteinsynthese in der Leber zur Folge hat (YOKOGOSHI und YOSHIDA 1980).

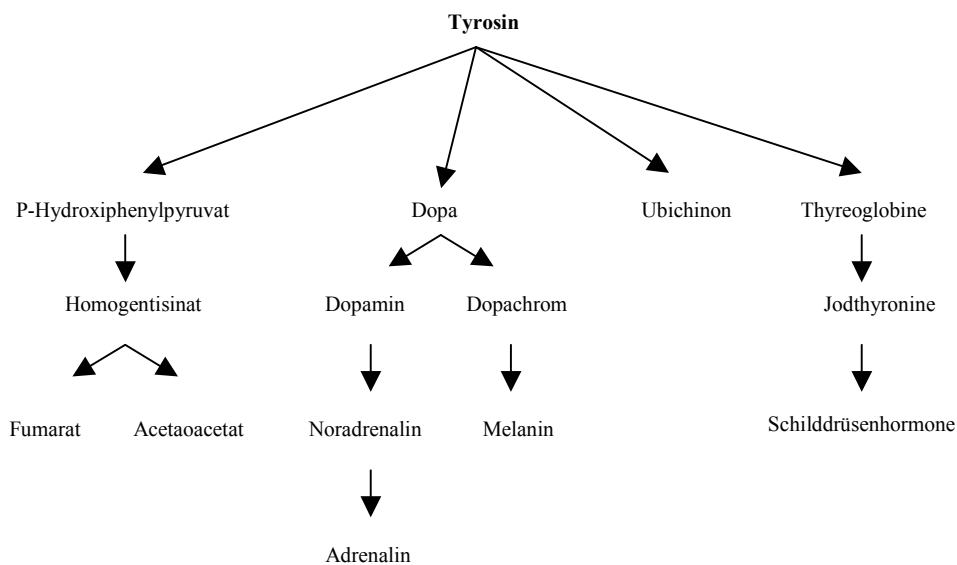


Abbildung 13: Stoffwechselwege des Tyrosins

Es wird angenommen, daß die Umwandlung von Phenylalanin in Tyrosin und die Oxidationsrate des Tyrosins von der Phenylalaninzufuhr abhängt. An wachsenden Ratten konnte gezeigt werden, daß eine zusätzliche Gabe an Phenylalanin eine höhere Rate der Phenylalaninhydroxylierung zu Tyrosin und gleichzeitig eine steigende Oxidationsrate von Tyrosin zur Folge hatte (MOLDAWER et al. 1983). Auch beim erwachsenen Menschen wurde die vermehrte Tyrosinbildung bei steigenden Phenylalaningehalten im Futter gemessen. Und ebenso stieg die Oxidation von Tyrosin bei steigender Zufuhr von Phenylalanin an (BASILE-FILHO et al. 1998).

Wie bei den vorangegangenen Aminosäuren soll auch hier auf die endogenen Verluste der Aminosäuren Phenylalanin und Tyrosin eingegangen werden. Die Verluste für Phenylalanin betragen nach JANSMANN et al. (1999) 0,34 g/kg aufgenommener Trockenmasse. Tyrosin wurde in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt und so wird an diese Stelle auf eine Untersuchung an Sauen zurückgegriffen, die einen basalen Verlust von 0,27 g/kg TM aufwiesen (LAPLACE et al. 1997). Addiert ergeben die Werte einen Verlust von 0,61 g/kg TM. Folglich ergibt sich daraus bei einer TM-Aufnahme von 1,7 kg eine tägliche Ausscheidung von Phenylalanin und Tyrosin von 1.0 g, bezogen auf eine Lebendmasse von 200 kg beträgt der

endogene Verlust $0,019 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$. Für Phenylalanin allein betragen die endogenen Ausscheidungen bezogen auf die metabolische Lebendmasse $0,011 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$. Leider konnte in dieser Untersuchung kein Bedarf für die beiden Aminosäuren ermittelt werden. Die geschätzten Werte streuten in hohem Maße und ließen somit keine Anpassung einer Regressionsgerade zu. Trotz der Erweiterung der verwendeten Gehaltsstufen der beiden Aminosäuren im Futter war kein Zusammenhang der Zufuhr der Aminosäuren mit der daraus resultierenden N-Bilanz zu erkennen. In wachsenden Schweinen und Ratten konnten Bedarfswerte zwischen $0,037$ und $0,052 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$ ermittelt werden (FULLER et al. 1989; HEGER und FRYDRYCH 1985).

In dem Versuch, in dem Phenylalanin allein reduziert wurde (Tyrosin wurde der Diät zugesetzt), konnte eine lineare Abhängigkeit der N-Bilanz von der Phe-Zufuhr beobachtet werden. Der ermittelte Bedarf beträgt $0,017 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$. 65 % dieses Bedarfs werden von den endogenen Verlusten von Phenylalanin gebildet. Die restlichen $0,006 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$ stammen aus den oxidativen Verlusten der Aminosäure. Der Gehalt an Phenylalanin am Gesamtkörper beträgt 3,4 %. Folglich werden bei einem Proteinturnover von $16 \text{ g/kg}^{0,75}$ in der Erhaltung täglich $0,544 \text{ g/kg}^{0,75}$ freigesetzt. Setzt man die restlichen, den Bedarf bildenden $0,006 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$ ins Verhältnis zu der freigesetzten Phenylalaninmenge so ergibt sich eine Recyclingrate von 99 %. Der Bedarf für Phenylalanin im wachsenden Schwein ist dem in dieser Studie ermittelten praktisch gleich und beträgt $0,018 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$ (FULLER et al. 1989).

Im Blutplasma konnten durch die Depletion beider Aminosäuren Phe+Tyr niedrigere Konzentrationen festgestellt werden. Die alleinige Depletion mit Phenylalanin beeinflusste den Tyrosingehalt im Plasma nicht, es zeigte sich jedoch im Vergleich zu der Depletion mit Phe+Tyr eine erheblich niedrigere Konzentration an Phenylalanin im Plasma. In Ratten sank der Plasmaspiegel beider Aminosäuren bei Phenylalanin-freier Diät (STEHLE et al. 1996) ebenso in laktierenden Sauen (LELLIS und SPEER 1987). In graviden Sauen wurde jedoch auch nur ein Effekt auf die Phe-Konzentration, bei alleiniger Phe-Reduktion beobachtet (SPEER et al. 1990). In Affen ergaben sich erniedrigte Werte an Phe und Tyr bei einem Mangel an beiden Aminosäuren (PALMOUR et al. 1998). In der vorliegenden Studie war bei der Phe-Mangeldiät die Tyrosinversorgung der Tiere scheinbar so gut, daß das Fehlen von Phenylalanin sich nicht auf den Stoffwechsel von Tyrosin auswirkte und somit auch die Plasmagehalte nicht beeinträchtigt waren. Warum allerdings die Konzentrationen an Phenylalanin bei alleiniger Depletion niedriger sind als bei Phe+Tyr-Mangel läßt sich nicht erklären.

Die Depletion mit Phenylalanin hatte eine um 18 % höhere Harnstoffausscheidung im Harn zur Folge. Ansonsten konnten im Harn keine Veränderungen in der Ausscheidung von Stoffwechselprodukten beobachtet werden.

4.5.6 Die verzweigtkettigen Aminosäuren Isoleucin, Leucin und Valin

Die Essentialität der verzweigtkettigen Aminosäuren ergibt sich aus der Unfähigkeit höherer Organismen verzweigte C-Gerüste zu synthetisieren. Dies gilt für die Aminosäuren Isoleucin, Leucin und Valin. Im Gegensatz zu den übrigen essentiellen Aminosäuren werden diese drei vorwiegend in den peripheren Organen, vor allem in der Skelett- und Herzmuskulatur, sowie in den Nieren, abgebaut. Auffallend sind die geringen Aktivitäten der Aminotransferasen dieser Aminosäuren, die den Abbau einleiten, in Leber und Darm. Möglicherweise ist dies auf die Notwendigkeit zurückzuführen die, als Proteinbaustein so wichtigen, verzweigtkettigen Aminosäuren vor einem Abbau zu schützen. Die niedrige Aktivität der Transferasen ermöglicht so höhere Konzentrationen im Blut und gewährleistet damit eine ausreichende Versorgung der peripheren Organe mit Isoleucin, Leucin und Valin. Der weitere Abbau dieser Aminosäuren durch die Dehydrogenasen findet jedoch vornehmlich in der Leber und außerdem in der Niere und im Herzen statt (HARPER et al. 1984). Neben der Aufgabe als Proteinbaustein, dienen die verzweigtkettigen Aminosäuren außerdem dazu Starter für die Biosynthese verzweigtkettiger Fettsäuren bereitzustellen. Dazu werden die aus dem Abbau gewonnenen Fettsäure-CoA-Derivate verwendet (LÖFFLER und PETRIDES 1984). Der Anteil der verzweigtkettigen Aminosäuren an den essentiellen Aminosäuren im Muskelprotein beträgt ungefähr 35 %, der am EAS-Bedarf ca. 40 % (HARPER et al. 1984). Der Abbau der verzweigtkettigen Aminosäuren hat einige gemeinsame Grundzüge. Der einleitende Schritt für jede der drei Aminosäuren ist eine Transaminierung, eine reversible Reaktion, die als Produkt die korrespondierenden α -Ketosäuren hat. Diese α -Ketosäuren unterliegen dann einer irreversiblen oxidativen Decarboxylierung, wobei das Acyl-CoA-Derivat entsteht, das ein C-Atom weniger besitzt. Die weiteren Abbauege gleichen denen der Fettsäureoxidation und führen zu Endprodukten, die dem Tricarbonsäurecyclus zugeführt werden können. Die Endprodukte für Isoleucin sind Propionyl-CoA und Acetyl-CoA. Isoleucin ist folglich glucogen und ketogen. Der Abbau von Leucin endet mit Acetoacetat und Acetyl-CoA, beides sind ketogene Moleküle. Valin ergibt beim Abbau Succinyl-CoA, das im Citratcyclus verwendet wird und glucogen wirkt.

Der Einfluß der Proteinaufnahme auf die Aktivitäten der Transferasen (Enzyme, die Abbau einleiten) für verzweigtkettige Aminosäuren ist weder auffallend noch einheitlich. Die in der Literatur zu findenden Studien in verschiedenen Geweben wie Leber, Niere und Muskel zeigen keine gerichtete Reaktion der Aktivitäten der Transferasen auf unterschiedliche Proteinzuführen. Es wird sowohl von ansteigenden (SOEMITRO et al. 1989; CHAN und WALSER 1978; MIMURA et al. 1968;), unbeeinflußten (SKETCHER et al. 1974) und fallenden (MCFARLANE und VON HOLT 1969a) Aktivitäten in der Leber aufgrund von

Proteinmangel berichtet. In der Niere können ebenso variable Ergebnisse für den Einfluß einer verschiedenen Proteinversorgung gefunden werden (TORRES et al. 1998; CHAN und WALSER 1978; ADIBI et al. 1975; SKETCHER et al. 1974; FEATHERSTONE und HORN 1973; WOHLHUETER und HARPER 1970; MIMURA et al. 1968; ICHIHARA et al. 1967;). Auch im Muskel ist die Reaktion auf Niedrig-Protein- und proteinfreie Diäten auf die drei Möglichkeiten steigende, unbeeinflusste oder fallende Aktivität aufgeteilt (TORRES et al. 1998; CHAN und WALSER 1978; ADIBI et al. 1975; SKETCHER und JAMES 1974; SKETCHER et al. 1974; MIMURA et al. 1968;).

Während die Transaminierung der verzweigt-kettigen Aminosäuren weniger direkt von der Proteinzufuhr abhängig zu sein scheint, so zeigen die Untersuchungen des weiteren Abbaus ein einheitlicheres Bild. In vielen Studien konnte ein Zusammenhang zwischen der Zufuhr an Protein und der Aktivität der Dehydrogenasen festgestellt werden. Vor allem in der Leber verschiedener Spezies wurden steigende Enzymaktivitäten mit zunehmender Proteinaufnahme beobachtet (DIXON und HARPER 1981; WOHLHUETER und HARPER 1970;). Auch bei der Zugabe eines Überschusses an einer der drei Aminosäuren zu einer Niedrig-Protein-Diät konnte eine Zunahme der Aktivität der Dehydrogenasen in der Leber festgestellt werden (BLOCK et al. 1985; SHINNIK und HARPER 1977;). Bei inadäquater Versorgung oder Proteindepletion wurden erniedrigte Enzymaktivitäten gefunden (NEALE und WATERLOW 1974; REEDS 1974; SKETCHER und JAMES; 1974 SKETCHER et al. 1974; MCFARLANE und VON HOLT 1969b;).

Ein weiterer Punkt, der bei den verzweigt-kettigen Aminosäuren angesprochen werden sollte, ist deren Antagonismus. Interaktionen zwischen diesen Aminosäuren können zu Veränderungen in Plasma- und Gewebepools führen. Zum Beispiel führt ein Leucinüberschuß in der Diät zu einem Absinken der Konzentrationen von Isoleucin und Valin in Blut und Muskel (HARGROVE et al. 1984; HARPER et al. 1983; HAGENFELDT et al. 1980; SHINNIK und HARPER 1977; SWENDSEID et al. 1965). Auch eine Abnahme der Aminosäuren Phenylalanin, Tyrosin, Methionin, Threonin und Prolin (ABUMRAD et al. 1982; HAGENFELDT et al. 1980; CLARK et al. 1968; SWENDSEID et al. 1965; SNYDERMAN et al. 1959;) konnte beobachtet werden. Dagegen wirken sich Überschüsse an Isoleucin oder Valin in der Diät nicht auf die Plasmakonzentrationen der anderen Aminosäuren aus (BLOCK und HARPER 1984; ERIKSSON et al. 1981; SHINNIK und HARPER 1977; SWENDSEID et al. 1965). Bei Diäten, die einen Mangel an Leucin haben, kommt es zu einem Ansteigen der Konzentrationen von Isoleucin, Valin und der großen neutralen Aminosäuren, wie Phe, Tyr, Trp, Met (HARPER und BENJAMIN 1984; YOUNG 1981; HAMBRAEUS et al. 1976; CLARK et al. 1966; SNYDERMAN et al. 1959;). Ein Mangel an Isoleucin und Valin beeinflusst

die Plasmakonzentrationen wiederum nicht. Spezifische Stimulation der Oxidation von verzweigtkettigen Aminosäuren könnten für die Reaktionen auf einen Überschuß oder einen Mangel an Leucin verantwortlich sein. Es wurde z. B. in Ratten und Menschen beobachtet, daß eine hohe Leucinzufuhr zu einer erhöhten Oxidation von Valin und Isoleucin führt, während überschüssiges Isoleucin auf die Valinoxidation oder Valin auf die Leucinoxidation keinen Einfluß hatten (BLOCK und HARPER 1984; MEGUID et al. 1983; CALVERT et al. 1982;).

Die Depression in der Futteraufnahme von Tieren, die Rationen aufnehmen, in denen das Muster der Aminosäuren unbalanciert ist, wird normalerweise mit Veränderungen im Aminosäurenpool im Gehirn in Verbindung gebracht. Zum Beispiel wurde festgestellt, daß ein Überschuß an Leucin in der Ration erniedrigte Konzentrationen der großen neutralen Aminosäuren im Gehirn zur Folge haben (PENG et al. 1973). HARRISON und D'MELLO (1986) zeigten, daß ein Überschuß der verzweigtkettigen Aminosäuren in der Diät die Konzentrationen von Noradrenalin, Dopamin und 5-Hydroxytryptamin im Gehirn erniedrigen. Die Spiegel dieser Neurotransmitter konnten durch eine Zulage ihrer Vorstufen, Phenylalanin und Tryptophan, in der Diät wiederhergestellt werden. Möglicherweise wirken diese Verschiebungen im Aminosäurenpool des Gehirns auf die Regulation des Hungerzentrums und führen so zu einer Verminderung der Futteraufnahme (TACKMAN et al 1990; LEUNG und ROGERS 1987;).

4.5.6.1 Auswirkungen eines Isoleucinmangels

In der vorliegenden Studie verursachte die verminderte Zufuhr an Isoleucin mit der Diät einen Abfall der N-Bilanz, wobei ein Bedarf von 0,020 g je Tag und kg metabolische Lebendmasse festgestellt werden konnte. FULLER et al. ermittelten beim wachsenden Schwein einen Erhaltungsbedarf von 0,016 g/kg^{0,75}/d. Der Bedarf der Ratte liegt bei 0,031 g/kg^{0,75}/d (HEGER und FRYDRYCH 1985). Die endogenen Ausscheidungen dieser Aminosäure betragen 0,38 g je kg Trockenmasseaufnahme. Bei einer mittleren TM-Aufnahme von 1,7 kg (Sau 200 kg LM) ergeben sich daraus Verluste an Isoleucin von 0,65 g/d, oder bezogen auf die metabolische LM 0,012 g/kg^{0,75}/d. Das bedeutet, daß die Hälfte des Bedarfs von der endogenen Ausscheidung der Aminosäure gebildet wird. Der Anteil von Isoleucin am Gesamtprotein im Körper beträgt 3,8 % (SMITH 1980). Damit wird bei einem Proteinturnover von 16 g/kg^{0,75}/d eine Menge von 0,61 g Isoleucin freigesetzt. Berechnet man den Anteil, den der verbleibende Bedarf (Bedarf – endogene Verluste) von 0,008 g/kg^{0,75}/d am freigesetzten Isoleucin hat, so ergibt sich ein

Isoleucinverlust durch Oxidation von 1 %. Das bedeutet eine Recyclingrate des freigesetzten Isoleucins von 99 %.

Im Plasma der Tiere konnte ausschließlich eine erniedrigte Ile-Konzentration durch die Depletion im Futter festgestellt werden. Auswirkungen auf die Spiegel der anderen verzweigt-kettigen Aminosäuren waren nicht zu beobachten. Sinkende Ile-Konzentrationen im Plasma aufgrund niedriger Zufuhr von Isoleucin, ohne Auswirkungen auf die Gehalte an Leucin und Valin konnten auch in anderen Untersuchungen beobachtet werden (RICHERT et al. 1997; SPEER et al. 1990; HARGROVE et al. 1984).

4.5.6.2 Auswirkungen eines Leucinmangels

Der Leucinmangel hatte in der vorliegenden Studie keine gerichtete Auswirkung auf die N-Bilanz der Tiere. Auch durch die Erweiterung des Versuchs mit drei weiteren Gehaltsstufen ließ sich kein Zusammenhang der Leu-Zufuhr mit der N-Bilanz herstellen. Die ermittelten Werte schwankten nahe dem Bilanzgleichgewicht um eine N-Bilanz von $-0,007 \pm 0,014 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$. Dadurch konnte auch kein Bedarf anhand einer Regression geschätzt werden. Bei wachsenden Schweinen wurde ein Bedarf von $0,023 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$ (FULLER et al. 1989), und bei Ratten $0,031 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$ (HEGER und FRYDRYCH 1985) bestimmt. BAKER et al. (1970) konnten zwar einen Zusammenhang zwischen der Zufuhr und der N-Bilanz feststellen, jedoch zeigten alle Tiere, selbst bei völliger Leu-Depletion, eine positive Bilanz. Auch ein Austausch der Stärke der Diät gegen Saccharose, die eine niedrigere Leu-Verunreinigung hatte, konnte die N-Bilanz nicht ins Negative verschieben. Das weist darauf hin, daß das in der Diät befindliche Leucin effektiv für die Belange der Erhaltung genutzt wurde und deshalb ausreichte. Möglicherweise war die Leucinoxidation durch die geringe Zufuhr abgesenkt und so die Verluste verringert. Daß ein Zusammenhang zwischen der Leu-Zufuhr und der Leu-Oxidation besteht, bestätigen folgende Studien. So wurde in Menschen durch eine zusätzliche Leucininfusion die Leucinoxidation gesteigert (SCHWENK und HAYMOND 1987). Bei Ratten konnte beobachtet werden, daß eine inadäquate Leucinzufuhr die Leucinoxidation niedrig hält, während bei steigender Zufuhr, oberhalb des Bedarfs, die Leucinoxidation proportional ansteigt (HARPER und BENJAMIN 1984). Möglicherweise können Tiere mit diesem Sparmechanismus einen Großteil des Bedarfs bestreiten und müssen deswegen nur sehr wenig Körperprotein mobilisieren. Da aber die endogenen Verluste an Leucin für eine Sau mit 200 kg LM und einer TM-Aufnahme von 1,7 kg $0,016 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$ (JANSMANN et al. 1999) betragen, wäre es wahrscheinlich empfehlenswert diese Zufuhr zu sichern.

Im Plasma der Tiere konnte die Leu-Depletion mit den typischen Auswirkungen auf andere Aminosäurekonzentrationen beobachtet werden (siehe Kapitel 4.5.6). Durch den Entzug der Aminosäure aus dem Futter konnten niedrigere Leucingehalte festgestellt werden. Außerdem bedingte der Mangel an Leucin eine Erhöhung der Gehalte an Alanin, Methionin, Prolin, Threonin, Tyrosin, Isoleucin und Valin. Auch in anderen Studien hatte eine sinkende Zufuhr an Leucin abnehmende Konzentrationen im Plasma zur Folge (HARGROVE et al. 1984; HARPER und BENJAMIN 1984; YOUNG 1981; HAMBRAEUS et al. 1976; CLARK et al. 1966; SNYDERMAN et al. 1959;). Außerdem wurden in diesen Studien erhöhte Werte der großen neutralen Aminosäuren wie Phe, Tyr, Trp, Met und der verzweigtkettigen Aminosäuren beobachtet.

4.5.6.3 Auswirkungen eines Valinmangels

Die stufenweise Depletion mit Valin hatte ein kontinuierliches Absinken der N-Bilanz vom Gleichgewicht ins Negative zur Folge. Der anhand der linearen Regression ermittelte tägliche Bedarf je kg metabolische Lebendmasse liegt bei 0,023 g. Bei wachsenden Schweinen wurde ein ähnlicher Wert ermittelt, nämlich 0,020 g/kg^{0,75}/d (FULLER et al 1989). Für Ratten liegt der Bedarf doppelt so hoch bei 0,040 g/kg^{0,75}/d (HEGER und FRYDRYCH 1985). Baker et al. (1966b) stellten für ihre Jungsaugen im N-Gleichgewicht einen Bedarf von 0,011 g/kg^{0,75}/d fest. Da, wie im folgenden beschrieben, schon die endogenen Verluste größer sind als dieser Bedarfswert ist es wahrscheinlich, daß es, möglicherweise durch Verunreinigungen der Grundkomponenten der Diät und wenigen Beobachtungen je Meßpunkt (2 Tiere je Valinstufe), zu einer Unterschätzung des Bedarfs kam. Die endogenen Verluste an Valin für eine Sau (200 kg LM, 1,7 kg TM-Aufnahme) haben einen Wert von 0,92 g, oder bezogen auf die metabolische LM 0,017 g/kg^{0,75}/d. Damit beträgt der Anteil der endogenen Verluste an der Bedarfsbildung in der vorliegenden Studie 74 %. Die übrigen 0,006 g/kg^{0,75}/d kommen durch oxidative Verluste der Valins bei der Freisetzung aus dem Proteinturnover zustande. Die Oxidation von Valin ist abhängig von der Zufuhr der Aminosäure, das heißt, daß bei sinkender Val-Gabe auch die Abbaurate der Aminosäure abnimmt (MEGUID et al. 1986). Der Stoffwechsel kann also auf das Angebot an Valin reagieren und entweder die Effektivität der Nutzung steigern, oder Überschüsse aus dem Körper beseitigen.

Bei der Betrachtung der Auswirkungen einer Valindepletion auf die Gehalte im Blutplasma muß vorangeschickt werden, daß die Parameter an nur einem Tier untersucht wurden. Im Blutplasma wurden durch den Valinmangel niedrigere Konzentrationen an Valin gemessen. Die

Abhängigkeit der Valinkonzentration von der Zufuhr der Aminosäure wird in zahlreichen anderen Studien beschrieben, wobei eine sinkende Zufuhr erniedrigte Werte im Plasma zur Folge hat (RICHERT et al. 1997; MEGUID et al. 1986; ROUSSELOW und SPEER 1980; HARDY et al. 1977; BAKER et al. 1966b;). In anderen Untersuchungen konnte kein Einfluß eines Valinmangels auf die Gehalte der anderen verzweigt-kettigen oder großen neutralen Aminosäuren nachgewiesen werden (HARPER und BENJAMIN 1984; HUTCHISON et al. 1983; YOUNG 1981; HAMBRAEUS et al. 1976; CLARK et al. 1966; SNYDERMAN et al. 1959;). Die in der vorliegenden Studie erhöhten Konzentrationen von Leucin, Phenylalanin, Threonin und Prolin sind nicht statistisch absicherbar, da sie nur an einem Tier ermittelt wurden.

4.5.7 Auswirkungen eines Histidinmangels

Histidin gilt als eine bedingt essentielle Aminosäure. Bei ausgewachsenen Tieren und Menschen kann durch einen Histidinmangel, von kurzer Dauer, kein Effekt auf die N-Bilanz erreicht werden (BAKER et al. 1966a; ROSE und RICE 1939; ROSE et al. 1951; LÖFFLER und PERITRIDES 1984). Erst bei länger andauernder Depletion wird ein Effekt, nämlich das Absinken der N-Bilanz beobachtet (CHO et al. 1984; KOPPLE und SWENDSEID 1975;). Im wachsenden Tier kann jedoch ein Bedarf ermittelt werden (IZQUIERDO et al. 1988; QUAM et al. 1987; HEGER und FRYDRYCH 1985; CLEMENS et al. 1984;). Es wird vermutet, daß Histidin bei einem zeitlich begrenzten His-Mangel aus dem Dipeptid Carnosin (β -Alanin-Histidin) mobilisiert werden kann. Carnosin kommt in der quergestreiften Muskulatur von Säugetieren vor (0,2g Carnosin/100g) und aktiviert dort die Myosin-ATPase (BUDDECKE 1989). Der Muskel bietet also ein großes Reservoir an Histidin, das bei einem Mangel durch zu geringe His-Zufuhr für einen Ausgleich sorgen kann. Der Abbau des Carnosins wird durch einen His-Mangel aktiviert und so Histidin für den Stoffwechsel zur Verfügung gestellt (CLEMENS et al. 1978; EASTER und BAKER 1977; QUINN und FISHER 1977; NASSET und GATEWOOD 1954;). Dies ist wahrscheinlich der Grund, warum es schwer ist, in Tieren einen Effekt auf die N-Bilanz durch eine Unterversorgung an Histidin zu beobachten. Mäuse haben z.B. kein Carnosin im Muskel, so daß auch ausgewachsene Tiere ab dem ersten Tag des Mangels mit einem Gewichtsverlust reagieren (PARKER et al. 1985). In der vorliegenden Studie wurde nach 14 Tagen einer His-freien Diät keine negativere Bilanz der vier Tiere festgestellt als nach der Zugabe von Histidin zur Ration. Die Sauen konnten also ihren Bedarf während dieser Zeit wahrscheinlich durch die Mobilisierung von Histidin durch den Abbau von Carnosin im Muskel decken. Weitere Untersuchungen zur Bedarfsbestimmung wurden nicht angestellt.

4.5.8 Auswirkungen einer N-freien Diät

Proteinfreie Ernährung hat ähnliche Reaktionen des Körpers zur Folge wie Hunger. Allerdings fällt der Körpermasseabbau zur Energiegewinnung weg und somit verlaufen die Veränderungen im Vergleich zum Hunger langsamer. In der ersten Phase werden die Raten der Proteinsynthese und des -Abbaus kleiner und gleichen sich an. Dadurch kommt es nur zu geringen Proteinverlusten. Bei fortschreitender N-Depletion wird die Situation jedoch katabol. Die Abbauraten sind im Vergleich zur Synthese größer, woraus dann steigende Proteinverluste des Körpers resultieren (MACDONALD und SWICK 1981; MILLWARD et al. 1976). Bei der Verfütterung einer N-freien Diät müssen alle für den Erhaltungsstoffwechsel notwendigen Aminosäuren aus dem Körperprotein freigesetzt werden. Da das Muster des idealen Proteins für die Erhaltung anders ist als das Muster der Aminosäuren, die aus dem Körperprotein freigesetzt werden, ergibt sich ein großer Anteil an Aminosäuren, die für den Erhaltungsstoffwechsel nicht zur Verwendung kommen und somit ausgeschieden werden.

In dieser Studie sank die N-Bilanz auf den niedrigsten Wert ab, der überhaupt erreicht wurde. Die Bilanz lag bei $-0,116 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$. Die Auswirkungen der N-freien Ernährung beschränkten sich auf die Erniedrigung der N-Ausscheidung im Harn. Die niedrige N-Ausscheidung bei N-freier Ernährung und adäquater Energieversorgung wird in der Literatur als „minimale N-Ausscheidung“ bezeichnet (KIRCHGESSNER et al. 1997). Die N-Ausscheidung im Kot wurde von der N-Depletion nicht beeinträchtigt. Daraus läßt sich folgern, daß die in den Diäten verabreichten kristallinen Aminosäuren zu 100 % verdaulich waren und der im Kot erscheinende Stickstoff wahrscheinlich ausschließlich aus endogenem Stickstoff besteht. Am wachsenden Schwein wurde bei N-freier Ernährung eine mehr als doppelt so negative Bilanz festgestellt, nämlich $-0,268 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$ (FULLER et al. 1989). Dieser hohe Wert könnte aus dem höheren Proteinturnover wachsender Tiere resultieren. Baker et al. (1966a) beobachteten ein Absinken der N-Bilanz auf nur $-0,072 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$. Der in der vorliegenden Studie aus dem angenommenen linearen Zusammenhang ermittelte N-Bedarf ausgewachsener Sauen liegt bei $323 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$ (siehe Kapitel 3.4.12). Nimmt man eine 80 %ige Verdaulichkeit des Futterproteins nativer Proteinquellen an, so ergibt sich daraus ein Rohproteinbedarf von $2,5 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{d}$. Dieser Wert entspricht der von der GFE (1987) empfohlenen Rohproteinzufuhr für die Erhaltung von Zuchtsauen.

Der starke Rückgang der N-Zufuhr reduzierte die Konzentrationen an Alanin, Glutamin, Glutaminsäure und Tryptophan im Blutplasma. Auch der Harnstoffgehalt im Blut war abgesenkt. Die anderen Aminosäuren befanden sich im Bereich der Kontrollgruppe. In der Literatur wird beschrieben, daß bei proteinfreier Ernährung die essentiellen Aminosäuren in

ihren Gehalten fallen, während die Konzentrationen der kleinen nicht essentiellen Aminosäuren wie Glycin, Alanin und Serin ansteigen (SUZIC et al. 1990; SUZIC et al. 1987; MAHER et al. 1984; FERNSTROM et al. 1974; YOUNG und SCRIMSHAW 1968). In diesen Untersuchungen wurden proteinfreie Diäten über einen Zeitraum von bis zu 7 Tagen verabreicht. YOUNG und SCRIMSHAW (1968) verabreichten eine proteinfreie Diät in einer zweiten Gruppe über 16 Tage und konnten die Effekte, die nach 7 Tagen absicherbar waren, nicht mehr beobachten. In der vorliegenden Studie wurde den Sauen nach 17 Tagen N-freier Ernährung Blut abgenommen. Möglicherweise ergibt sich nach dieser Zeit eine Stoffwechsellangleichung, die die Plasmagehalte der Aminosäuren konstant hält. Wie schon oben erwähnt wird der Proteinabbau nach längerer Zeit des Proteinmangels im Vergleich zur Proteinsynthese größer. Das heißt, daß Aminosäuren vermehrt aus dem Körperprotein freigesetzt werden, in den Aminosäurepool einfließen und somit auch im Plasma vorhanden sind. Dies könnte erklären warum keine abgesenkten Gehalte an essentiellen und nicht essentiellen Aminosäuren, außer der oben genannten, zu finden sind.

4.6 Vergleich von Bedarfswerten und Aminosäuremustern verschiedener Spezies für Erhaltung und Wachstum

In Tabelle 55 sind die geschätzten Erhaltungsbedarfswerte für essentielle Aminosäuren der vorliegenden Studie und aus der Literatur aufgeführt. Beim Vergleich zwischen den verschiedenen Spezies fällt auf, daß Ratten einen insgesamt höheren Bedarf an essentiellen Aminosäuren haben als Schweine und Menschen. Nach diesen Werten haben Ratten einen Bedarf von durchschnittlich ca. 300 mg EAS/kg^{0,75}/d während Schweine eine Menge von ca. 200 mg EAS/kg^{0,75}/d und Menschen ca. 80 mg EAS/kg^{0,75}/d benötigen. Möglicherweise resultieren die höheren Angaben für Ratten aus der höheren Stoffwechselaktivität der Tiere. Allerdings zeigen Messungen der Proteinsynthese verschiedener landwirtschaftlicher Nutztiere, wie Geflügel, Schweine und Rinder, daß die Proteinsyntheseraten bezogen auf die metabolische Lebendmasse sehr ähnlich sind und im Bereich von 30 g/kg^{0,75} liegen (SIMON 1989). Ein wesentlicher Einfluß der Größe von Tieren auf den Proteinturnover besteht demnach scheinbar nicht. Die Bedarfswerte für den Menschen wurden schon in mehreren Stellen in der Literatur als wahrscheinlich „unterschätzt“ angesehen (MEGUID et al. 1986a; MEGUID et al. 1986b; MEREDITH et al. 1986; YOUNG 1986; ZHAO et al. 1986; WELLER et al. 1971;). So wurde anhand von Tracermethoden die Kinetik von Lysin, Threonin, Valin und Leucin bei unterschiedlich hoher Zufuhr der jeweiligen Aminosäure gemessen. Die empfohlenen Mengen der Zufuhr dieser Aminosäuren erzeugten in allen Fällen eine negative Bilanz der Aminosäure, was auf eine inadäquate Versorgung schließen läßt. Die in der vorliegenden Studie ermittelten

Werte für ausgewachsene Sauen stimmen weitgehend mit den Werten für wachsende Schweine überein. Es ergaben sich nur kleine Verschiebungen in den Bedarfszahlen. In vorliegender Untersuchung wurden ausschließlich ausgewachsene Tiere verwendet, die keinerlei Leistung zu erbringen hatten. Folglich waren auch keine Einflüsse von Leistungsparametern gegeben. Möglicherweise könnten bei den Messungen am wachsenden Schwein Einflüsse durch das Wachstum auf die Bedarfsbestimmung bestanden haben, was zu den geringfügigen Veränderungen geführt haben könnte. Im Vergleich zu den Messungen an Jungsauen von BAKER et al. (1966a,b,c) und BAKER und ALLEE (1970) im N-Gleichgewicht liegen die in der vorliegenden Untersuchung ermittelten Werte höher. Selbst die bei einem N-Ansatz von 1 g/d angegebenen Bedarfszahlen liegen im Durchschnitt leicht erniedrigt. Dabei ist zu bedenken, daß die Zahl der Tiere je gemessener Aminosäure in diesen Untersuchungen meistens nur drei oder weniger war. Außerdem wurden die in den Futterkomponenten enthaltenen Kontaminationen an Aminosäuren nicht bei der Bedarfsberechnung berücksichtigt. Die Analyse der Stärkekomponente unserer Diät ergaben Konzentrationen an Aminosäuren, die nicht vernachlässigbar waren und folglich angerechnet wurden.

In der vorliegenden Studie wurden neben der N-Ausscheidung über den Harn und den Kot auch die N-Verluste über die Körperoberfläche bestimmt. Die ermittelten Bedarfswerte sind deshalb ohne und mit den Oberflächenverlusten dargestellt (Tabelle 55). Da die Verluste über die Körperoberfläche auch zu den obligatorischen Verlusten im Stoffwechsel gehören, sollten sie zur Bedarfsbestimmung mit herangezogen werden.

Tabelle 55: Schätzungen von Erhaltungsbedarfswerten der essentiellen Aminosäuren verschiedener Spezies

| | adultes Schwein | adultes Schwein | wachsendes Schwein | Jungsau * | wachsende Ratte | adulte Ratte | Mensch |
|---|---|---|-------------------------|--|-------------------------------|-----------------------------|-------------|
| Bedarfs- werte in [g/kg ^{0,75} /d] | vorliegende Studie ohne Oberflächen- verluste | vorliegende Studie mit Oberflächen- verlusten | Fuller et al. (1989) | Baker et al. 1966a,b,c Baker & Allee (1970) | Heger & Frydrych (1985) | Said & Hegsted (1970) | Rose (1957) |
| Thr | 40 | 43 | 53 | 39 (24) | 54 | 46 | 21 |
| Lys | 38 | 47 | 36 | 25 (6) | 11 | 34 | 33 |
| M+C | 37 | 39 | 49 | 26 (12) | 43 | 43 | 46 |
| Met | k.E. | k.E. | 9 | n.b. | n.b. | 11 | n.b. |
| Trp | 11 | 12 | 11 | 5 (2) | 8 | 10 | 10 |
| P+T | k.E. | k.E. | 37 | 21 (0) | 52 | 53 | 46 |
| Phe | 17 | 20 | 18 | n.b. | n.b. | 31 | n.b. |
| Ile | 20 | 24 | 16 | 30 (20) | 31 | 47 | 29 |
| Leu | k.E. | k.E. | 23 | 0 | 31 | 44 | 46 |
| Val | 23 | 25 | 20 | 21 (11) | 40 | 47 | 33 |

*Angaben für einen N-Ansatz von 1 g/d, Angaben in Klammern für N-Bilanz von 0; k.E. = kein Ergebnis ;
n.b. = nicht bestimmt;

In Abbildung 14 ist das Muster des idealen Proteins für die Erhaltung mit dem Muster für Erhaltung + Laktation (NRC 1998) und Erhaltung + Wachstum (NRC 1998) aufgezeigt. In der Graphik ist deutlich zu erkennen, daß es erhebliche Unterschiede zwischen dem Muster für die Erhaltung und dem Muster für Laktation und Wachstum gibt. In Untersuchungen an wachsenden Schweinen (FULLER et al 1989), wachsenden (BENEVENGA et al. 1994) und adulten Ratten (SAID und HEGSTED 1970) wurden ebenfalls unterschiedliche Aminosäurenmuster für Wachstum und Erhaltung ermittelt. Die Aminosäuren Threonin, Methionin+Cystein und Tryptophan gewinnen in der Erhaltung an Wichtigkeit. Phenylalanin und Valin werden in ihrem Anteil am idealen Protein geringer. Der Anteil von Isoleucin bleibt unverändert. Für Methionin, Phenylalanin+Tyrosin und Leucin konnten in der vorliegenden Studie zwar keine Bedarfswerte festgelegt werden, aufgrund der Literatur (FULLER et al. 1989;) sind Methionin und Phenylalanin+Tyrosin verglichen mit dem Erhaltungsbedarf für Wachstum und Laktation etwa in demselben Maß erforderlich. Bei Leucin ist der Anteil am idealen Protein für Erhaltung deutlich geringer als für Leistung

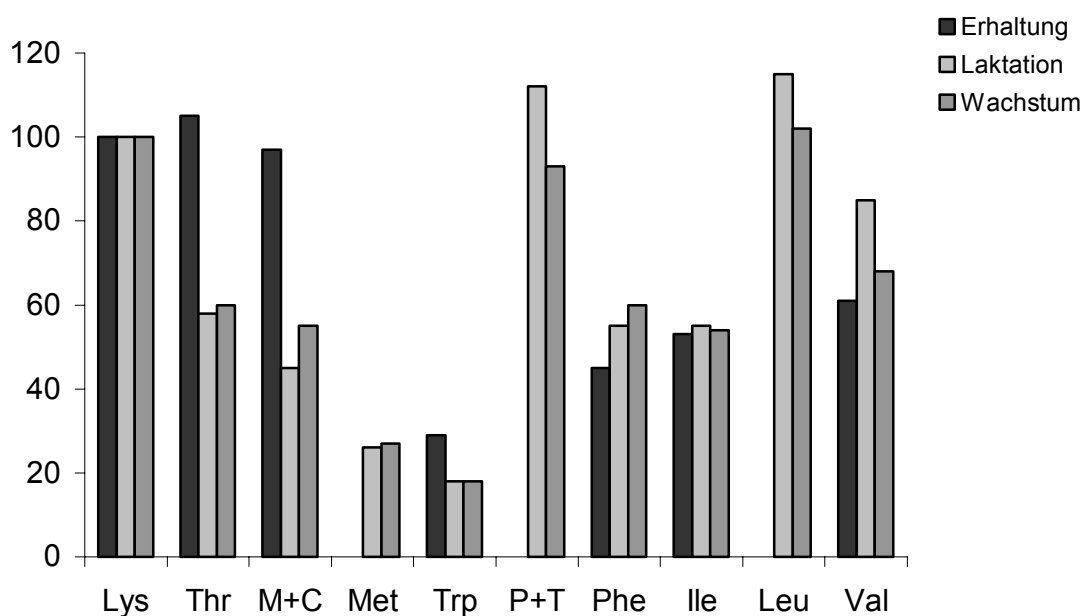


Abbildung 14: Vergleich der Aminosäuremuster für Erhaltung, Laktation und Wachstum (Erhaltung: vorliegende Studie; Laktation: NRC 1998; Wachstum: NRC 1998; Lys = 100)

4.7 Schlußbetrachtung

COLE (1979) und ARC (1981) orientierten sich bei der Bestimmung des idealen Proteins an der Aminosäurezusammensetzung des Körperproteins. Da die Zusammensetzung des Körperproteins nur wenig mit steigender Lebendmasse, unterschiedlichem Zuwachs, sowie zwischen Geschlecht und Rasse variiert (KIRCHGESSNER et al. 1989; SIEBERTS et al. 1986;), kann die Aminosäurezusammensetzung des Gesamtkörpers als Maßstab für die Aminosäurezusammensetzung des Futters herangezogen werden. Dieses Konzept vernachlässigt allerdings die Tatsache, daß Aminosäuren neben der Bildung von Körperprotein auch noch Aufgaben bei der Aufrechterhaltung des Stoffwechsels haben. Der Bedarf für die Aufrechterhaltung des Stoffwechsels wird Erhaltungsbedarf genannt. Das Muster des idealen Proteins für die Erhaltung unterscheidet sich von dem für Leistung. Das liegt daran, daß sich die Aminosäurezusammensetzung der Proteine, die in der Erhaltung produziert werden, von denen für Leistung unterscheiden. So ist der Anteil an gebildetem Muskelprotein nur auf die teilweise Erneuerung, den Turnover, beschränkt, während ein zusätzlicher Proteinansatz nicht vorliegt. Dagegen werden hauptsächlich Proteine mit hoher Umsatzrate, wie Enzyme und Proteine in Organen mit hoher Stoffwechselaktivität, synthetisiert. Außerdem werden für den Stoffwechsel

notwendige Nicht-Protein-Produkte aus Aminosäuren hergestellt. Darunter fallen Hormone (Catecholamine, Schilddrüsenhormone), Neurotransmitter, Nucleinsäuren und Moleküle wie Kreatin oder Taurin. Die verschiedenen Aminosäuremuster für Erhaltung und Leistung wurden bislang vorwiegend an wachsenden Schweinen ermittelt (FULLER et al. 1989). Auch an Jungsauen wurden Untersuchungen zum Erhaltungsbedarf essentieller Aminosäuren gemacht (BAKER und ALLEE 1970; BAKER et al. 1966 a, b, c;). Es stellte sich jedoch die Frage, inwieweit der Leistungsparameter Wachstum diese Untersuchungen beeinflussten. Es schien deshalb sinnvoll den Erhaltungsbedarf an ausgewachsenen Tieren, die keinerlei Leistung zu erbringen hatten, zu messen.

Die vorliegenden Dosis-Wirkungs-Studien bestätigten, daß sich das Aminosäuremuster der essentiellen Aminosäuren für die Erhaltung von denen für Leistung unterscheidet. Dabei wurde festgestellt, daß der Anteil der Aminosäuren wie Threonin, Methionin + Cystein und Tryptophan bezogen auf Lysin größer wird. Phenylalanin und Valin werden dagegen relativ zu Lysin weniger gebraucht. Für die Aminosäuren Methionin, Leucin und Phenylalanin + Tyrosin konnten keine Bedarfswerte ermittelt werden. Im Fall von Methionin könnte der Grund dafür sein, daß der Bedarf dieser Aminosäure für die Erhaltung sehr gering ist. Möglicherweise ist die Bestimmung des Bedarfs über die N-Bilanz nicht empfindlich genug, um diesen Bedarf zu erfassen. Für Leucin stellen sich dieselben Fragen. In Untersuchungen an Jungsauen wurden bei Leucindepletion keine negativen Bilanzen erreicht (BAKER und ALLEE 1970). Die Bilanzwerte für diese Aminosäuren Studie bewegten sich in der vorliegenden Studie nahe dem N-Gleichgewicht. Eine Erklärung dafür könnte sein, daß die labilen Reserven, die in Kapitel 4.4 beschrieben werden, ausreichen um den Bedarf über den Versuchszeitraum zu decken. Ein weiterer Punkt der unter diesen Umständen betrachtet werden sollte, ist, daß das N-Gleichgewicht nicht unbedingt ein Aminosäuregleichgewicht bedeutet (FULLER und GARLICK 1994). Histidin gilt bei wachsenden Tieren als essentiell, während die Essentialität für die Erhaltung schwer nachzuweisen ist, da höchstwahrscheinlich Carnosin im Muskel, das aus einem Dipeptid aus Alanin und Histidin besteht, und Hämoglobin, das reich an Histidin ist, mobilisierbare Speicher für diese Aminosäure darstellen (LÖFFLER und PERITRIDES 1984; BAKER et al 1966a; ROSE et al. 1951; ROSE und RICE 1939;). Das heißt, daß bei Histidin-freier Ernährung über einen relativ langen Zeitraum keine Veränderungen in der N-Bilanz auftreten, obwohl der Körper an Histidin verarmt. Da für Phenylalanin ein Bedarfswert ermittelt werden konnte, stellt sich die Frage, warum der Stoffwechsel auf die Depletion der beiden Aminosäuren Phenylalanin + Tyrosin nicht wenigstens in dem gleichen Maß reagierte wie bei einem einfachen Phenylalaninmangel. Ebenso ist fraglich, warum die Phe-Gehalte im Blut bei

Phe+Tyr-Mangel nicht so weit abgesunken sind wie bei Phe-Mangel. Diese Aspekte müßten in weiteren Untersuchungen noch genauer abgeklärt werden.

Die Höhe der Bedarfszahl einer Aminosäure wird zu einem großen Anteil von der endogenen Ausscheidung der Aminosäure gebildet. In der vorliegenden Studie wurden Anteile von bis zu 74 % geschätzt. In der Regel bildete die endogene Ausscheidung einer Aminosäure 30 % des Bedarfs. Wie in der Veröffentlichung von JANSMANN et al. (1999) zusammengefaßt, ist die endogene Ausscheidung von Aminosäuren abhängig von der Trockenmasseaufnahme der Tiere. Das heißt, daß die endogenen Ausscheidungen mit zunehmender TM-Aufnahme linear ansteigen. Die Bedarfsangaben für Aminosäuren der vorliegenden Studie wurden bei einer TM-Aufnahme von 0,031 kg je kg metabolische Lebendmasse ermittelt. Damit ergibt sich durch die unterschiedlichen LM der Tiere eine Zufuhr an TM von 1,5 bis 1,9 kg. Für Threonin, das den größten Anteil an den endogen ausgeschiedenen Aminosäuren hat, bedeutet das tägliche Verluste von 0,915 bis 1,159 g. Innerhalb dieser Studie ergaben sich durch die TM-Aufnahme vernachlässigbare Unterschiede in der endogenen Ausscheidung der Tiere, wenn sie auf die metabolische LM der Tiere bezogen wurde. Es stellt sich jedoch die Frage, inwieweit sich die endogenen Ausscheidung von Aminosäuren auf den Erhaltungsbedarf hochträchtiger oder laktierender Sauen auswirkt. Bei hochträchtigen Sauen dürften keine großen Auswirkungen auftreten, da sich die aufgenommene Futtermenge von ca. 2,5 kg, bei Verwendung eines Alleinfutters für tragende Sauen, nicht sehr von der für Erhaltung unterscheidet. In der Laktation jedoch, in der Futtermengen von 4,5 bis 5,5 kg Alleinfutter eingesetzt werden, bedeutet das mindestens eine Verdopplung der endogenen Verluste an Aminosäuren. Für diese Situation müßte noch geklärt werden, ob bei der faktoriellen Bedarfsableitung noch Zuschläge auf die Bedarfsangaben essentieller Aminosäuren notwendig werden.

In dieser Studie wurden die Werte für den Erhaltungsbedarf essentieller Aminosäuren mit Hilfe einer chemisch definierten Diät, in der die Proteinkomponente aus kristallinen Aminosäuren bestand, ermittelt. Die Verdaulichkeit der kristallinen Aminosäuren wurde mit 100 % angenommen (WANG 1988). Unter praktischen Bedingungen liegen die Verdaulichkeiten für Aminosäuren der Futterkomponenten in variabler Höhe vor. Um das Aminosäuremuster für die Erhaltung in der Praxis etablieren zu können, müssen deshalb die jeweiligen Verdaulichkeiten der einzelnen Futteraminosäuren berücksichtigt werden.

5 Zusammenfassung

Im Hinblick auf die Gestaltung des idealen Proteins in der Schweinefütterung stellte sich die Frage nach dem Erhaltungsbedarf essentieller Aminosäuren für ausgewachsene, nicht in Leistung befindliche Sauen. Ziel dieser Studie war es, den Erhaltungsbedarf einzelner essentieller Aminosäuren bei N-Gleichgewicht zu bestimmen. Dazu wurden in der Versuchsanlage des Instituts für Ernährungswissenschaften sechs Versuche mit insgesamt 183 N-Bilanzen durchgeführt. Die zu untersuchenden Aminosäuren wurden in verschiedenen Gehaltsstufen in einer chemisch definierten Diät, deren einzige N-Quelle kristalline Aminosäuren waren, verfüttert. Das Aminosäuremuster der Rationen lehnte sich an die von FULLER et al. (1989) an wachsenden Schweinen ermittelten Werte an, wobei ein Sicherheitszuschlag von 20 % gemacht wurde, um die Bedarfsdeckung sicherzustellen. Die Zufuhr an essentiellen Aminosäuren entsprach also 120 % des nach FULLER et al. (1989) ermittelten Bedarfs. Die zu untersuchende Aminosäure wurde in den Gehaltsstufen 100, 60, 30 und 0 % des angenommenen Bedarfs eingesetzt. In Versuch 2 wurden für Threonin die Stufen 100, 50, 25 und 0 % verwendet. Die Gehalte aller anderen essentiellen Aminosäuren blieben in allen Rationen konstant. Der durch die Depletion der einen Aminosäure fehlende Stickstoff wurde durch die Zugabe nichtessentieller Aminosäuren ausgeglichen. Die N-Zufuhr war außer in Versuch 2 (Zufuhr 0,262 g N/kg^{0,75}/d) bei durchschnittlich 0,312 g N/kg^{0,75}/d, was einer praxisüblichen Versorgung mit Rohprotein von 2,5 g/kg^{0,75}/d entspricht. Vier Tiere gehörten einer Gruppe an, der die Rationen einer Aminosäure in absteigender Reihenfolge der Gehaltsstufen verabreicht wurde. Dabei wurde die N-Ausscheidung in Harn und Kot gemessen. Anschließend wurde die Regression der N-Bilanz in Abhängigkeit von der Zufuhr der zu untersuchenden Aminosäure bestimmt. Wenn eine signifikante Korrelation zwischen den beiden Parametern bestand, konnte der Bedarf der Aminosäure, anhand der linearen Regression, bei einer N-Bilanz von 0 ermittelt werden. Ein Versuch wurde zur Bestimmung der N-Verluste über die Körperoberfläche durchgeführt. Außer den N-Bilanzen wurden die freien Aminosäuren im Blutplasma und Stickstoff-Stoffwechselfparameter im Harn (Allantoin, Ammonium, Kreatinin, Harnstoff) erfaßt.

Da der Erhaltungsbedarf an Aminosäuren im Vergleich zum Leistungsbedarf für Wachstum oder Laktation relativ gering ist, wurden die N-Verluste über die Körperoberfläche bei der Bedarfsbestimmung miteinbezogen. Dazu wurde im ersten Versuch mit Hilfe eines Tierstaubsaugers über fünf Tage abgestoßene Hautpartikel und Haare der Tiere gesammelt. Der gemittelte tägliche N-Verlust der Tiere betrug demnach 0,501 g N/d, oder bezogen auf die

metabolische Lebendmasse der Tiere $0,010 \text{ g N/kg}^{0,75}/\text{d}$. Dieser auf die LM bezogene Wert wurde bei der Bestimmung des N-Gleichgewichts der Bilanzen herangezogen.

Im zweiten Versuch wurde Threonin vier Tieren nacheinander in absteigender Reihenfolge in vier Gehaltsstufen verabreicht. Die Threoninaufnahme lag zwischen 57 und $4 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$. Durch die tägliche Bestimmung der N-Bilanz konnte festgestellt werden, daß sich der Stoffwechsel der Tiere innerhalb eines Tages auf die Absenkung mit Threonin eingestellt hatte. Diese Untersuchung ergab wichtige Daten zur Gestaltung des weiteren Versuchsablaufs. Außerdem wurde mit den N-Bilanzwerten der unteren drei Threoninstufen der Bedarf dieser Aminosäure bestimmt. Der Bedarf für Threonin wurde mit $40 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$, und bei Einbeziehung der Oberflächenverluste mit $43 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$ ermittelt.

Der dritte, vierte und fünfte Versuch beinhaltet die N-Bilanzstudien der Aminosäuren Lysin, Methionin + Cystein, Methionin, Tryptophan, Phenylalanin + Tyrosin, Phenylalanin, Isoleucin, Leucin und Valin. Die Aminosäuren wurden jeweils an vier Tieren wiederum nacheinander in absteigender Reihenfolge der vier Gehaltstufen untersucht. Bei der Depletion von Valin und Tryptophan kam es zu Problemen bei der Futteraufnahme, die zum Ausschluß einiger Tiere führte. In Versuch 6 wurden diese Versuche ergänzt. Für die Aminosäuren Methionin, Leucin und Phenylalanin + Tyrosin konnte kein Bedarf ermittelt werden. Die N-Bilanzen wurden durch die Depletion an diesen Aminosäuren nicht beeinflusst. Für Isoleucin konnte nur ein Trend beobachtet werden. Im Versuch 6 wurden deshalb für Isoleucin, Leucin und Phenylalanin + Tyrosin drei weitere Gehaltsstufen getestet. Bei Isoleucin konnte daraufhin ein Bedarf festgelegt werden. Bei den beiden anderen blieb die N-Bilanz unbeeinflusst von der Zufuhr der Aminosäuren. Die ermittelten Bedarfswerte der Aminosäuren sind: Thr $40 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$, Lys $38 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$, Met+Cys $37 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$, Trp $11 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$, Phe $17 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$, Ile $20 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$, Val $23 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$. Werden die N-Verluste über die Körperoberfläche mit einbezogen, ergeben sich folgende Bedarfswerte: Thr $43 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$, Lys $47 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$, Met+Cys $39 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$, Trp $12 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$, Phe $20 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$, Ile $24 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$, Val $25 \text{ mg/kg}^{0,75}/\text{d}$. Durch die Depletion einer Aminosäure konnte eine erniedrigte Konzentration dieser Aminosäure im Blutplasma beobachtet werden. Auswirkungen auf die Ausscheidung von Stoffwechselfparametern im Harn, durch die erniedrigte Zufuhr einer Aminosäure, wurden in den meisten Fällen nicht festgestellt.

Außer der Durchführung der notwendigen Ergänzungen und Erweiterungen für die vorangegangenen Versuche wurde in Versuch 6 die Auswirkung einer N-freien Diät auf die N-Bilanz von acht Tieren untersucht. Damit wurde die negativste Bilanz dieser Studien erreicht. Mit Hilfe der linearen Regression wurde der Zusammenhang zwischen der N-Aufnahme und der

N-Bilanz hergestellt und im N-Gleichgewicht ein N-Bedarf von $0,323 \text{ g N/kg}^{0,75}/\text{d}$ geschätzt. Im Blut ergaben sich durch die proteinfreie Ernährung erniedrigte Konzentrationen an Alanin, Glutamin, Glutaminsäure und Tryptophan. Alle anderen Aminosäuregehalte waren nicht beeinflusst. Außer der erniedrigten Ausscheidung an Ammonium und Harnstoff im Harn, konnten keine Auswirkungen auf die anderen N-Stoffwechselfparameter beobachtet werden.

Die in dieser Studie ermittelten Werte verdeutlichen, daß sich das Muster des idealen Proteins für die Erhaltung von dem für Leistung unterscheidet. Aminosäuren wie Threonin, Methionin + Cystein und Tryptophan gewinnen im Bezug auf Lysin an Wichtigkeit. Phenylalanin und Valin werden in ihrem Anteil am idealen Protein geringer. Der Anteil von Isoleucin bleibt unverändert. Die gewonnenen Werte dienen der faktoriellen Bedarfsbestimmung von Schweinen, um daraus das ideale Protein für ein Tier in einem bestimmten physiologischen Status abschätzen und in der praktischen Fütterung realisieren zu können.

6 Summary

With regard to the evaluation of the “Ideal protein” for pigs the question came up for the requirement of essential amino acids of adult sows in maintenance metabolism. The aim of this study was to estimate the maintenance requirement for each essential amino acid for N-equilibrium. Therefore six trials including 183 N-balances were conducted at the Experimental Plant of the Institute of Nutrition Sciences. The only source of N in the chemically defined diet were crystalline amino acids. The respective amino acid under study was fed in various contents in the diet. The amino acid pattern of the diet was adjusted to the requirement estimated by FULLER et al. (1989) for growing pigs. To this composition it was given an addition of 20 % to be sure to meet the supply. Thus the supply of the amino acids was 120 % of the requirement estimated by FULLER et al. (1989). The contents of the examined amino acid in the diet were 100, 60, 30 and 0 % of the estimated requirement. For threonine (second trial) there were used contents like 100, 50, 25 and 0 %. The contents of all other amino acids were constant at the level of 120 % in all diets. The lacking N caused by the depletion of one amino acid was given in form of non-essential amino acids. On average, the supply of nitrogen was $0.312 \text{ gN/kg}^{0.75}/\text{d}$, except for trial 2 ($0.262 \text{ gN/kg}^{0.75}/\text{d}$). this means a crude protein supply of $2.5 \text{ g/kg}^{0.75}/\text{d}$. Each group consisted of four sows, to which the diets of one amino acid were given in descending sequence of the contents of the amino acid. During this time the excretion of N in feces and urine was measured. Then the N-balance was set into correlation to the input of the amino acid. If there was a significant correlation then the requirement of the amino acid was determined at N-equilibrium using the linear regression equation. One trial was made to determine the N losses as skin and hair. Besides the N balances the free amino acids in blood plasma and parameters of the N metabolism in the urine (ammonia, allantoin, creatinine, urea) were measured.

The maintenance requirement of amino acids is relatively small compared with the requirement for protein accretion or lactation, and therefore the N losses as skin and hair were included when the requirement was estimated. Over five days debris of skin and hair was collected with a special vacuum cleaner for animals. The daily loss of N was $0.501 \text{ g/kg}^{0.75}/\text{d}$ or applied to the metabolic body weight $0.010 \text{ g/kg}^{0.75}/\text{d}$.

In the second trial threonine was given to four sows in descending sequence of the content of threonine. The threonine input was 57 to 4 $\text{g/kg}^{0.75}/\text{d}$. With the daily estimation of the N balances it could be found that the metabolism of the sows was adjusted to the depletion of threonine within one day. These studies gave important results for the further experimental

procedure. The balance results of the diets containing 50, 25 and 0 % of threonine were used to estimate the requirement of threonine. The requirement of threonine at N equilibrium was 40 mg/kg^{0.75}/d and 43 g/kg^{0.75}/d when N losses as skin and hair are included.

The third, fourth and fifth trial contained the N balance studies of the amino acids lysine, methionine+cysteine, methionine, tryptophan, phenylalanine+tyrosine, phenylalanine, isoleucine, leucine and valine. Each amino acid was tested on a group of four sows. And again the diets were used in descending sequence of the dietary content of the amino acid under study. The depletion of valine or tryptophan resulted in problems with feed intake so that some of the sows had to be eliminated from the trial. These lost results were completed in trial 6. The N balance was not influenced by the depletion of the amino acids Met, Ile, Leu and Phe+Tyr. Thus the estimation on the requirement could not be derived. Therefore three further dietary contents of the amino acids were tested in trial 6. Thereupon it was possible to establish the requirement for isoleucine. With the other amino acids no influence of the depletion of the amino acid on the N balance could be found.

The requirements of the amino acids are as follows: Thr 40 mg/kg^{0.75}/d, Lys 38 mg/kg^{0.75}/d, Met+Cys 37 mg/kg^{0.75}/d, Trp 11 mg/kg^{0.75}/d, Phe 17 mg/kg^{0.75}/d, Ile 20 mg/kg^{0.75}/d, Val 23 mg/kg^{0.75}/d. When the N losses by skin and hair are included the requirements are as follows: Thr 43 mg/kg^{0.75}/d, Lys 47 mg/kg^{0.75}/d, Met+Cys 39 mg/kg^{0.75}/d, Trp 12 mg/kg^{0.75}/d, Phe 20 mg/kg^{0.75}/d, Ile 24 mg/kg^{0.75}/d, Val 25 mg/kg^{0.75}/d.

The depletion of one amino acid reduced its concentration in blood plasma. In general, omission of one amino acid did not effect the excretion of metabolites of the N metabolism. The effect of a N-free diet (8 sows) was tested in trial 6 also. The most negative balance of all studies was achieved with the complete omission of N. Then the linear regression of the N-balance in correlation to the N input was determined and the requirement of nitrogen could be estimated at N equilibrium (0.323 gN/kg^{0.75}/d). With the N-free diet the concentrations of Ala, Gln, Glu and Trp in blood plasma were reduced. The other amino acids were not influenced by N depletion. The excretion of ammonia and urea in urine was decreased.

The results of this study elucidate that the amino acid pattern required for maintenance is different from that for protein accretion or lactation, such as greater importance of Thr, Met+Cys, and Trp compared to Lys. The portion of Phe and Val in the ideal protein is decreased. The estimated results may serve to the factorial estimation of requirement for pigs. It is then possible to create the pattern of the ideal protein for an animal in a certain physiological status and to realize it under practical feeding conditions.

7 Literaturverzeichnis

Abumrad, N.N.; Robinsom, R.P.; Gooch, B.R.; Lacy, W.W.; (1982): The effect of leucine infusion on substrate flux across the human forearm.

J. Surg. Res. 32 : 453-463

Adibi, S.A.; Peterson, J.A.; Krzysik, B.A.; (1975): Modulation of leucine transaminase activity by dietary means.

J. Physiol. 228: 432-435

Anderson, G.H.; (1977): Regulation of protein intake by plasma amino acids.

In: Advances in nutritional research (ed. Draper H.N.) vol.1 Plenum Publ. Corp.; pp. 145-155

Anderson, G.H.; (1979): Control of protein and energy intake: role of plasma amino acids and brain neurotransmitters (review).

Can. J. Physiol. Pharmacol. 57: 1043-1057

ARC (Agricultural Research Council) (1981): The Nutrient Requirement of Pig. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, England

Ballèvre, O.; Cadenhaed, A.; Calder, A.G.; Rees, W.D.; Lobley, G.E.; Fuller, M.F.; Garlick, P.J.; (1990): Quantitative partition in threonine oxidation in pigs: effect of dietary threonine.

Am. J. Physiol. 261: E483-E491

Ballèvre, O.; Houlier, M.L.; Prugnaud, J.; Bayle, G.; Bercovici, D.; Sève, B.; Arnal, M.; (1991) : Altered partition of threonine metabolism in pigs by protein-free feeding or starvation.

Am. J. Physiol. 261: E748-E757

Baker, D.H.; Becker, D.E.; Norton, H.W.; Jensen, A.H.; Harmon, B.G.; (1966a): Some qualitative amino acid needs of adult swine for maintenance.

J. Nutr. 88: 382-390

Baker, D.H.; Becker, D.E.; Norton, H.W.; Jensen, A.H.; Harmon, B.G.; (1966b): Quantitative evaluation of the threonine, isoleucine, valine and phenylalanine needs of adult swine for maintenance.

J. Nutr. 88: 391-396

Baker, D.H.; Becker, D.E.; Norton, H.W.; Jensen, A.H.; Harmon, B.G.; (1966c): Quantitative evaluation of the tryptophan, methionine and lysine needs of adult swine for maintenance.

J. Nutr. 88: 441-447

Baker, D.H.; Allee, G.L.; (1970): Effect of dietary carbohydrate on assessment of the leucine need for maintenance of adult swine.

J. Nutr. 100: 277-280

Baker, D.H.; Fernandez, S.R.; Parsons, C.M.; Edwards III, H.M.; Emmert, J.L.; Webel, D.M.; (1996): Maintenance requirement for valine and efficiency of its use above maintenance for accretion of whole body valine and protein in young chicks.

J. Nutr. 126: 1844-1851

Benevenga, N.J.; Gahl, M.J.; Crenshaw, T.D.; Finke, M.D.; (1994): Protein and amino acid requirements for maintenance and amino acid requirements for growth of laboratory rats.

J. Nutr. 124: 451-453

Bergner, H.; (1989): N-Stoffwechsel und seine Regelmechanismen.

Arch. Anim. Nutr. 39: 377-392

Bergner, H.; Münchow, H.; Wirthgen, B.; (1968): Untersuchungen zur Proteinbewertung von Futtermitteln. 4. Enzymaktivitätsveränderungen von LAP, Arginase, GPT und GOT im Schweineblutserum bei unterschiedlicher Eiweißernährung

Arch. Anim. Nutr. 18: 5-16

Bergner, H.; Krieghoff, E.; (1975): Determination of methionine requirements with ³⁵S-methionine as made on basis of metabolic data.

Arch. Anim. Nutr. 25: 411-420

Bergner, H.; Nguyen, T.N.; Wilke, A. (1987): Methodical investigations on the metabolism-orientated determination of the lysine requirement in broiler chickens. 1. Influence of the dietary lysine content on the lysine oxidation after short-term feed withdrawal before ¹⁴C-lysine injection.

Arch. Anim.Nutr. 37: 29-46

Beyer, M.; Jentsch, W.; Hoffman, L.; Schiemann, R.; (1995): Untersuchungen zum Energie- und Stickstoffumsatz von graviden und laktierenden Sauen sowie von Saugferkeln. 6. Mitteilung-Vergleichende Energie- und Stickstoffumsatzmessungen an gütigen und graviden Sauen.

Arch. Anim. Nutr. 47: 187-217

Bird, M.I.; Nunn, P.B.; (1984): Metabolic homeostasis of L-threonine in the normally fed rat: importance of liver threonine dehydrogenase activity.

Biochem. J. 214: 687-694

Block, K.P.; Soemitro, S.; Heywood, B.W.; Harper, A.E.; (1985): Activation of liver branched-chain alpha-keto acid dehydrogenase in rats by excesses of dietary amino acids.

J. Nutr. 115: 1550-1561

Bravo, F.O.; Meade, R.J.; Stockland, E.L.; Nordstrom, J.W.; (1970): Reevaluation of the isoleucine requirement of the growing pig- Plasma free isoleucine as a response criterion.

Anim. Sci. 31: 1137-1141

Brookes, I.M.; Owens, F.N.; Garrigus, U.S.; (1972): Influence of amino acid level in the diet upon amino acid oxidation by the rat.

J. Nutr. 102: 27-35

Calvert, C.C.; Klasing, K.C.; Austic, R.E.; (1982): Involvement of food intake and amino acid catabolism in the branched chain amino acid antagonism in chicks.

J. Nutr. 112: 627-635

Carr, J.R.; Boorman, K.N.; Cole, D.J.A.; (1977): Nitrogen retention in the pig.

Br. J. Nutr. 37: 143-155

Cave, N.A.G.; van Wambeke, F.; De Grootte, G.; (1990): Sulfur amino acid requirements of broiler breeder hens.

Arch. Geflügelk. 54: 115-119

Chan, W.; Walser, M.; (1978): Effect of branched-chain ketoacids and dietary protein content on the activity of branched-chain amino acid transferase in rat tissues.

J. Nutr. 108: 40-45

Chee, K.M.; Romsos, D.R.; Bergen, W.G.; Leveille, G.A.; (1981): Protein intake regulation and nitrogen retention in young obese and lean mice.

J. Nutr. 111: 58-67

Cho, E.S.; Anderson, H.L.; Wixom, R.L.; Hanson, K.C.; Krause, G.F.; (1984): Longterm effects of low histidine intake in men.

J. Nutr. 114: 369-384

Choi, T.B.; Pardridge, W.M.; (1986): Phenylalanine transport at the human blood brain barrier.

J. Biol. Chem. 261: 6536-6541

Chung, T.K.; Baker, D.H.; (1992): Ideal amino acid pattern for 10-kilogramm pigs.

J. Anim. Sci. 70: 3102-3111

Christman, A.A.; Foster, P.W.; Esterer, M.B.; (1944): The allantoin content of blood.

J. Biol.Chem. 155: 161-171

Clemens, R.A.; Kopple, J.D.; Swendseid, M.E.; (1978): Metabolic effects of histidine free diets in rats.

Fed. Proc. 37: 263

Clemens, R.A.; Kopple, J.D.; Swendseid, M.E.; (1984): Metabolic effects of histidine-deficient diets fed to growing rats by gastric tube.

J. Nutr. 114: 2138-2146

Close, W.H.; Noblet J.; Heavens R.P.; (1985): Studies on the energy metabolism of the pregnant sow: 2. The partition and utilization of metabolizable energy intake in pregnant and non-pregnant animals.

Br. J. Nutr. 53: 267-280

Dixon, J.L.; Harper, A.E.; (1981): Effect of dietary protein and meal feeding on subcellular activity of α -ketoisocaproate (KIC) and α -keto- γ -methiolbutyrate (KMBA) decarboxylation in rat liver.

Fed. Proc. 40: 900

D'Mello, J.P.F.; (1994): Amino acids in farm animal nutrition.

Cab International Wallingford

Easter, R.A.; Baker, D.H.; (1977): Nitrogen metabolism, tissue carnosine concentration and blood chemistry of gravid swine fed graded levels of histidine.

J. Nutr. 107: 120-125

Edwards III, H.M.; Baker, D.H.; Fernandez, S.R.; Parsons, C.M.; (1997): Maintenance threonine requirement and efficiency of its use for accretion of whole body threonine and protein in young chicks.

Br. J. Nutr. 78: 111-119

Elkin, R.G.; Featherston, W.R.; Rogler, J.C.; (1980): Effects of dietary phenylalanine and tyrosine on circulating thyroid hormone levels and growth in chicks.

J. Nutr. 110: 132-138

Featherstone, W.R.; Horn, G.W.; (1973): Dietary influences on the activities of enzymes involved in branched-chain amino acid catabolism in the chick.

J. Nutr. 103: 757-765

Fernstrom, J.D.; (1977): Effects of the diet on brain neurotransmitters.

Metabolism 26: 207-223

Fernstrom, J.D.; Wurtman, R.J.; (1972): Brain serotonin content: Physiological regulation by plasma neutral amino acids.

Sci. 178: 414-416

Fernstrom, J.D.; Faller, D.V.; (1977): Neutral amino acids in the brain: Changes to response in food ingestion.

J. Neurochem. 30: 1531-1538

Fernstrom, J.D.; Wurtman, R.J.; Hammarstrom-Wiklund, B.; Rand, W.M.; Munro, H.N.; Davidson, C.S.; (1979): Diurnal variations in plasma concentrations of tryptophan, tyrosine and other neutral amino acids: effect of dietary protein intake.

Am. J. Clin. Nutr. 32: 1912-1922

Fickler, J.; (1993): N-Bilanzstudien zum Einfluß nicht essentieller Aminosäuren auf den Proteinansatz von Aufzuchtferkeln.

Dissertation. TU München Freising-Weihenstephan

Fuller, M.F.; Boyne, A.W.; (1971): Effects of temperature and food intake in pigs.

Br. J. Nutr. 25: 259-272

Fuller, M.F.; Garlick, P.J.; (1994): Human amino acid requirements: can the controversy be resolved?

Annu. Rev. Nutr. 14: 217-241

Fuller, M.F.; McWilliam, R.; Wang, T.C.; Giles, L.R.; (1989): The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs.

Br. J. Nutr. 62: 255-267

Fuller, M.F.; Wang, T.C.; (1990): Digestible ideal protein – a measure of dietary protein value.

Pig News and Information. 11: 353-357

Gahl, M.J.; Finke, M.D.; Crenshaw, T.D.; Benevenga, N.J.; (1991): Use of a four-parameter logistic equation to evaluate the response of growing rats to ten levels of each indispensable amino acid.

J. Nutr. 121: 1720-1729

Gahl, M.J.; Finke, M.D.; Crenshaw, T.D.; Benevenga, N.J.; (1996): Efficiency of lysine or threonine in growing rats fed diets limiting in either lysine or threonine.

J. Nutr. 126: 3090-3099

Gebhardt, G.; Köhler, R.; Zebrowska, T.; (1978): Investigations into the nitrogen and amino acid absorption of swine. 2. The course of ¹⁵N labelling in chyme, urine and blood.

Arch. Anim. Nutr. 28: 11-20

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie); (1987): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere Nr. 4. Schweine.

DLG-Verlag Frankfurt/Main

Goldspink, D.T.; Kelly, F.J.; (1984): Proteinturnover and growth in the whole body, liver and kidney of the rat from the foetus to senility.

Biochem. J. 217: 507-516

Gruber, F.; (1985): Der Einfluß von Aminosäuren auf die Futteraufnahme von omnivoren Monogastriden.

Übers. Tierern. 13: 129-154

Hagenfeldt, L.; Eriksson, S.; Wahren, J.; (1980): Influence of leucine on arterial concentrations and regional exchange of amino acids in healthy subjects.

Clin. Sci. 59: 173-181

Hardy, A.J.; Morris, J.G.; Rogers, Q.R.; (1977): Valine requirement of the growing kitten.

J. Nutr. 107: 1308-1312

Hardy, M.E.III.; Baker, D.H.; Fernandez, S.R.; Parsons, C.M.; (1996): Maintenance threonine requirement and efficiency of its use for accretion of whole body threonine and protein in young chicks.

Br. J. Nutr. 78: 111-119

Hargrove, D.M.; Rogers, Q.R.; Morris, J.G.; (1984): Leucine and isoleucine requirements of the kitten.

Br. J. Nutr. 52: 595-605

Harper, A.E.; (1965): Effect of variations in protein intake on enzymes of amino acid metabolism.

Can. J. Biochem. 43: 1589-1603

Harper, A.E.; (1974): Editorial: "Nonessential" amino acids.

J. Nutr. 104: 965-967

Harper, A.E.; Miller, R.H.; Block, K.P.; (1984): Branched-chain amino acid metabolism.

Ann. Rev. Nutr. 4:409-454

Harper, A.E.; Benjamin, E.; (1984): Relationship between intake and rate of oxidation of leucine and alpha-ketoisocaproate in vivo in the rat.

J. Nutr. 114: 431-440

Harper, A.E.; Block, K.P.; Cree, T.C.; (1983): Branched chain amino acids: Nutritional and metabolic relationships.

In : Metabolisme et nutrition azotes. (eds. M. Arnal, R.Pion, D. Bonin) Institut National de la Recherche Agronomique Publ. No. 16 (1): 159-181

Harrison, L.M.; D'Mello, J.P.F; (1986): Large neutral amino acids in the diet and neurotransmitter concentrations in the chick brain.

Proc. Nutr. Soc. 45: 72A

Heger, J.; Frydrych, Z.; (1985): Efficiency of utilization of essential amino acids in growing rats at different levels of intake.

Br. J. Nutr. 54: 499-508

Heger, J.; Frydrych, Z.; Fronck, P.; (1987): The effect of nonessential nitrogen on the utilization of dietary protein in the growing rat.

J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 57: 130-139

Heger, J.; (1990): Non-essential nitrogen and protein utilization in the growing rat.

Br. J. Nutr. 64: 653-661

Heinonen, O.J.; Takala, J.; Kvist, M.; (1991): Effect of food restriction on tissue carnitine concentration in rats.

Clin. Nutr. 10: 85-90

Henry, Y.; (1995a): Effect of a dietary amino acid deficiency or imbalance during the initial period of growth in pigs on subsequent performance at slaughter.

Ann. Zootech. 44: 3-28

Henry, Y.; (1995b): Effects of dietary tryptophan deficiency in finishing pigs, according to age or weight at slaughter or life weight gain.

Livestock Prod. Sci. 41: 63-76

Henry, Y.; Pastuszewska, P.; (1976): Conséquence d'une régime en tryptophane chez le porc sur le niveau d'ingestion et les performance de croissance.

Annls Zootech. 25: 143-148

Herrmann, U.; Schneider, R.; (1981): Die Blutharnstoffkonzentration, ein Parameter zur Beurteilung des Proteinstoffwechsels bei tragenden Sauen.

Arch. Tierernahr. 31: 471-479

Hiramatsu, T.; Fukagawa, N.K.; Marchini, J.S.; Cortiella, J.; Yu, Y.M.; Chapman, T.E.; Young, V.R.; (1994): Methionine and cysteine kinetics at different intakes of cystine in healthy adult men.

Am. J. Clin. Nutr. 60: 525-533

Holmes, C.W.; McLean, N.R.; (1974): The effect of low ambient temperatures on the energy metabolism of sows.

Anim. Prod. 19:1

Hutchison, S.N.; Zarghami, N.S.; Cusick, P.K.; Longenecker, J.B.; Haskell, B.E.; (1983): The effect of valine deficiency on neutral amino acid patterns in plasma and brain of the rat.

J. Nutr. 113: 2164-2170

Ichihara, A.; Takahashi, H.; Aki, K.; Shirai, A.; (1967): Transaminase of branched-chain amino acids. II. Physiological change in enzyme activity in rat liver and kidney.

Biochem. Biophys. Res. Commun. 26: 674-678

Itzquierdo, O.A.; Wedekind, K.J.; Baker, D.H.; (1988): Histidine requirement of the young pig.

J. Anim. Sci. 66: 2886-2892

Jansmann, A.J.M.; Smink, W.; Van Leeuwen, P.; Rademacher, M.; Blok, M.C.; (1999): Amount and amino acid composition of basale endogenous crude protein at the terminal ileum of pigs.

In: Standardisierte ileale Verdaulichkeit von Aminosäuren für Schweine. Das neue System, 1999. Degussa Hüls AG, Frankfurt/Main

Jones, M.L.; Kimbrough, T.D.; Weekley, L.B.; (1985): Disturbances in tryptophan metabolism in mice acutely deprived of tryptophan.

Ann. Nutr. Metabol. 29: 209-215

Kang, C.W.; Sunde, M.L.; Swick, R.W.; (1985a): Growth and protein turnover in the skeletal muscles of broiler chicks.

Poult. Sci. 64: 370-379

Kang, C.W.; Sunde, M.L.; Swick, R.W.; (1985b): Characteristics of growth and protein turnover in skeletal muscle of turkey poults.

Poult. Sci. 64: 380-387

Kang-Lee, Y.A.; Harper, A.E.; (1977): Effect on histidine intake and hepatic histidinase activity on metabolism of histidine in vivo.

J. Nutr. 107: 1427-1443

Kang-Lee, Y.A.; Harper, A.E.; (1978): Threonine metabolism in vivo: effect of threonine intake and prior induction of threonine dehydratase in vivo.

J. Nutr. 108: 163-175

Keith, M.O.; Christensen, D.A.; Owen, B.D.; (1972): Determination of the methionine requirement of growing pigs using serum free amino acids.

Can. J. Anim. Sci. 52: 163-169

Kirchgeßner, M.; Roth, F.X.; (1983): Schätzgleichung zur Ermittlung des energetischen Futterwerts von Mischfuttermitteln für Schweine.

Z. Tierphysiol. Tierern. Futtermittelkde. 50: 270-275

Kirchgeßner, M.; Kreuzer, M.; Roth, F.X.; (1989): Aminosäurezusammensetzung und – retention in Ganzkörper, Muskelpartien, Innereien und Blut bei 60 kg und 100 kg schweren Mastschweinen beiderlei Geschlechts.

J. Anim. Phys. Anim. Nutr. 61: 93-104

Kirchgeßner, M.; (1997): Tierernährung. 10. Auflage.

DLG-Verlag Frankfurt/Main

Köhler, R.; Zebrowska, T.; Gebhardt, G.; (1978): Investigations into the nitrogen and amino acid absorption of swine. 3. Endogenous secretion and absorption of nitrogen.

Arch. Anim. Nutr. 28: 317-327

Kopple, J.D.; Swendseid, M.E.; (1975): Evidence that histidine is an essential amino acid in normal and chronically uremic man.

J. Clin. Invest. 55: 881-891

Krawielitzki, K.; (1980): Studies on growing pigs.

In: Role and extent of the amino acid pool in pigs and poultry during growth (ed. H.D. Bock) Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Berlin: 38-48

Krawielitzki, K.; Völker, T.; Zebrowska, T.; Buraczewska, L.; Hennig, U.; Wünsche, J.; Bock, H.D.; (1979): Investigations of the protein digestibility and amino acid absorption in various segments of the digestive tract of pigs. 5. Results of the application of ³⁵S-methionine.

Arch. Anim. Nutr. 29: 541-559

Krawielitzki, K.; Zebrowska, T.; Kreienbring, F.; Schadereit, R.; Kowalczyk, J.; (1996): Absorption and secretion of exogenous and endogenous N along the digestive tract and kinetic parameters of protein metabolism in growing pigs. 1. Estimation by digesta exchange between ¹⁵N-labelled and unlabelled pigs.

J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 76: 46-56

Kreuzer, M.; Heindl, U.; Roth-Maier, D.A.; Kirchgeßner, M.; (1991): Cellulose fermentation capacity of the hindgut and nitrogen turnover in the hindgut of sows as evaluated by oral and intracaecal supply of purified cellulose.

Arch. Tierernähr. 41: 359-372

Laplace, J.-P.; Février, C. ; Barbeau, A. ; (1997) : Digestive Physiology in Pigs.

Proc. of the VIIth International Symposium on Digestive Physiology in Pigs. EAAP Publication 88. Saint Malo, France

Le Flo'h, N.; Sève, B.; Henry, Y.; (1996): In vivo threonine oxidation in growing pigs fed on diets with graded levels of threonine.

Br. J. Nutr. 75: 825-837

Lellis, W.A.; Speer, V.C.; (1987): Phenylalanine requirement of the lactating sow.

J. Anim. Sci. 65: 1006-1012

Leung, P.M.B.; Rogers, Q.R.; (1987): Food intake: regulation by plasma amino acid pattern.

Life Sci. 8:1-9

Lewis, A.J.; Peo, E.R.; Cunningham, P.J.; Moser, B.D.; (1977): Determination of optimum dietary proportions of lysine and tryptophan for growing pigs based on growth, food intake, and plasma metabolites.

J. Nutr. 107: 1369-1371

Liebert, F.; Gebhardt, D.; (1986): Untersuchungen zum Einfluß von Zellulose und unterschiedlichen Stärkearten im Futter auf Parameter des Stickstoffumsatzes beim wachsenden Schwein.

Arch. Anim. Nutr. 36: 35-44

Löffler, G.; Peritrides, P.E.; (1988): Physiologische Chemie. 4. Auflage.

Springer Verlag Berlin, Heidelberg

Low, A.G.; Zebrowska, T.; (1989): Digestion in pigs.

In: Protein Metabolism in Farm Animals. (Eds. Bock, H.D.; Eggum, B.O.; Low, A.G.; Simon, O.; Zebrowska, T.) Oxford Science Publications. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin 1989

MacDonald, M.L.; Swick, R.W.; (1981): The effect of protein depletion and repletion in muscle-protein turnover in the chick.

Biochem. J. 194: 811-819

Maher, T.J.; Glaeser, B.S.; Wurtman, R.J.; (1984): Diurnal variations in plasma concentrations of basic and neutral amino acids and in red cell concentrations of aspartate and glutamate: effects of dietary protein intake.

Am. J. Clin. Nutr. 39: 722-729

Markert, W.; (1992): Bilanzstudien beim Schwein zur Reduzierung der Stickstoff-Ausscheidung durch Proteinabsenkung und den Einsatz von Aminosäuren.

Dissertation. Technische Universität München-Weihenstephan

McFarlane, I.G.; von Holt, C.; (1969a): Metabolism of amino acids in protein-calorie-deficient rats.

Biochem. J. 111: 557-563

McFarlane, I.G.; von Holt, C.; (1969b): Metabolism of leucine in protein-calorie-deficient rats.

Biochem. J. 111: 565-571

McGown, E.; Richardson, A.G.; Henderson, L.M.; Swan, P.B.; (1973): Effect of amino acids in ribosome aggregation and protein synthesis in perfused rat liver.

J.Nutr. 103: 109-116

Meguid, M.M.; Schwarz, H.; Matthews, D.E.; Karl, I.E.; Young, V.R.; Bier, D.M.; (1983): In vivo and in vitro branched-chain amino acid interactions.

In: Amino Acids. Metabolism and Medical Applications. (Eds. G.L. Blackburn, J.P. Grant, V.R. Young) John Wright, Boston: 147-154

Meguid, M.M.; Matthews, D.E.; Bier, D.M.; Meredith, C.N.; Soeldner, J.S.; Young, V.R.; (1986a): Leucine kinetics at graded leucine intakes in young men.

Am. J. Clin. Nutr. 43: 770-780

Meguid, M.M.; Matthews, D.E.; Bier, D.M.; Meredith, C.N.; Young, V.R.; (1986b): Valine kinetics at graded valine intakes in young men.

Am. J. Clin. Nutr. 43: 781-786

Meredith, C.N.; Wen, Z.-M.; Bier, D.M.; Matthews, D.E.; Young, V.R.; (1986): Lysine kinetics at graded lysine levels in young men.

Am. J. Clin. Nutr. 43: 787-794

Millward, D.J.; (1998): Metabolic demands for amino acids and the human dietary requirement: Millward and Rivers (1988) revisited.

J. Nutr. 128: 2563S-2576S

Millward, D.J.; Garlick, P.J.; Nnanyelugo, D.O.; Waterlow, J.C.; (1976): The relative importance of muscle protein synthesis and breakdown in the regulation of muscle mass.

Biochem. J. 156: 185-188

Millward, D.J.; Garlick, P.J.; (1977): The energy cost of growth.

Proc. Nutr. Soc. 35: 339-349

Mimura, T.; Yamada, C.; Swendseid, M.E.; (1968): Influence of dietary protein levels and hydrocortisone administration on the branched-chain amino acid transaminase activity in rat tissues.

J. Nutr. 95: 493-498

Mitchell, J.R.; Becker, D.E.; Jensen, A.H.; Harmon, B.G.; (1968): Determination of amino acid needs of the young pig by nitrogen balance and plasma free amino acids.

J. Anim. Sci. 27: 1327-1331

Mittal, P.C.; (1985): Response of rats to lysine deficiency at different ages.

Nutr. Rep. Intern. 32: 453-462

Moldawer, L.L.; Kawamura, I.; Bistrrian, B.R.; Blackburn, G.L.; (1983): The contribution of phenylalanine to tyrosine metabolism in vivo. Studies in the postabsorptive and phenylalanine loaded rat.

Biochem. J. 210: 811-817

Montgomery, G.W.; Flux, D.S.; Carr, J.R.; (1978): Feeding patterns in pigs: The effect of amino acid deficiency.

Physiol. Behav. 20: 693-698

Moore, R.J.; Kornegay, E.T.; Grayson, R.L.; Lindemann, M.D.; (1988): Growth, nutrient utilisation and intestinal morphology of pigs fed high-fiber diets.

J. Anim. Sci. 66: 1570-1579

Mosenthin, R.; Henkel, H.; (1978): Der Einfluß pflanzlicher Gerüstsubstanzen im Futter auf die N-Ausscheidung im Kot beim Schwein.

Z. Tierphys. Tierern. Futtermittelkde. 40: 122-123

Mosenthin, R.; Sauer, W.C.; Ahrens, F.; (1994): Dietary pectin's effect on ileal and fecal amino acid digestibility and exocrine pancreatic secretions in growing pig.

J. Nutr. 124: 1222-1229

Müller, H.L.; Kirchgeßner, M.; (1979): Untersuchungen zum energetischen Erhaltungsbedarf von Sauen.

Z. Tierphys. Tierern. Futtermittelkde. 42: 271-276

Müller, H.L.; Kirchgeßner, M.; (1983): Energetische Verwertung von Cellulose beim Schwein.

Z. Tierphys. Tierern. Futtermittelkde. 49: 127-133

Müller, H.L.; Kirchgeßner, M.; (1985): Energetische Verwertung von Pektin bei Sauen.

Z. Tierphys. Tierern. Futtermittelkde. 54: 14-20

Münchow, H.; Bergner, H.; (1967): Untersuchungen zur Proteinbewertung von Futtermitteln.
2. Die Harnstoffkonzentration im Blut von Ratte und Schwein in Abhängigkeit vom biologischen Wert des gefütterten Nahrungsproteins.

J. Anim. Nutr. 17: 141-150

Munro, H.N.; (1964): General aspects of the regulation of protein metabolism by diet and by hormones.

In: Mammalian Protein Metabolism (Eds. H.N. Munro; J.B. Allison). vol 1 Academic Press, New York. pp. 381-481

- Munro, H.N.; (1970):** Free amino acid pools and their role in regulation.
In: Mammalian protein metabolism (ed. Munro H.N.), vol 4 Academic Press, London, New York. pp. 299-386
- Munro, H.N.; (1974):** Impact of nutritional state on human protein metabolism.
Acta Anaesthesiol. Scand. 55:74 ff
- Musten, B.; Peace, D.; Anderson, H.C.; (1974):** Feed intake regulation in the weanling rat. Self selection of protein and energy.
J. Nutr. 104: 563-572
- Nasset, E.S.; Gatewood, V.H.; (1954):** Nitrogen balance and hemoglobin of adult rats fed amino acid diets low in L- and D-histidine.
J. Nutr. 53: 163-176
- Naumann, C.; Bassler, R.; (1976):** Die chemische Untersuchung von Futtermitteln.
Methodenbuch, Band III, Verlag J. Neumann-Neudamm, Melsungen
- Neale, R.J.; Waterlow, J.C.; (1974):** The metabolism of ¹⁴C-labelled essential amino acids given by intragastric or intravenous to rats on normal and protein-free diets.
Br. J. Nutr. 32: 11-25
- Nehring; (1960):** Agrikulturchemische Untersuchungsmethoden für Düngung und Futtermittel, Boden und Milch.
3. Auflage, Paul Parey Verlag, Hamburg Berlin
- Newport, M.J.; Chavez, E.R.; Horney, F.D.; Bayley, H.S.; (1976):** Amino acid metabolism in the piglet: influence of level of protein and of methionine in the diet on tissue uptake and in vivo oxidation.
Br. J. Nutr. 36: 87-99
- Nmilk, B.; Harris, C.I.; Fuller, M.F.; (1996):** Lysine utilization by growing pigs: Simultaneous measurement of protein accretion and lysine oxidation.
Br. J. Nutr. 75: 57-67

Noblet, J.; Henry, Y.; (1977): Conséquence d'une réduction du taux de matières azotées sur le niveau de consommation et les performances de croissance chez le porc selon l'équilibre en acides aminés et la concentration en énergie du régime.

Annls Zootechn. 26 : 379-394

Noblet, J.; Close, W.H.; (1980): Energy metabolism in farm animals.

EAAP Publ. No. 26, Mount, L.E. Butterworths, London: 335

NRC (National Research Council); (1988): Nutrient Requirements of Swine. 9th Ed.

National Academy Press Washington D.C.

NRC (National Research Council); (1998): Nutrient Requirements of Swine. 10th Ed.

National Academy Press Washington D.C.

Oestemer, G.A.; Hnason, L.E.; Meade, R.J.; (1973): Reevaluation of the isoleucine requirement of the young pig.

J. Anim. Sci. 36: 679-683

Pals, D.A.; Ewan, R.C.; (1978): Utilization of the energy of dried whey and wheat middlings by young swine.

J. Anim. Sci. 46: 402-408

Parker, C.J.jr.; Riess, G.T.; Sardesai, V.M.; (1985): Essentiality of histidine in adult mice.

J. Nutr. 115: 824-826

Patience, J.F.; Wolynetz, D.W.; Friend, D.W.; Hartin, K.E.; (1987): A comparison of two urine collection methods for female swine.

Can. J. Anim. Sci. 67: 859-863

Picou, D.; Taylor-Roberts, T.; (1969): The measurement of total protein synthesis and catabolism and nitrogen turnover in infants in different nutritional states and receiving different amounts of dietary protein.

Clin. Sci. 36: 283-296

Ponter, A.A.; Cortamira, N.O.; Seve, B.; Salter, D.N.; Morgan, L.M.; (1994): The effects of energy source and tryptophan on the rate of protein synthesis and on hormones of the entero-insular axis in the piglet.

Br. J. Nutr. 71: 661-674

Quam, D.D.; Morris, J.G.; Rogers, Q.R.; (1987): Histidine requirement of kittens for growth, haematopoiesis and prevention of cataracts.

Br. J. Nutr. 58: 521-532

Quinn, M.R.; Fisher, H.; (1977): Effect of dietary histidine deprivation in two rat strains on hemoglobin and tissue concentrations of histidine-containing dipeptides.

J. Nutr. 107: 2044-2054

Raguso, C.A.; Ajami, A.M.; Gleason, R.; Young, V.R.; (1997): Effects of cystine intake on methionine kinetics and oxidation determined with oral tracers of methionine and cysteine in healthy adults.

Am. J. Clin. Nutr. 66: 283-292

Reeds, P.J.; (1974): The catabolism of valine in the malnourished rat. Studies in vivo and in vitro with different labelled forms of valine.

Br. J. Nutr. 31: 259-270

Reeds, P.J.; Fuller, M.F.; Cadenhead, A.; Lobley, G.E.; McDonald, J.D.; (1981): Effects of changes in the intakes of protein and non protein energy on whole-body protein turnover in growing pigs.

Br. J. Nutr. 45: 539-546

Richert, B.T.; Goodband, R.D.; Tokach, M.D.; Nelssen, J.L.; (1997): Increasing valine, isoleucine and total branched chain amino acids for lactating sows.

J. Anim. Sci. 75: 2117-2128

Riis, P.M.; (1983): Dynamic Biochemistry of Animal Production.

Elsevier; Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo

p. 88

- Riis, P.M.; (1983b):** The role of tissue constituents and products: proteins.
In: World animal science. A3. Dynamic biochemistry of animal production (Ed. Riis, P.M.).
Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo.
- Rogers, Q.R.; Leung, P.M.B.; (1973):** The influence of amino acids on the neuroregulation of
food intake.
Fed. Proc. 32: 1709-1719
- Rogers, S.R.; Pesti, G.M.; (1990):** The influence of dietary tryptophan on broiler chick growth
and lipid metabolism as mediated by dietary protein levels.
Poult. Sci. 69: 746-756
- Rose, W.C.; (1957):** The amino acid requirements of adult man.
Nutr. Abstr. Rev. 27: 631-647
- Rousselow, D.L.; Speer, V.C.; (1980):** Valine requirement of the lactating sow.
J. Anim. Sci. 50: 472-478
- Said, A.K.; Hegsted, D.M.; (1970):** Response of adult rats to low dietary levels of essential
amino acids.
J. Nutr. 100: 1363-1376
- Scheunert, A.; Trautmann, A.; (1987):** Lehrbuch der Veterinär-Physiologie. 7. Auflage
Verlag Paul Parey. Berlin und Hamburg
- Schwenk, W.F.; Haymond, M.W.; (1987):** Effects of leucine, isoleucine, or threonine infusion
on leucine metabolism in humans.
Am. J. Physiol. 253: E428-434
- Sève, B.; Aumaitre, A.; Jaubert, J.; Tord, P.; (1978):** Solubilization of fish protein,
supplement of tryptophan and feeding value for growing piglets.
Annls. Zootech. 27: 423-437
- Shinnik, F.L.; Harper, A.E.; (1977):** Effects of branched-chain amino acid antagonism in the
rat on tissue amino acid and keto acid concentrations.
J. Nutr. 107: 887-895

Sidransky, H.; Verney, E.; Sharma, D.S.R.; (1971): Effect of tryptophan on polysomes and protein synthesis in liver.

Am. J. Clin. Nutr. 24: 779-785

Sidransky, H.; Verney, E.; Murta, C.N.; (1980): Studies on the influence of tryptophan and related compounds on hepatic polyribosomes and protein synthesis in the rat.

J. Nutr. 110: 2231-2242

Simon, O.; (1989): Metabolism of proteins and amino acids.

In: Protein Metabolism in Farm Animals.(Eds. H.D. Bock; B.O. Eggum; A.G. Low; O. Simon; T. Zebrowska). Oxford University Press, Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin

Simon, O.; Bergner, H.; Adam, K.; (1977): Metabolism-oriented determination of amino acid requirement by means of catabolic rates of ¹⁴C- and ¹⁵N-labelled lysine under maintenance.

Arch. Tierern. 27: 691-700

Simon, O.; Münchmeyer, R.; Bergner, H.; Zebrowska, T.; Buraczewska, L.; (1978): Estimation of rate of protein synthesis by constant infusion of labelled amino acid in pigs.

Br. J. Nutr. 40: 243-252

Sketcher, R.D.; James, W.P.T.; (1974): Branched-chain amino acid oxidation in relation to catabolic enzyme activities in rats given a protein-free diet at different stages of development.

Br. J. Nutr. 32: 615-623

Sketcher, R.D.; Fern, E.B.; James, W.P.T.; (1974): The adaptation in muscle oxidation of leucine to dietary protein and energy intake.

Br. J. Nutr. 31: 333-342

Smith, R.H.; (1980): Comparative amino acid requirements.

Proc. Nutr. Soc. 39: 71-78

Soemitro, S.; Block, K.P.; Crowell, P.L.; Harper, A.E.; (1989): Activity of branched-chain amino acid degrading enzymes in liver from rats fed different levels of protein.

J. Nutr. 119: 1203-1212

Souffrant, W.B.; Rérat, A.; Laplace, J.P.; Darcy-Vrillon, B.; Köhler, R.; Corring, T.; Gebhardt, T.; (1993): Exogenous and endogenous contributions to nitrogen fluxes in the digestive tract of pigs fed a casein diet. III. Recycling of endogenous nitrogen.

Reprod. Nutr. Dev. 33: 373-382

Speer, V.C.; Kile, D.L.; Trew, J.C.; (1990): Estimation of the isoleucine and aromatic amino acid requirements of pregnant swine.

J. Anim. Sci. 68: 2394-2399

Stanogias, G.; Pearce, G.R.; (1985): The digestion of fibre by pigs.

Br. J. Nutr. 53: 513-530

Suzic, S.; Radunovic, L.; Jankovic, V.; Segovic, R.; (1987): Effects of protein-free diet in amino acid homeostasis of rat blood plasma and gut contents.

Febs. Lett. 216: 287-290

Suzic, S.; Radunovic, L.J.; Jankovic, V.; Segovic, R.; (1990): Amino acid (GAS:BCAA) ratios in plasma and gut contents of short-term protein depleted rats.

Physiol. Bohemosliv. 39: 532-535

Swendseid, M.E.; Villalobus, J.; Figueroa, W.S.; Drenick, E.J.; (1965): The effects of test doses of leucine, isoleucine or valine on plasma amino acid levels. The unique effect of leucine.

Am. J. Clin. Nutr. 17: 317-321

Tackman, J.M.; Tews, J.K.; Harper, A.E.; (1990): Dietary disproportions of amino acids in the rat: effects on food intake, plasma and brain amino acids and brain serotonin.

J. Nutr. 120: 521-533

Tanaka, H.; Takahashi, K.; Ogura, M.; (1993): Metabolic fate of cysteine sulfur in growing rats at various dietary protein levels.

J. Nutr. Sci. Vitamin. 39: 507-516

Tews, J.K.; Harper, A.E.; (1985): Food intake, growth and tissue amino acids in rats fed amino acid analogues.

J. Nutr. 115: 1180

Torres, N.; Lopez, G.; De Santiago, S.; Hutson, S.M.; Tovar, A.R.; (1998) : Dietary protein level regulates expression of the mitochondrial branched-chain aminotransferase in rats.

J. Nutr. 128: 1368-1375

Venero, J.L.; Herrera, A.J.; Machado, A.; Cano, J.; (1992): Changes in neurotransmitter levels associated with the deficiency of some essential amino acids in the diet.

Br. J. Nutr. 68: 409-420

Walach-Janiac, M.; Raj, St.; Fandrejewski, H.; (1986): The effect of pregnancy in protein, water and fat deposition in the body of guilts.

Livestock Prod. Sci. 15: 261

Wang, T.C.; (1988): The ideal dietary protein for growing pigs.

Dissertation. University of Aberdeen

Wang, T.C.; Fuller, M.F.; (1988): The adaptation of growing pigs to marginal amino acid deficiencies.

Wiss. Z. WPU. 37: 44-45

Wang, T.C.; Fuller, M.F.; (1990): The effect of the plane of nutrition on the optimum dietary amino acid pattern for growing pigs.

Anim. Prod. 50: 155-164

Waterlow, J.C.; Garlick, P.J.; Millward, D.J.; (1978): Protein turnover in mammalian tissues and in the whole body.

North-Holland Publishing Company, Amsterdam, New York, Oxford.

Weller, L.A.; Calloway, D.H.; Margen, S.; (1971): Nitrogen balance of men fed amino acid mixtures based on Rose's requirements, egg white protein, and serum free amino acid patterns.

J. Nutr. 101: 1499-1508

Williams, P.E.V.; (1995): Digestible amino acids for non-ruminant animals: theory and recent challenges.

Anim. Feed. Sci. Tec. 53: 173-187

Wohlhueter, R.M.; Harper, A.E.; (1970): Coinduction of rat liver branched chain α -keto acid dehydrogenase activities.

J. Biol. Chem. 245: 2391-2401

Wurtmann, R.J.; Fernstrom, J.D.; (1975): Control of brain monoamine synthesis by diet and plasma amino acids.

Am. J. Clin. Nutr. 28: 638-647

Yokogoshi, H.; Yoshida, A.; (1980): Effects of supplementation and depletion of a single essential amino acid on hepatic polyribosome profile in rats.

J. Nutr. 110: 375-382

Young, V.R.; (1986): Nutritional balance studies: indicators of human requirements or adaptive mechanism.

J. Nutr. 116: 700-703

Young, V.R.; Scrimshaw, N.S.; (1968): Endogenous nitrogen metabolism and plasma free amino acids in young adults given a protein-free diet.

Br. J. Nutr. 22: 9-20

Young, V.R.; Scrimshaw, N.S.; (1977): Human protein and amino acid metabolism and requirements in relation to protein quality.

In: Evaluation of protein for humans (ed. C.E. Bodwell) Avi Publishing Company, Westport, Connecticut.

Zhao, X.-H.; Wen, Z.M.; Meredith, C.N.; Matthews, D.E.; Bier, D.M.; Young, V.R.; (1986): Threonine kinetics at graded threonine intakes in young men.

Am. J. Clin. Nutr. 43: 795-80

TABELLENANHANG**VERZEICHNIS DER ANHANGSTABELLEN**

| | |
|---|---|
| Übersicht 1: Bilanzdaten von Versuch 2 | B |
| Übersicht 2: Bilanzdaten der Lysin-stufen in Versuch 3 | C |
| Übersicht 3: Bilanzdaten der Methionin+Cystein-Stufen in Versuch 3 | D |
| Übersicht 4: Bilanzdaten der Valinstufen der Versuche 3 und 6..... | E |
| Übersicht 5: Bilanzdaten der Isoleucinstufen der Versuche 4 und 6..... | F |
| Übersicht 6: Bilanzdaten der Leucinstufen der Versuche 4 und 6 | G |
| Übersicht 7: Bilanzdaten der Phenylalanin+Tyrosin-Stufen der Versuche 4 und 6 | H |
| Übersicht 8: Bilanzdaten der Methioninstufen in Versuch 5..... | I |
| Übersicht 9: Bilanzdaten der Phenylalaninstufen in Versuch 5 | J |
| Übersicht 10: Bilanzdaten der Tryptophanstufen der Versuche 5 und 6..... | K |
| Übersicht 11: Bilanzdaten der N-freien Diät in Versuch 6..... | L |

Übersicht 1: Bilanzdaten von Versuch 2

LM = Lebendmasse

| Ration | gepoolte | | Futter- input | Harn- output | N im Harn | N-Input | N-Output | | N- Bilanz | |
|--------|------------|------|------------------|-----------------|--------------|---------|---------------------------|-------|--------------|--------|
| | Bilanztage | Tier | | | | | Kot | Harn | | |
| | | | [kg] | [g/d] | [g/d] | | [g/kg ^{0,75} /d] | | | |
| Thr 50 | Tag 18-20 | 1 | 193 | 1792 | 7396,7 | 0,1538 | 0,257 | 0,041 | 0,220 | -0,004 |
| | | 2 | 196 | 1813 | 7030,9 | 0,1817 | 0,257 | 0,041 | 0,244 | -0,028 |
| | | 3 | 186 | 1743 | 7337,8 | 0,1495 | 0,257 | 0,041 | 0,218 | -0,002 |
| | | 4 | 193 | 1792 | 6635,5 | 0,2019 | 0,257 | 0,041 | 0,259 | -0,043 |
| Thr 50 | Tag 21-22 | 1 | 193 | 1792 | 7527,7 | 0,1746 | 0,257 | 0,041 | 0,254 | -0,038 |
| | | 2 | 196 | 1813 | 7769,3 | 0,1539 | 0,257 | 0,041 | 0,228 | -0,012 |
| | | 3 | 186 | 1743 | 7827,0 | 0,1582 | 0,257 | 0,041 | 0,246 | -0,030 |
| | | 4 | 193 | 1792 | 7716,0 | 0,1663 | 0,257 | 0,041 | 0,248 | -0,032 |
| Thr 50 | Tag 23-25 | 1 | 193 | 1792 | 7160,1 | 0,1924 | 0,257 | 0,041 | 0,266 | -0,050 |
| | | 2 | 196 | 1813 | 7200,9 | 0,1857 | 0,257 | 0,041 | 0,255 | -0,039 |
| | | 3 | 186 | 1743 | 7245,7 | 0,1666 | 0,257 | 0,041 | 0,240 | -0,024 |
| | | 4 | 193 | 1792 | 7372,2 | 0,1646 | 0,257 | 0,041 | 0,234 | -0,018 |
| Thr 50 | Tag 26-27 | 1 | 193 | 1792 | 7696,3 | 0,1508 | 0,257 | 0,041 | 0,224 | -0,008 |
| | | 2 | 196 | 1813 | 7355,2 | 0,1515 | 0,257 | 0,041 | 0,213 | 0,003 |
| | | 3 | 186 | 1743 | 7630,8 | 0,1559 | 0,257 | 0,041 | 0,236 | -0,020 |
| | | 4 | 193 | 1792 | 7576,4 | 0,1524 | 0,257 | 0,041 | 0,223 | -0,007 |
| Thr 25 | Tag 32-34 | 1 | 193 | 1792 | 7813,9 | 0,1917 | 0,262 | 0,041 | 0,289 | -0,068 |
| | | 2 | 196 | 1813 | 7678,3 | 0,1894 | 0,262 | 0,041 | 0,278 | -0,057 |
| | | 3 | 186 | 1743 | 7732,4 | 0,1897 | 0,262 | 0,041 | 0,291 | -0,070 |
| | | 4 | 193 | 1792 | 7778,2 | 0,1784 | 0,262 | 0,041 | 0,268 | -0,047 |
| Thr 25 | Tag 35-37 | 1 | 193 | 1792 | 7533,8 | 0,2072 | 0,262 | 0,041 | 0,301 | -0,080 |
| | | 2 | 196 | 1813 | 6487,6 | 0,2159 | 0,262 | 0,041 | 0,267 | -0,046 |
| | | 3 | 186 | 1743 | 7548,9 | 0,1938 | 0,262 | 0,041 | 0,290 | -0,069 |
| | | 4 | 193 | 1792 | 7760,4 | 0,1710 | 0,262 | 0,041 | 0,256 | -0,035 |
| Thr 25 | Tag 38-40 | 1 | 193 | 1792 | 7357,0 | 0,2022 | 0,262 | 0,041 | 0,287 | -0,066 |
| | | 2 | 196 | 1813 | 6824,5 | 0,2231 | 0,262 | 0,041 | 0,291 | -0,070 |
| | | 3 | 186 | 1743 | 7056,9 | 0,2007 | 0,262 | 0,041 | 0,281 | -0,060 |
| | | 4 | 193 | 1792 | 7946,7 | 0,1960 | 0,262 | 0,041 | 0,301 | -0,080 |
| Thr 0 | Tag 50-52 | 1 | 193 | 1792 | 6678,6 | 0,2571 | 0,266 | 0,041 | 0,332 | -0,107 |
| | | 2 | 196 | 1813 | 5684,4 | 0,2814 | 0,266 | 0,041 | 0,305 | -0,080 |
| | | 3 | 186 | 1743 | 6401,0 | 0,2383 | 0,266 | 0,041 | 0,303 | -0,078 |
| | | 4 | 193 | 1792 | 6239,7 | 0,2768 | 0,266 | 0,041 | 0,334 | -0,109 |

Übersicht 2: Bilanzdaten der Lysin-stufen in Versuch 3

| Ration | Tier | LM | Futter- | Harn- | Kot- | N im | N im | N- | N-output | N-output | N- |
|--------|------|------|---------|--------|--------|--------|--------|---------------------------|----------|----------|--------|
| | | | input | output | output | Harn | Kot | | | | |
| | | [kg] | [g/d] | [g/d] | [g/d] | [%] | [%] | [g/kg ^{0,75} /d] | | | |
| Lys100 | 1 | 202 | 1855 | 7237,5 | 246,3 | 0,1228 | 0,4783 | 0,313 | 0,166 | 0,022 | 0,125 |
| | 4 | 203 | 1862 | 6953,8 | 485,4 | 0,2310 | 0,3116 | 0,313 | 0,299 | 0,028 | -0,014 |
| | 7 | 204 | 1868 | 7346,7 | 588,0 | 0,2011 | 0,3920 | 0,313 | 0,274 | 0,043 | -0,003 |
| | 10 | 204 | 1868 | 7424,2 | 539,1 | 0,1961 | 0,3638 | 0,313 | 0,270 | 0,036 | 0,007 |
| Lys 60 | 1 | 202 | 1855 | 7558,2 | 870,2 | 0,2108 | 0,3160 | 0,318 | 0,297 | 0,051 | -0,031 |
| | 4 | 203 | 1862 | 8146,7 | 717,6 | 0,1795 | 0,3506 | 0,318 | 0,272 | 0,047 | -0,001 |
| | 7 | 204 | 1868 | 7258,9 | 473,8 | 0,2229 | 0,4203 | 0,318 | 0,300 | 0,037 | -0,019 |
| | 10 | 204 | 1868 | 7128,1 | 852,2 | 0,2015 | 0,4066 | 0,318 | 0,266 | 0,064 | -0,012 |
| Lys 30 | 1 | 202 | 1855 | 8522,0 | 714,4 | 0,1790 | 0,3505 | 0,312 | 0,285 | 0,047 | -0,019 |
| | 4 | 203 | 1862 | 7856,9 | 555,6 | 0,1946 | 0,3601 | 0,312 | 0,284 | 0,037 | -0,009 |
| | 7 | 204 | 1868 | 7795,6 | 282,7 | 0,2153 | 0,4631 | 0,312 | 0,311 | 0,024 | -0,023 |
| | 10 | 204 | 1868 | 7907,7 | 663,4 | 0,1959 | 0,4340 | 0,312 | 0,287 | 0,053 | -0,028 |
| Lys 0 | 1 | 202 | 1855 | 8095,1 | 565,0 | 0,2054 | 0,4612 | 0,308 | 0,310 | 0,049 | -0,051 |
| | 4 | 203 | 1862 | 7088,0 | 439,7 | 0,2405 | 0,4473 | 0,308 | 0,317 | 0,037 | -0,046 |
| | 7 | 204 | 1868 | 7407,4 | 464,2 | 0,2028 | 0,5193 | 0,308 | 0,278 | 0,045 | -0,015 |
| | 10 | 204 | 1868 | 7323,3 | 568,4 | 0,2397 | 0,4255 | 0,308 | 0,325 | 0,045 | -0,062 |

Übersicht 3: Bilanzdaten der Methionin+Cystein-Stufen in Versuch 3

| Ration | Tier | LM [kg] | Futter- | Harn- | Kot- | N im | N im | N- Input | N-output Harn | N-output Kot | N- Bilanz |
|--------|------|------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------|------------|-------------|------------------|-----------------|--------------|
| | | | input [g/d] | output [g/d] | output [g/d] | Harn [%] | Kot [%] | | | | |
| M+C100 | 2 | 190 | 1771 | 7713,6 | 535,7 | 0,1612 | 0,3986 | 0,313 | 0,243 | 0,042 | 0,028 |
| | 5 | 171 | 1637 | 7836,6 | 636,0 | 0,1468 | 0,3160 | 0,313 | 0,243 | 0,043 | 0,027 |
| | 8 | 196 | 1813 | 7186,3 | 562,3 | 0,2080 | 0,3258 | 0,313 | 0,285 | 0,035 | -0,007 |
| | 11 | 187 | 1750 | 7212,7 | 532,9 | 0,1347 | 0,4221 | 0,313 | 0,192 | 0,044 | 0,076 |
| M+C 60 | 2 | 190 | 1771 | 8348,2 | 564,5 | 0,1745 | 0,4460 | 0,309 | 0,285 | 0,049 | -0,025 |
| | 5 | 171 | 1637 | 8470,3 | 544,0 | 0,1357 | 0,3557 | 0,309 | 0,243 | 0,041 | 0,025 |
| | 8 | 196 | 1813 | 6668,6 | 650,2 | 0,2397 | 0,2939 | 0,309 | 0,305 | 0,036 | -0,033 |
| | 11 | 187 | 1750 | 7429,7 | 588,1 | 0,1903 | 0,4707 | 0,309 | 0,280 | 0,055 | -0,025 |
| M+C 30 | 2 | 190 | 1771 | 8445,4 | 708,2 | 0,1942 | 0,4700 | 0,313 | 0,320 | 0,065 | -0,073 |
| | 5 | 171 | 1637 | 8224,6 | 694,3 | 0,1664 | 0,3711 | 0,313 | 0,289 | 0,054 | -0,031 |
| | 8 | 196 | 1813 | 7095,4 | 604,8 | 0,2451 | 0,3817 | 0,313 | 0,332 | 0,044 | -0,063 |
| | 11 | 187 | 1750 | 7779,5 | 593,1 | 0,2200 | 0,5364 | 0,313 | 0,338 | 0,063 | -0,088 |
| M+C 0 | 2 | 190 | 1771 | 8525,1 | 498,7 | 0,2489 | 0,4451 | 0,317 | 0,415 | 0,043 | -0,141 |
| | 5 | 171 | 1637 | 9384,8 | 714,9 | 0,2013 | 0,4005 | 0,317 | 0,400 | 0,061 | -0,143 |
| | 8 | 196 | 1813 | 6992,9 | 484,4 | 0,2946 | 0,4088 | 0,317 | 0,393 | 0,038 | -0,114 |
| | 11 | 187 | 1750 | 7621,3 | 532,0 | 0,2614 | 0,5242 | 0,317 | 0,394 | 0,055 | -0,132 |

Übersicht 4: Bilanzdaten der Valinstufen der Versuche 3 und 6

| Ration | Tier | LM | Futter- | Harn- | Kot- | N im | N im | N- Input | N-output Harn | N-output Kot | N- Bilanz |
|---------|------|------|---------|---------|--------|--------|--------|---------------------------|------------------|-----------------|--------------|
| | | | input | output | output | Harn | Kot | | | | |
| | | [kg] | [g/d] | [g/d] | [g/d] | [%] | [%] | [g/kg ^{0,75} /d] | | | |
| Val 100 | 3 | 200 | 1841 | 7588,0 | 484,6 | 0,1668 | 0,4339 | 0,309 | 0,238 | 0,040 | 0,031 |
| | 6 | 200 | 1841 | 6614,0 | 468,6 | 0,1947 | 0,3408 | 0,309 | 0,242 | 0,030 | 0,037 |
| | 6B | 246 | 2150 | 9153,8 | 568,9 | 0,1882 | 0,3297 | 0,309 | 0,277 | 0,030 | 0,001 |
| | 10B | 240 | 2111 | 9185,3 | 556,4 | 0,1811 | 0,4513 | 0,309 | 0,273 | 0,041 | -0,005 |
| | 9 | 194 | 1799 | 7919,9 | 531,8 | 0,2014 | 0,3681 | 0,309 | 0,307 | 0,038 | -0,036 |
| Val 60 | 3 | 200 | 1841 | 7764,6 | 295,7 | 0,2239 | 0,5156 | 0,304 | 0,327 | 0,029 | -0,052 |
| | 6 | 200 | 1841 | 6285,3 | 354,0 | 0,2640 | 0,5156 | 0,304 | 0,312 | 0,034 | -0,042 |
| | 10B | 240 | 2111 | 10220,4 | 883,3 | 0,1643 | 0,3670 | 0,304 | 0,275 | 0,053 | -0,025 |
| | 9 | 194 | 1799 | 7529,5 | 502,0 | 0,2008 | 0,3736 | 0,304 | 0,291 | 0,036 | -0,023 |
| Val 30 | 3 | 200 | 1841 | 10485,1 | 422,6 | 0,1585 | 0,4362 | 0,301 | 0,312 | 0,035 | -0,046 |
| | 6 | 200 | 1841 | 6489,9 | 399,6 | 0,2728 | 0,4805 | 0,301 | 0,333 | 0,036 | -0,068 |
| | 10B | 240 | 2111 | 9533,5 | 468,4 | 0,1966 | 0,4809 | 0,301 | 0,307 | 0,037 | -0,043 |
| | 9 | 194 | 1799 | 8332,7 | 500,3 | 0,2006 | 0,5218 | 0,301 | 0,322 | 0,050 | -0,071 |
| Val 0 | 6 | 200 | 1841 | 5149,0 | 401,1 | 0,3447 | 0,4589 | 0,309 | 0,334 | 0,035 | -0,059 |
| | 10B | 240 | 2111 | 9736,7 | 470,7 | 0,2124 | 0,4645 | 0,309 | 0,339 | 0,036 | -0,066 |

Übersicht 5: Bilanzdaten der Isoleucinstufen der Versuche 4 und 6

| Ration | Tier | LM [kg] | Futter- | Harn- | Kot- | N im | N im | N- Input | N-output | N-output | N- Bilanz |
|---------|------|------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------|------------|---------------------------|----------|----------|--------------|
| | | | input [g/d] | output [g/d] | output [g/d] | Harn [%] | Kot [%] | | Harn | Kot | |
| | | | | | | | | [g/kg ^{0,75} /d] | | | |
| Ile 140 | 1 | 240 | 2111 | 9617,5 | 743,6 | 0,1768 | 0,3251 | 0,307 | 0,279 | 0,040 | -0,012 |
| | 4 | 252 | 2189 | 11350,2 | 967,8 | 0,1468 | 0,3225 | 0,307 | 0,263 | 0,049 | -0,006 |
| | 7 | 250 | 2176 | 4834,6 | 465,9 | 0,3063 | 0,5783 | 0,307 | 0,236 | 0,043 | 0,029 |
| Ile 100 | 1 | 222 | 1991 | 7584,6 | 610,9 | 0,2324 | 0,2508 | 0,318 | 0,306 | 0,027 | -0,015 |
| | 5 | 181 | 1708 | 9309,1 | 523,3 | 0,1657 | 0,4018 | 0,318 | 0,313 | 0,043 | -0,037 |
| | 9 | 222 | 1991 | 7988,6 | 453,0 | 0,2396 | 0,5034 | 0,318 | 0,333 | 0,040 | -0,054 |
| | 10 | 220 | 1977 | 7712,0 | 422,2 | 0,2224 | 0,5181 | 0,318 | 0,300 | 0,038 | -0,021 |
| Ile 75 | 1 | 240 | 2111 | 8489,0 | 728,9 | 0,2026 | 0,3066 | 0,304 | 0,282 | 0,037 | -0,015 |
| | 4 | 252 | 2189 | 11388,9 | 604,9 | 0,1461 | 0,3395 | 0,304 | 0,263 | 0,032 | 0,008 |
| | 7 | 250 | 2176 | 8384,5 | 445,0 | 0,1898 | 0,6014 | 0,304 | 0,253 | 0,043 | 0,008 |
| Ile 60 | 1 | 222 | 1991 | 8641,8 | 783,0 | 0,2235 | 0,3174 | 0,314 | 0,336 | 0,043 | -0,065 |
| | 5 | 181 | 1708 | 8349,2 | 459,5 | 0,1742 | 0,3886 | 0,314 | 0,295 | 0,036 | -0,017 |
| | 9 | 222 | 1991 | 9056,3 | 487,3 | 0,1858 | 0,4942 | 0,314 | 0,293 | 0,042 | -0,020 |
| Ile 30 | 1 | 222 | 1991 | 9148,9 | 513,9 | 0,2460 | 0,3179 | 0,322 | 0,391 | 0,028 | -0,098 |
| | 5 | 181 | 1708 | 10116,0 | 557,5 | 0,1694 | 0,3710 | 0,322 | 0,347 | 0,042 | -0,067 |
| | 9 | 222 | 1991 | 8629,1 | 500,6 | 0,2383 | 0,4133 | 0,322 | 0,358 | 0,036 | -0,072 |
| Ile 10 | 1 | 240 | 2111 | 10163,8 | 578,0 | 0,1967 | 0,2581 | 0,304 | 0,328 | 0,024 | -0,048 |
| | 4 | 252 | 2189 | 12504,6 | 486,3 | 0,1615 | 0,4074 | 0,304 | 0,319 | 0,031 | -0,047 |
| | 7 | 250 | 2176 | 8609,5 | 509,1 | 0,2132 | 0,6117 | 0,304 | 0,292 | 0,050 | -0,037 |
| Ile 0 | 1 | 222 | 1991 | 9349,7 | 645,2 | 0,2008 | 0,3346 | 0,315 | 0,326 | 0,038 | -0,049 |
| | 5 | 181 | 1708 | 8869,4 | 404,0 | 0,1645 | 0,5692 | 0,315 | 0,296 | 0,047 | -0,027 |
| | 9 | 222 | 1991 | 8662,2 | 346,4 | 0,2513 | 0,4811 | 0,315 | 0,378 | 0,029 | -0,092 |
| | 7 | 250 | 2176 | 4834,6 | 465,9 | 0,3063 | 0,5783 | 0,307 | 0,236 | 0,043 | 0,029 |

Übersicht 6: Bilanzdaten der Leucinstufen der Versuche 4 und 6

| Ration | Tier | LM | Futter- | Harn- | Kot- | N im | N im | N- | N-output | N-output | N- |
|---------|------|------|---------|---------|--------|--------|--------|---------------------------|----------|----------|--------|
| | | | input | output | output | Harn | Kot | | | | |
| | | [kg] | [g/d] | [g/d] | [g/d] | [%] | [%] | [g/kg ^{0,75} /d] | | | |
| Leu 140 | 2 | 225 | 2011 | 10165,1 | 534,1 | 0,1559 | 0,4668 | 0,310 | 0,273 | 0,043 | -0,006 |
| | 5 | 185 | 1736 | 9589,3 | 297,5 | 0,1243 | 0,4620 | 0,310 | 0,238 | 0,027 | 0,045 |
| | 9 | 184 | 1729 | 9588,5 | 523,5 | 0,1514 | 0,3476 | 0,310 | 0,291 | 0,036 | -0,017 |
| Leu 100 | 2 | 209 | 1903 | 9344,0 | 476,5 | 0,1686 | 0,4474 | 0,317 | 0,287 | 0,039 | -0,008 |
| | 6 | 220 | 1977 | 8175,8 | 572,2 | 0,1909 | 0,3885 | 0,317 | 0,273 | 0,039 | 0,005 |
| | 7 | 224 | 2004 | 8282,3 | 469,0 | 0,2047 | 0,3935 | 0,317 | 0,293 | 0,032 | -0,008 |
| | 11 | 207 | 1889 | 8199,0 | 556,0 | 0,1962 | 0,4056 | 0,317 | 0,295 | 0,041 | -0,019 |
| Leu 75 | 2 | 225 | 2011 | 9759,9 | 692,7 | 0,1612 | 0,4647 | 0,314 | 0,271 | 0,055 | -0,012 |
| | 5 | 185 | 1736 | 9224,8 | 419,0 | 0,1495 | 0,5577 | 0,314 | 0,275 | 0,047 | -0,008 |
| | 9 | 184 | 1729 | 9962,0 | 410,9 | 0,1446 | 0,3736 | 0,314 | 0,288 | 0,031 | -0,005 |
| Leu 60 | 2 | 209 | 1903 | 9302,6 | 499,9 | 0,1680 | 0,4040 | 0,316 | 0,284 | 0,037 | -0,005 |
| | 6 | 220 | 1977 | 8285,3 | 437,0 | 0,2012 | 0,4920 | 0,316 | 0,292 | 0,038 | -0,013 |
| | 7 | 224 | 2004 | 8884,4 | 635,6 | 0,1699 | 0,4164 | 0,316 | 0,261 | 0,046 | 0,010 |
| | 11 | 207 | 1889 | 8078,9 | x | 0,1858 | x | 0,316 | 0,275 | 0,041 | 0,000 |
| Leu 30 | 2 | 209 | 1903 | 9633,3 | 370,0 | 0,1717 | 0,3881 | 0,318 | 0,301 | 0,026 | -0,009 |
| | 6 | 220 | 1977 | 8379,4 | 419,2 | 0,1986 | 0,4405 | 0,318 | 0,291 | 0,032 | -0,006 |
| | 7 | 224 | 2004 | 8811,9 | 595,4 | 0,1930 | 0,3665 | 0,318 | 0,294 | 0,038 | -0,013 |
| | 11 | 207 | 1889 | 8960,4 | 707,8 | 0,1632 | 0,4768 | 0,318 | 0,268 | 0,062 | -0,012 |
| Leu 10 | 2 | 225 | 2011 | 9707,4 | 598,2 | 0,1735 | 0,4619 | 0,320 | 0,290 | 0,048 | -0,017 |
| | 5 | 185 | 1736 | 9160,3 | 627,5 | 0,1624 | 0,2875 | 0,320 | 0,297 | 0,036 | -0,013 |
| | 9 | 184 | 1729 | 9657,6 | 536,2 | 0,1383 | 0,3936 | 0,320 | 0,267 | 0,042 | 0,010 |
| Leu 0 | 2 | 209 | 1903 | 8691,4 | 557,6 | 0,1890 | 0,3818 | 0,319 | 0,299 | 0,039 | -0,019 |
| | 6 | 220 | 1977 | 8606,2 | 329,4 | 0,1966 | 0,5081 | 0,319 | 0,296 | 0,029 | -0,006 |
| | 7 | 224 | 2004 | 7734,6 | 488,8 | 0,2235 | 0,4769 | 0,319 | 0,299 | 0,040 | -0,020 |
| | 11 | 207 | 1889 | 8594,2 | 589,6 | 0,1839 | 0,4864 | 0,319 | 0,290 | 0,053 | -0,023 |

Übersicht 7: Bilanzdaten der Phenylalanin+Tyrosin-Stufen der Versuche 4 und 6

| Ration | Tier | LM | Futter- | Harn- | Kot- | N im | N im | N-Input | N-output Harn | N-output Kot | N-Bilanz |
|---------|------|------|---------|---------|--------|--------|--------|---------------------------|---------------|--------------|----------|
| | | | input | output | output | Harn | Kot | | | | |
| | | [kg] | [g/d] | [g/d] | [g/d] | [%] | [%] | [g/kg ^{0,75} /d] | | | |
| P+T 140 | 3 | 245 | 2144 | 9403,2 | 848,1 | 0,2039 | 0,3495 | 0,306 | 0,310 | 0,048 | -0,051 |
| | 8 | 225 | 2011 | 11028,9 | 562,6 | 0,1986 | 0,3899 | 0,306 | 0,377 | 0,038 | -0,109 |
| | 12 | 247 | 2157 | 6461,9 | 660,4 | 0,2346 | 0,4125 | 0,306 | 0,243 | 0,044 | 0,019 |
| P+T 100 | 3 | 232 | 2058 | 8895,2 | 879,6 | 0,2211 | 0,3813 | 0,318 | 0,331 | 0,056 | -0,069 |
| | 4 | 225 | 2011 | 8367,6 | 806,6 | 0,2078 | 0,2891 | 0,318 | 0,299 | 0,040 | -0,021 |
| | 8 | 210 | 1910 | 8080,0 | 582,4 | 0,2157 | 0,3247 | 0,318 | 0,316 | 0,034 | -0,032 |
| | 12 | 224 | 2004 | 7667,5 | 694,8 | 0,2041 | 0,3039 | 0,318 | 0,270 | 0,036 | 0,011 |
| P+T 75 | 3 | 245 | 2144 | 8563,9 | 702,9 | 0,2096 | 0,3445 | 0,301 | 0,290 | 0,039 | -0,028 |
| | 8 | 225 | 2011 | 10656,9 | 822,2 | 0,1474 | 0,3613 | 0,301 | 0,270 | 0,051 | -0,021 |
| | 12 | 247 | 2157 | 9192,6 | 264,8 | 0,1665 | 0,7032 | 0,301 | 0,246 | 0,030 | 0,025 |
| P+T 60 | 3 | 232 | 2058 | 7928,3 | 621,7 | 0,2377 | 0,4156 | 0,310 | 0,317 | 0,043 | -0,050 |
| | 4 | 225 | 2011 | 7908,8 | 719,5 | 0,2183 | 0,3477 | 0,310 | 0,297 | 0,043 | -0,030 |
| | 8 | 210 | 1910 | 8381,8 | 938,0 | 0,1867 | 0,2590 | 0,310 | 0,284 | 0,044 | -0,018 |
| | 12 | 224 | 2004 | 8480,2 | 550,2 | 0,2032 | 0,4519 | 0,310 | 0,298 | 0,043 | -0,031 |
| P+T 30 | 3 | 232 | 2058 | 8371,2 | 728,1 | 0,2633 | 0,3392 | 0,312 | 0,371 | 0,042 | -0,100 |
| | 4 | 225 | 2011 | 9442,7 | 801,2 | 0,1837 | 0,3284 | 0,312 | 0,299 | 0,045 | -0,032 |
| | 8 | 210 | 1910 | 8084,4 | 721,8 | 0,2074 | 0,2969 | 0,312 | 0,304 | 0,039 | -0,031 |
| | 12 | 224 | 2004 | 9205,3 | 845,8 | 0,1937 | 0,3176 | 0,312 | 0,308 | 0,046 | -0,042 |
| P+T 10 | 3 | 245 | 2144 | 9335,1 | 613,1 | 0,2240 | 0,3577 | 0,324 | 0,338 | 0,035 | -0,049 |
| | 8 | 225 | 2011 | 8823,7 | 498,1 | 0,1781 | 0,4225 | 0,324 | 0,271 | 0,036 | 0,017 |
| P+T 0 | 3 | 232 | 2058 | 7982,3 | 800,0 | 0,2659 | 0,3316 | 0,316 | 0,357 | 0,045 | -0,086 |
| | 4 | 225 | 2011 | 8615,3 | 648,0 | 0,2153 | 0,2935 | 0,316 | 0,319 | 0,033 | -0,036 |
| | 8 | 210 | 1910 | 7641,7 | 730,2 | 0,2344 | 0,3021 | 0,316 | 0,325 | 0,040 | -0,049 |
| | 12 | 224 | 2004 | 7727,0 | 610,6 | 0,2291 | 0,3741 | 0,316 | 0,306 | 0,039 | -0,029 |

Übersicht 8: Bilanzdaten der Methioninstufen in Versuch 5

| Ration | Tier | LM | Futter- | Harn- | Kot- | N im | N im | N- | N-output | N-output | N- |
|---------|------|------|---------|---------|--------|--------|--------|---------------------------|----------|----------|--------|
| | | | input | output | output | Harn | Kot | | | | |
| | | [kg] | [g/d] | [g/d] | [g/d] | [%] | [%] | | | | |
| | | | | | | | | [g/kg ^{0,75} /d] | | | |
| Met 100 | 1 | 229 | 2038 | 8932,3 | 761,2 | 0,1980 | 0,2728 | 0,304 | 0,300 | 0,035 | -0,032 |
| | 2 | 214 | 1937 | 8775,6 | 451,2 | 0,1860 | 0,4009 | 0,304 | 0,292 | 0,032 | -0,020 |
| | 4 | 233 | 2064 | 8675,1 | 590,8 | 0,1934 | 0,3437 | 0,304 | 0,281 | 0,034 | -0,011 |
| Met 60 | 1 | 229 | 2038 | 9531,2 | 697,8 | 0,1747 | 0,3447 | 0,310 | 0,283 | 0,041 | -0,014 |
| | 2 | 214 | 1937 | 9814,5 | 576,0 | 0,1557 | 0,4323 | 0,310 | 0,273 | 0,045 | -0,008 |
| | 3 | 230 | 2044 | 9234,7 | 608,3 | 0,1817 | 0,3700 | 0,310 | 0,284 | 0,038 | -0,012 |
| | 4 | 233 | 2064 | 9390,1 | 589,7 | 0,1639 | 0,2625 | 0,310 | 0,258 | 0,026 | 0,026 |
| Met 30 | 1 | 229 | 2038 | 9359,1 | 658,5 | 0,1883 | 0,3532 | 0,317 | 0,299 | 0,040 | -0,022 |
| | 2 | 214 | 1937 | 9770,9 | 453,7 | 0,1709 | 0,4571 | 0,317 | 0,298 | 0,037 | -0,019 |
| | 3 | 230 | 2044 | 8910,0 | 516,6 | 0,2240 | 0,3569 | 0,317 | 0,338 | 0,031 | -0,052 |
| | 4 | 233 | 2064 | 10695,1 | 546,6 | 0,1830 | 0,3545 | 0,317 | 0,328 | 0,032 | -0,044 |
| Met 0 | 1 | 229 | 2038 | 8842,9 | 753,1 | 0,1925 | 0,2963 | 0,312 | 0,289 | 0,038 | -0,015 |
| | 2 | 214 | 1937 | 8402,7 | 547,8 | 0,1838 | 0,3985 | 0,312 | 0,276 | 0,039 | -0,003 |
| | 3 | 230 | 2044 | 8935,3 | 587,8 | 0,1982 | 0,3885 | 0,312 | 0,300 | 0,039 | -0,027 |
| | 4 | 233 | 2064 | 10100,4 | 799,4 | 0,1599 | 0,3728 | 0,312 | 0,271 | 0,050 | -0,009 |

Übersicht 9: Bilanzdaten der Phenylalaninstufen in Versuch 5

| Ration | Tier | LM [kg] | Futter- | Harn- | Kot- | N im | N im | N- Input | N-output Harn | N-output Kot | N- Bilanz |
|---------|------|------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------|------------|-------------|------------------|-----------------|--------------|
| | | | input [g/d] | output [g/d] | output [g/d] | Harn [%] | Kot [%] | | | | |
| Phe 100 | 5 | 176 | 1673 | 8900,8 | 383,2 | 0,1543 | 0,4086 | 0,311 | 0,284 | 0,032 | -0,006 |
| | 6 | 227 | 2024 | 9351,8 | 392,4 | 0,1614 | 0,5297 | 0,311 | 0,258 | 0,036 | 0,017 |
| | 7 | 233 | 2064 | 9207,3 | 734,2 | 0,1892 | 0,4369 | 0,311 | 0,292 | 0,054 | -0,035 |
| | 8 | 212 | 1923 | 8356,0 | 631,7 | 0,1819 | 0,2930 | 0,311 | 0,274 | 0,033 | 0,004 |
| Phe 60 | 5 | 176 | 1673 | 9970,5 | 487,2 | 0,1245 | 0,5480 | 0,314 | 0,257 | 0,055 | 0,002 |
| | 6 | 227 | 2024 | 9106,3 | 466,7 | 0,1744 | 0,4774 | 0,314 | 0,272 | 0,038 | 0,004 |
| | 7 | 233 | 2064 | 9625,9 | 417,6 | 0,1704 | 0,5498 | 0,314 | 0,275 | 0,038 | 0,000 |
| | 8 | 212 | 1923 | 9100,8 | 556,6 | 0,1768 | 0,3830 | 0,314 | 0,290 | 0,038 | -0,014 |
| Phe 30 | 5 | 176 | 1673 | 9139,0 | 453,5 | 0,1704 | 0,4835 | 0,313 | 0,322 | 0,045 | -0,055 |
| | 6 | 227 | 2024 | 9852,8 | 375,1 | 0,1914 | 0,6601 | 0,313 | 0,322 | 0,042 | -0,052 |
| | 7 | 233 | 2064 | 10239,1 | 539,1 | 0,1808 | 0,4805 | 0,313 | 0,310 | 0,043 | -0,041 |
| | 8 | 212 | 1923 | 9317,3 | 709,9 | 0,1757 | 0,3508 | 0,313 | 0,295 | 0,045 | -0,026 |
| Phe 0 | 5 | 176 | 1673 | 10262,6 | 434,4 | 0,1424 | 0,4518 | 0,302 | 0,302 | 0,041 | -0,041 |
| | 6 | 227 | 2024 | 9305,2 | 432,2 | 0,1862 | 0,5225 | 0,302 | 0,296 | 0,039 | -0,033 |
| | 7 | 233 | 2064 | 9134,9 | 449,4 | 0,1950 | 0,4995 | 0,302 | 0,299 | 0,038 | -0,034 |
| | 8 | 212 | 1923 | 9778,2 | 739,4 | 0,1840 | 0,4002 | 0,302 | 0,324 | 0,053 | -0,075 |

Übersicht 10: Bilanzdaten der Tryptophanstufen der Versuche 5 und 6

| Ration | Tier | LM | Futter- | Harn- | Kot- | N im | N im | N- | N-output | N-output | N- |
|---------|------|------|---------|---------|--------|--------|--------|---------------------------|----------|----------|--------|
| | | | input | output | output | Harn | Kot | | | | |
| | | [kg] | [g/d] | [g/d] | [g/d] | [%] | [%] | [g/kg ^{0,75} /d] | | | |
| Trp 100 | 9 | 223 | 1998 | 8767,7 | 303,3 | 0,1747 | 0,4372 | 0,313 | 0,265 | 0,023 | 0,025 |
| | 10 | 225 | 2011 | 8744,9 | 343,7 | 0,2287 | 0,4031 | 0,313 | 0,344 | 0,024 | -0,055 |
| | 11 | 208 | 1896 | 9069,4 | 695,3 | 0,1665 | 0,4247 | 0,313 | 0,276 | 0,054 | -0,017 |
| | 13 | 218 | 1964 | 9588,2 | 615,1 | 0,1534 | 0,5439 | 0,313 | 0,259 | 0,059 | -0,005 |
| | 12 | 232 | 2058 | 8477,3 | 574,2 | 0,1848 | 0,3502 | 0,313 | 0,264 | 0,034 | 0,016 |
| Trp 60 | 9 | 223 | 1998 | 7165,5 | 571,7 | 0,2198 | 0,4187 | 0,317 | 0,273 | 0,041 | 0,003 |
| | 10 | 225 | 2011 | 8968,9 | 457,3 | 0,2065 | 0,3775 | 0,317 | 0,319 | 0,030 | -0,032 |
| | 11 | 208 | 1896 | 9553,9 | 531,1 | 0,1713 | 0,4498 | 0,317 | 0,299 | 0,044 | -0,025 |
| | 13 | 218 | 1964 | 10256,0 | 699,7 | 0,1440 | 0,5010 | 0,317 | 0,260 | 0,062 | -0,005 |
| | 12 | 232 | 2058 | 9841,2 | 723,1 | 0,1716 | 0,3613 | 0,317 | 0,284 | 0,044 | -0,011 |
| Trp 30 | 9 | 223 | 1998 | 8004,8 | x | 0,2326 | | 0,311 | 0,323 | 0,041 | -0,053 |
| | 10 | 225 | 2011 | 9397,8 | 326,2 | 0,2024 | 0,5667 | 0,311 | 0,327 | 0,032 | -0,048 |
| | 11 | 208 | 1896 | 9414,9 | 504,7 | 0,1826 | 0,4567 | 0,311 | 0,314 | 0,042 | -0,045 |
| | 12 | 232 | 2058 | 9431,6 | x | 0,1930 | | 0,311 | 0,306 | 0,041 | -0,036 |
| Trp 0 | 10 | 225 | 2011 | 9110,6 | 643,0 | 0,2435 | 0,4534 | 0,311 | 0,382 | 0,050 | -0,121 |
| | 11 | 208 | 1896 | 9752,7 | 724,9 | 0,1887 | 0,5125 | 0,311 | 0,336 | 0,068 | -0,093 |
| | 13 | 218 | 1964 | 9843,6 | 525,3 | 0,1982 | 0,4713 | 0,311 | 0,344 | 0,044 | -0,077 |

Übersicht 11: Bilanzdaten der N-freien Diät in Versuch 6

| Ration | Tier | LM [kg] | Futter- | Harn- | Kot- | N im | N im | N- Input | N-output | N-output | N- Bilanz |
|--------|------|------------|----------------|-----------------|-----------------|-------------|------------|---------------------------|----------|----------|--------------|
| | | | input [g/d] | output [g/d] | output [g/d] | Harn [%] | Kot [%] | | Harn | Kot | |
| | | | | | | | | [g/kg ^{0,75} /d] | | | |
| N 0 | 2 | 225 | 2011 | 9101,9 | 411,7 | 0,0521 | 0,4561 | 0,004 | 0,082 | 0,032 | -0,110 |
| | 3 | 245 | 2144 | 7624,9 | 946,8 | 0,0525 | 0,3391 | 0,004 | 0,065 | 0,052 | -0,112 |
| | 4 | 252 | 2189 | 11572,9 | 506,6 | 0,0422 | 0,3993 | 0,004 | 0,077 | 0,032 | -0,105 |
| | 5 | 185 | 1736 | 9354,7 | 509,5 | 0,0415 | 0,4381 | 0,004 | 0,077 | 0,044 | -0,118 |
| | 7 | 250 | 2176 | 8397,0 | x | 0,0671 | x | 0,004 | 0,090 | 0,041 | -0,127 |
| | 8 | 225 | 2011 | 8608,9 | 822,0 | 0,0618 | 0,2784 | 0,004 | 0,092 | 0,039 | -0,127 |
| | 9 | 184 | 1729 | 9342,4 | 494,6 | 0,0446 | 0,3437 | 0,004 | 0,083 | 0,034 | -0,113 |
| | 12 | 247 | 2157 | 9637,5 | 831,0 | 0,0535 | 0,2629 | 0,004 | 0,083 | 0,035 | -0,114 |

Lebenslauf

Persönliche Daten Bettina Maria Jahn

Geburtstag geboren am 18.08.1968

Geburtsort Passau

Familienstand ledig

Schulbildung

1975-1979 Grundschule in Eching

1979-1988 Carl-Orff-Gymnasium Unterschleißheim Abschluß Abitur

Studium und beruflicher Werdegang

1988-1989 Studium der Chemie an der Technischen Universität München

1989-1992 Ausbildung zum Chemielaboranten im Consortium für elektrochemische Industrie in München

1992-1998 Studium der Agrarwissenschaften an der Technischen Universität München
Abschluß: Dipl. Ing. agr.

1998-2000 Promotion am Institut für Ernährungswissenschaften der Technischen Universität München zum Thema: Stickstoff-Bilanzstudien zum Erhaltungsbedarf an essentiellen Aminosäuren bei ausgewachsenen Sauen.