ETH zürich

ETH Library

Untersuchungen über die Zusammensetzung und den Nährwert der stickstoffhaltigen Nahrungsfraktion in Grünfutter und in vergleichbaren Silagen

Doctoral Thesis

Author(s):
Landis, Jakob

Publication date:
1960

Permanent link:
https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-a-000101373

Rights / license:
In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

This page was generated automatically upon download from the ETH Zurich Research Collection.
For more information, please consult the Terms of use.

Prom. Nr. 2941

Untersuchungen über die Zusammensetzung und den Nährwert der stickstoffhaltigen Nahrungsfraktion in Grünfutter und in vergleichbaren Silagen

Von der
Eidgenössischen Technischen
Hochschule in Zürich

zur Erlangung
der Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften
genehmigte

PROMOTIONSARBEIT

vorgelegt von

JAKOB LANDIS
dipl. Ing.-Agr. E. T. H.
von Schönenberg (Kt. Zürich)

Referent: Herr Prof. Dr. E. Crasemann
Korreferent: Herr Prof. Dr. H. L. Le Roy

Juris-Verlag Zürich
1960

Meinem Vater

und dem Gedenken meiner Mutter

Es ist mir ein Bedürfnis, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. E. Crasemann, unter dessen Leitung die vorliegende Arbeit entstand, für seine vielseitige Unterstützung herzlich zu danken.

Herr Prof. Dr. H.L. Le Roy beriet mich in zuvorkommender Weise hinsichtlich der statistischen Bearbeitung der Versuchsergebnisse. Die ständige Beratung der Herren Dr. A. Schürch und Dr. H. Jucker waren für mich von grossem Wert. Herr A. Wegmann, Tagelswangen, Zürich, und Herr E. Iten, Unterägeri, Zug, ermöglichten mir durch ihr Entgegenkommen die Durchführung der zwei Silierversuche. Wertvolle Dienste bei den praktischen Arbeiten leisteten mir auch die Herren J. Bischofberger und H. Strübi. Ihnen allen bin ich zu grossem Dank verpflichtet.

Leer - Vide - Empty

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung 7

II. Das Untersuchungsmaterial 8

A. Der Silierversuch Tagelswangen 8

B. Der Silierversuch Aegeri 10

III. Die chemische Untersuchung der stickstoffhaltigen Fraktion 12

A. Methoden 12

1. Stickstoffbestimmungen 12
2. Extraktion der freien Aminosäuren 13
3. Hydrolyse 13
4. Bestimmung der Aminosäuren 13
   a. Allgemeines 13
   b. Testbestimmungen mit reinen Aminosäuren 14

B. Die Ergebnisse der analytischen Untersuchung 17

1. Das Ausmass des durch die Silierung bewirkten Proteinabbaues 17
2. Der Gehalt an Aminosäuren nach saurer Hydrolyse 18
3. Der Gehalt an freien Aminosäuren im Alkoholextrakt 21

IV. Die biologische Ausnützbarkeit der stickstoffhaltigen Fraktion von Trockengras, AIV-Silage und Zuckersilage in Stickstoffbilanzversuchen an wachsenden Kaninchen 25

A. Anlage und Durchführung der Versuche 25

1. Der Versuchsplan 25
2. Die Versuchstiere 27
3. Das Versuchsfutter 27
4. Die Sammlung und Analyse der Exkremente 29
5. Der Versuchsverlauf 29

B. Die rechnerische Behandlung der Versuchsdaten, einschliesslich statistische Auswertung 30

C. Die Verwertung der stickstoffhaltigen Futtersubstanz 33

D. Methodische Betrachtungen zum Stickstoffbilanzversuch 34

1. Die Variabilität der Verdaulichkeit 34
2. Die Ausnützung des Futterstickstoffes, gemessen auf Grund der Stickstoffbilanz 36
3. Ueber den Versuchsfehler und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse 40

V. Ueber die Beziehung zwischen der chemischen Zusammensetzung der stickstoffhaltigen Substanz des Grünfutters sowie der Silagen und deren Ausnützbarkeit durch den tierischen Organismus 42

A. Allgemeines 42

B. Verdauliches Rohprotein und verdauliches Reinprotein als Mass für den Gehalt an physiologisch wirksamer stickstoffhaltiger Substanz im Trockengras und in den Silagen aus dem Silierversuch Aegeri 43

VI. Zusammenfassung 49

Summary 52

Literaturverzeichnis 54

Anhang I : Die Berechnung der für die Bewertung der stickstoffhaltigen Futtersubstanz massgeblichen Grössen 57

Anhang II : Die theoretischen Grundlagen zur statistischen Auswertung der Ergebnisse des Stickstoffbilanzversuches 65

Anhang III : Beispiel zur Durchführung der statistischen Analysen 73

Anhang IV : Zusammenstellung der Einzelergebnisse und der Mittelwerte 81

Anhang V : Ergebnisse der statistischen Auswertung 87

I. Einleitung

Die Grünfuttersilierung ist ein biologisches Konservierungsverfahren, bei welchem pflanzliche Enzyme und Mikroorganismen bedeutende Stoffumsetzungen bewirken. Selbst durch Zugabe von Mineralsäuren, Schwefeldioxyd oder andern, die Intensität biologischer Vorgänge hemmenden Sicherungszusätzen können und sollen biologische Vorgänge nicht vollständig unterbunden werden. Durch die biologische Aktivität wird die Zusammensetzung der ursprünglichen Grünfuttersubstanz wesentlich verändert.

Hinsichtlich der stickstoffhaltigen Futtersubstanz bewirken die biologischen Prozesse einen mehr oder weniger ausgeprägten Eiweissabbau, d.h. die hochmolekularen Proteine werden zum Teil in niedrigere Bausteine aufgespalten. Ein solcher Proteinabbau äussert sich in einer vermehrten Löslichkeit des Futterstickstoffs in Wasser oder andern Lösungsmitteln sowie in einem verringerten Anteil des Reinproteins am Rohprotein. In gewissen Fällen, insbesondere, wenn keine genügend rasche oder genügend starke Erhöhung der Wasserstoffionenkonzentration im Futterstock eintritt, finden in wesentlichem Ausmasse Desaminierungsvorgänge statt. In gut gelungenen Silagen bleibt die Ammoniakanreicherung in bescheidenem Rahmen und macht kaum mehr als 5% des gesamten Futterstickstoffs aus.

Es muss wohl angenommen werden, dass eine Ammoniakbildung aus Proteinen eine Wertverminderung der stickstoffhaltigen Futtersubstanz bedingt; dagegen ist man noch weitgehend im Unklaren darüber, welcher Art die übrigen, auch bei günstig verlaufender Gärung und bescheidener Ammoniakbildung in grösserem Umfang auftretenden Veränderungen der stickstoffhaltigen Futtersubstanz sind und welche Bedeutung diesen Veränderungen hinsichtlich der Nährwirkung der Futterkonserve zukommt.

Im Bestreben, einen Beitrag zur Lösung dieser Fragen zu leisten, haben wir uns die Aufgabe gestellt, mit Hilfe von papierchromatographischen Aminosäureanalysen die Zusammensetzung der stickstoffhaltigen Futtersubstanz in bestimmten Grünfutterproben und in daraus hergestellten Silagen zu untersuchen. Darüber hinaus sollte an wachsenden Kaninchen die Verwertbarkeit der stickstoffhaltigen Fraktion der Silagen mit derjenigen des Ausgangsmaterials verglichen werden.

II. Das Untersuchungsmaterial

A. Der Silierversuch Tagelswangen

Ein erster Silierversuch konnte auf dem Betrieb von Herrn A. Wegmann, Tagelswangen, Zürich, durchgeführt werden. Als Versuchsmaterial diente der ausgeglichene Bestand einer gut gedüngten Mähweide, der sich zu 25 bis 30% aus Weissklee und zu je etwa 30 bis 40% aus Gräsern, bzw. Kräutern zusammensetzte. Am 5. August 1954 wurde das Futter taufeucht geschnitten, in einem sogenannten Allesmixer, Marke "Cramer", vermust und sofort in einen hölzernen, zylinderförmigen Behälter von rund 0,6 m^3 Fassungsvermögen eingestampft. Das Einfüllgut enthielt im Mittel 15,2% Trockensubstanz und in dieser 21,2% Rohprotein. Als Sicherungszusatz diente eine Gabe von 1% Zucker. Während des Einfüllens wurden repräsentative Proben für die chemische Untersuchung des Ausgangsmaterials genommen. Zur Kontrolle des Gärverlaufes wurde in der Mitte des Futterstockes ein Stabthermometer eingeführt. Den Abschluss nach oben bildete eine etwa 2 mm dicke Gummiplatte, die mit einem passenden Holzdeckel und rund 150 kg Sand und Steinen beschwert wurde. Die Saftabflussöffnung blieb von Anfang an verschlossen.

Unmittelbar nach dem Einfüllen wies der Futterstock eine Temperatur von 32° C auf; sie stieg bis zum nächsten Tag noch um 1° C. Nachher sank sie stetig ab und erreichte nach zwei Wochen 20° C. Nach diesen zwei ersten Wochen traten nur noch kleinere, durch den Verlauf der Aussentemperatur bedingte Schwankungen auf.

Am 12. November, also 99 Tage nach dem Einfüllen, wurde der Silo entleert; hierbei wurden Proben für die Sinnenprüfung und die chemische Untersuchung genommen.

Die Silage zeigte eine olivgrüne Farbe und roch angenehm säuerlich; nur in den unteren Randpartien deutete der Geruch auf die Anwesenheit von etwas Buttersäure hin. Die Ergebnisse der chemischen Qualitätsprüfung sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

Die Qualität der Hauptmasse der Silage kann als gut bezeichnet werden, wenn auch ein etwas geringerer Essigsäuregehalt wünschenswert gewesen wäre. Die Ammoniakbildung blieb in bescheidenem Rahmen und die Milchsäureproduktion war in den oberen Behälterpartien genügend. Die Qualität der Silage aus den untersten Partien des Behälters liess zu wünschen übrig; vor der Entnahme einer repräsentativen Probe für die weitere chemische Untersuchung wurden diese Partien verworfen.

Auf Grund der Wägungen des Futters beim Einfüllen und bei der Entnahme sowie unter Berücksichtigung der entsprechenden Analysen ergaben sich die in Tabelle 2 wiedergegebenen Trockensubstanz- und Stickstoffbilanzen.

Tabelle 1

Die Ergebnisse der chemischen Qualitätsprüfung der Silage Tagelswangen

		NH_3 %	Essigsäure*) %	Buttersäure*) %	Milchsäure*) %
Oberer Teil	4,0	0,02	0,7	0	1,8
Mittlerer Teil	3,9	0,03	0,7	0	1,8
Unterer Teil	4,1	0,04	0,6	0,16	1,4

*) Bestimmt nach Lepper 1933 und Flieg 1937, 1938.

Tabelle 2

Die Bilanzen für Trockensubstanz und Stickstoff im Silo Tagelswangen

	Trockensubstanz	Stickstoff
Eingefüllt (kg)	78,9	2,50
Entnommen (kg)	73,0*)	2,46
Differenz (kg)	5,9	0,04
(%)	7,5	1,6

*) Auf Grund der direkten Trockensubstanzbestimmung betrug die entnommene Trockensubstanzmenge 70,2 kg; da aber bei der Trocknung von Silagen mit Verlusten durch Verflüchtigung niederer Fettsäuren zu rechnen ist, wurde eine entsprechende Korrektur vorgenommen (Schoch 1949).

Ein Trockensubstanzverlust von 7,5% kann als sehr niedrig bezeichnet werden. Das geringe Stickstoffdefizit von 1,6% dürfte durch geringfügige Saftverluste oder durch methodische Fehler, vor allem bedingt durch die Inhomogenität des Pflanzenmaterials, verursacht worden sein.

B. Der Silierversuch Aegeri

Der zweite Silierversuch wurde auf dem Areal der Grastrocknungsgenossenschaft Unterägeri, Zug, durchgeführt. Das Einfüllgut bestand zu etwa 60% aus reinem Rotklee und zu 40% aus dem Futter einer Mähweide mit einem rund 25 cm hohen Bestand von etwa 40% Weissklee, 45% Gräsern und etwas Unkräutern, vor allem Kriechendem Hahnenfuss und Sauerampfer.

Das Futter wurde bei schönem Wetter am 25. August 1955 morgens um 6 Uhr geschnitten, nach gutem Antrocknen um 10 Uhr gewendet und um 12 Uhr mittags eingefahren. Dann wurde das Material gehäckselt, die gesamte Menge gut gemischt und in drei gleich grosse Portionen aufgeteilt. Eine Durchschnittsprobe dieses Materials enthielt 20,4% Trockensubstanz und in dieser 20,1% Rohprotein. Die erste Portion wurde in einem elektrisch geheizten Bandtrockner bei maximal 60° C getrocknet. Die andern zwei Portionen wurden in je einen Behälter der gleichen Art, wie im Versuch Tagelswangen verwendet, unter Zusatz von 0,8 l AIV-Säure, bzw. 200 g Zucker pro 10 kg Grünfutter eingefüllt. Das gut gestampfte und mit Gummiplatte und Holzdeckel abgedeckte Material wurde hierauf mit Hilfe von Fusswinden zusammengepresst. Im Gegensatz zum Versuch Tagelswangen wurden diesmal die Saftabflussöffnungen bis zum Versiegen des Saftflusses am 9. Tag noch dem Einfüllen offen gelassen.

Auch in diesem Versuch wurde der Temperaturverlauf während der Gärung an Stabthermometern verfolgt. Unmittelbar nach dem Einfüllen zeigte das Thermometer im Zuckersilo 28° C, dasjenige im AIV-Silo 26,5° C. Während der folgenden Tage fiel die Temperatur stetig und war in beiden Silos schon am 5. Tage nach dem Einfüllen unter 20° C gesunken.

Am 17. Oktober, also 53 Tage nach dem Einfüllen, fand die Entleerung der Silos sowie die Probenahme für die Sinnenprüfung und die chemische Qualitätsbeurteilung statt. Das restliche Material wurde in gleicher Weise wie das Ausgangsmaterial auf dem Bandtrockner getrocknet.

Die AIV-Silage zeigte eine gelbgrüne Farbe und hatte einen angenehm aromatischen Geruch, während die Zuckersilage etwas dunkler war und einen leicht stechenden Geruch aufwies. Dieser deutete auf einen hohen Essigsäuregehalt hin. Nur in den unteren Randpartien des Zuckersilos liess der Geruch etwas Buttersäure erkennen. Die Struktur war in beiden Silagen gut erhalten.

Die Ergebnisse der chemischen Qualitätsprüfung sind in Tabelle 3 wiedergegeben.

Die Qualität der AIV-Silage kann als sehr gut bezeichnet werden. Die Zuckersilage enthielt sehr viel Essigsäure, was vor allem deshalb als unerwünscht zu beur-

Tabelle 3

Die Ergebnisse der chemischen Qualitätsprüfung der Silagen aus dem Versuch Aegeri

	pH	NH_3 %	Essigsäure*) %	Buttersäure*) %	Milchsäure*) %
AIV-Silage					
Oberer Teil	3,7	0,02	0,6	0	2,2
Mittlerer Teil	3,9	0,02	0,6	0	2,6
Unterer Teil	3,8	0,03	0,6	0	2,7
Zuckersilage					
Oberer Teil	3,7	0,03	1,5	0	3,1
Mittlerer Teil	3,8	0,03	1,0	0	3,2
Unterer Teil	3,8	0,03	0,7	0,04	3,5

*) Bestimmt nach Lepper 1933 und Flieg 1937, 1938

teilen ist, weil derartige Silagen von den Tieren nicht sehr gerne aufgenommen werden. Dieser Nachteil trat in unseren N-Bilanz-Versuchen nicht so stark zu Tage, weil die Silagen vor der Verfütterung getrocknet wurden, wobei sich ein wesentlicher Teil der Essigsäure verflüchtigt haben dürfte.

Tabelle 4 zeigt die Stoffbilanzen in den beiden Versuchssilos.

Tabelle 4

Die Bilanzen für Trockensubstanz und Stickstoff in den Silos des Versuches Aegeri

	AIV-Silo		Zuckersilo	
	Trocken-substanz	Stickstoff	Trocken-substanz	Stickstoff
Eingefüllt (kg)	34,0	1,12	42,2	1,22
Entnommen (kg)	32,2*)	1,05	38,6*)	1,17
Differenz (kg)	1,8	0,07	3,6	0,05
(Verlust) (%)	5,3	6,4	8,5	4,0

*) Korrigiert für Verluste bei der Trockensubstanzbestimmung (Schoch 1949).

Die Verluste sind, wie aus Tabelle 4 zu ersehen ist, in beiden Silos sehr gering.

III. Die chemische Untersuchung der stickstoffhaltigen Fraktion

A. Methoden

1. Stickstoffbestimmungen

Die Stickstoffbestimmungen in festen Substanzen wurden nach der am Institut für Haustierernährung bis dahin üblichen Makrokjeldahlmethode durchgeführt. In Flüssigkeiten verwendeten wir eine Kombination der Mikrokjeldahlmethode nach Chibnal et al. 1943 und der Halbmikromethode nach Hadorn et al. 1953. Wir hielten uns an folgende Arbeitsvorschriften:

Makrokjeldahlmethode für feste Substanzen

Aufschluss: 1 bis 2 g Substanz, die etwa 20 bis 100 mg Stickstoff enthalten sollen, werden mit rund 10 g Katalysator (1,3 % Se, 2,6% $CuSO_4$ und 96,1% K_2SO_4) und 20 bis 30 ml konz. H_2SO_4 aufgeschlossen, wobei der Aufschluss nach dem völligen Klarwerden noch eine halbe Stunde weiter erhitzt wird.

Destillation: Der Aufschluss wird quantitativ in einen Destillationskolben übergeführt und mit einem Ueberschuss an NaOH versetzt. Dann wird das Ammoniak in standardisierte N/14 H_2SO_4 überdestilliert.

Mikrokjeldahlmethode für Flüssigkeiten

Aufschluss: Die 0,5 bis 3,0 mg Stickstoff enthaltende Substanz wird mit rund 1 g des Katalysators nach Hadorn l. c. (100 Teile K_2SO_4, 3 Teile HgO und 0,3 Teile Se) und 2 ml konz. H_2SO_4 aufgeschlossen, wobei die Reaktionsmischung nach dem Klarwerden noch mindestens drei Stunden weiter erhitzt wird. Dieses Nacherhitzen hat sich zur vollständigen Erfassung des zyklisch gebundenen Stickstoffs des Tryptophans als notwendig erwiesen. Anderseits führte selbst ein Nacherhitzen über 5 Stunden bei verschiedenen Substanzen zu keinen messbaren Verlusten.

Destillation und Titration: Das Reaktionsgemisch wird quantitativ in eine Dampfdestillationsapparatur nach Parnass - Wagner übergeführt; dann werden 10 ml einer Mischung von 4 Teilen 50%iger NaOH und 1 Teil 8%iger Na-Thiosulfatlösung zugegeben, worauf nachgespült und die Apparatur verschlossen wird. Titriert wird während der Destillation mit N/70 HCl in 20%igem Alkohol, die den Mischindikator nach Hadorn (40 mg Methylrot und 10 mg Methylenblau in 100 ml 95%igem Alkohol) enthält; auf diese Weise ist es möglich eine Rücktitration mit Lauge zu vermeiden.

2. Extraktion der freien Aminosäuren

In Anlehnung an das Vorgehen von Kemble et al. 1954b wurden die freien Aminosäuren gemäss folgender Vorschrift extrahiert:

5 g lufttrockenes, zuvor während 10 Stunden mit Diäthyläther im Soxhletapparat entfettetes Material wird dreimal mit rund 500 ml kochendem Wasser extrahiert. Der auf 100 ml konzentrierte Extrakt wird hierauf mit drei Volumenteilen 98%igem Alkohol versetzt. Der entstehende Niederschlag wird abzentrifugiert und der alkoholische Extrakt auf ein geeignetes Volumen gebracht. Eine Zugabe von etwas Toluol dient der Konservierung der Extrakte bis zur Analyse.

3. Hydrolyse

Je 5 g entfettetes Material wurden mit 500 ml 20%iger HCl während 24 Stunden am Rückflusskühler schwach gekocht. Nach dem Abkühlen wurde der unlösliche Huminniederschlag abfiltriert und das klare Filtrat unter vermindertem Druck zur Trockne eingedampft. Nach zweimaligem Aufnehmen in wenig Wasser und Wiedereindampfen wurde das Hydrolysat mit Wasser auf 100 ml gebracht und durch eine kleine Toluolzugabe konserviert.

4. Bestimmung der Aminosäuren

a. Allgemeines

Die Bestimmung der Aminosäuren erfolgte papierchromatographisch mehrheitlich zweidimensional [1. Lauf Butanol-Eisessig-Wasser (4 : 1 : 5); 2. Lauf wassergesättigtes Phenol] mit nachfolgender Kolorimetrie der isolierten Aminosäuren unter Verwendung von Ninhydrin als Reagens. Im allgemeinen hielten wir uns an das von Vögeli 1957a beschriebene Vorgehen. Eine Abweichung ergab sich bei den Aminosäuren Leuzin, Isoleuzin, Phenylalanin und Valin, die mit dem angegebenen Lösungsmittelpaar nicht isoliert werden können und für welche Vögeli ein zweites Lösungsmittelpaar einsetzte. Wir selbst adsorbierten zunächst die aromatischen Aminosäuren nach dem Verfahren von Drepper 1957 an Aktivkohle und isolierten die durchlaufenden Aminosäuren Leuzin, Isoleuzin, Valin und auch Methionin eindimensional mit dem Lösungsmittel nach Wieland et al. 1951 (Methyläthylketon-Pyridin-Wasser (70 : 15 : 15). Die aromatischen Aminosäuren Phenylalanin, Tryptophan und Tyrosin lassen sich, wenn sie von den übrigen Aminosäuren befreit vorliegen, mit dem Lösungsmittel Butanol-Eisessig-Wasser (4 : 1 : 5) isolieren. Es gelang uns jedoch nicht, sie restlos von der Kohlesäule zu eluieren, weshalb auf ihre quantita-

tive Bestimmung verzichtet wurde. Für die eindimensionalen Trennungen wurden die Papierbogen in der von Schwertfeger 1954 angegebenen Weise vorbereitet (Ausschneiden von fünfeckigen Papierstücken zwischen den einzelnen Auftragstellen). Dadurch konnte der Trennungseffekt etwas verbessert werden.

Ungereinigte Extrakte und Hydrolysate ergaben meist unbefriedigende Papierchromatogramme. Wir sahen uns daher genötigt, die Extrakte und Hydrolysate zu reinigen, indem wir die Aminosäuren an einem stark sauren Ionenaustauscherharz adsorbierten und alsdann eluierten (Vögeli l.c.). Ohne diese Vorbehandlung liessen sich bei der zweidimensionalen Papierchromatographie insbesondere diejenigen Aminosäuren schlecht trennen, die in Phenol einen niedrigen R_f-Wert aufweisen, während die in Phenol rasch wandernden basischen Aminosäuren hinreichend abgegrenzte Flecke ergaben. Ein Vergleich zeigte, dass die Werte für Arginin nach der Reinigung mit dem Austauscherharz bedeutend und für Lysin etwas niedriger ausfielen, als wenn auf diese Reinigung verzichtet wurde. Die basischen Aminosäuren wurden daher in den ungereinigten Extrakten und Hydrolysaten bestimmt.

b. Testbestimmungen mit reinen Aminosäuren

Die kolorimetrische Auswertung einer Anzahl Chromatogramme von Mischungen reiner Aminosäuren ergab die in Tabelle 5 wiedergegebenen, mittleren Extinktionswerte.

Tabelle 5

Extinktionswerte reiner Aminosäuren nach papierchromatographischer Trennung

	Anzahl Chromatogramme	Extinktion pro 0,1 Mikromol Aminosäure Durchschnitt	Standardabweichung in % des Durchschnittes
γ-Aminobuttersäure	7	0,178	6,0
Alanin	13	0,182	8,4
Arginin	9	0,162	8,8
Asparaginsäure	13	0,209	8,2
Glutaminsäure	11	0,223	6,4
Glykokoll	13	0,205	9,5
Histidin	9	0,129	20,5
Isoleuzin	2	0,189	11,9
Leuzin	2	0,138	6,2
Lysin	13	0,217	13,3
Serin	13	0,208	9,9
Threonin	13	0,153	11,1
Valin	2	0,191	2,2

Die Variabilität der Ergebnisse, wie sie durch die in Tabelle 5 wiedergegebenen Standardabweichungen zum Ausdruck gebracht wird, muss als gross bezeichnet werden. Sie ist für die meisten Aminosäuren grösser als die Standardabweichung, die von Vögeli l.c. festgestellt wurde. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass unsere Testbestimmungen mit variierenden Substanzmengen durchgeführt wurden, im Gegensatz zum Vorgehen von Vögeli, der für jede Aminosäure eine optimale und gleichbleibende Menge (0,2 Mikromol) gewählt hatte. Bei Serienuntersuchungen wird man in der Regel nicht so viele Chromatogramme anlegen können, dass man jede Aminosäure in genügender Wiederholung bei optimaler Konzentration bestimmen kann, sondern man wird auch Chromatogramme zur Auswertung heranziehen müssen, die mit nicht optimalen Substanzmengen erhalten wurden, wobei man jedoch grössere Bestimmungsfehler in Kauf nehmen muss.

Erwähnt sei ferner, dass wir unsere kolorimetrischen Messungen mit einem Coleman-Spektrophotometer durchführten, während Vögeli zunächst ein Beckman-Instrument und erst in einer zweiten Phase seiner Untersuchung den uns zur Verfügung stehenden Coleman benützte. Dies gab ihm Gelegenheit, die Extinktionskoeffizienten einer Anzahl reiner Aminosäuren ohne vorhergehende Chromatographie sowohl mit dem Beckman- als auch mit dem Coleman-Apparat zu bestimmen, wobei er etwas abweichende Ergebnisse erhielt. Von Bedeutung ist jedoch, dass das gegenseitige Verhältnis der Extinktionskoeffizienten der geprüften Aminosäuren von der Art der verwendeten Apparatur nicht beeinflusst wurde, d.h. es wurden mit beiden Instrumenten gleiche Leuzinquotienten $\left(= \frac{\text{Extinktion einer bestimmten Aminosäure}}{\text{Extinktion des Leuzins}}\right)$ bestimmt.

Mit Reinsubstanz und ohne vorhergehende Chromatographie bestimmten wir die Extinktion nur für Leuzin und fanden den Wert 0,227 pro 0,1 Mikromol. Diesen Wert sowie die von Vögeli mitgeteilten Leuzinquotienten benutzend, berechneten wir die mutmasslich verlustfreien Extinktionswerte der übrigen von uns erfassten Aminosäuren und stellten diese Extinktionswerte den Werten gegenüber, die wir nach der papierchromatographischen Trennung erhalten hatten. Die aus der Gegenüberstellung sich ergebenden Differenzen zeigen die mutmasslichen, durch die Chromatographie bedingten Verluste an (Tabelle 6).

Von den durch zweidimensionale Papierchromatographie getrennten Aminosäuren zeigen vor allem die in Phenol rasch wandernden (R_f-Werte grösser als 0,45) recht grosse Verluste, während die Verluste bei den in Phenol langsam wandernden weniger gross sind (kleine R_f-Werte).

Tabelle 6

Die durch die papierchromatographische Auftrennung bedingten Verluste an Aminosäuren

	Extinktion pro 0,1 Mikromol Aminosäure		Verlust %	R_f-Wert in Phenol	Papierchromatographische Trennung
	ohne vorhergehende(r) Papierchromatographie	nach			
γ-Aminobuttersäure	0,213	0,178	16	0,79	Zweidimensionale Trennung: 1. Lauf: Butanol-Eisessig-Wasser 2. Lauf: Wassergesättigtes Phenol
Alanin	0,227	0,182	20	0,60	
Arginin	0,202	0,164	19	0,86	
Asparaginsäure	0,204	0,209	0[1)]	0,13	
Glutaminsäure	0,211	0,221	0[1)]	0,24	
Glykokoll	0,227	0,205	10	0,40	
Histidin	0,204	0,129	37	0,69	
Lysin	0,254	0,217	15	0,73	
Serin	0,221	0,208	6	0,34	
Threonin	0,214	0,154	29	0,51	
Isoleuzin	0,227	0,189	17		Eindimensionale Trennung mit Methyläthylketon-Pyridin-Wasser
Leuzin	0,227	0,138	39		
Valin	0,231	0,191	17		

Insbesondere fallen die Verluste bei Histidin und Threonin in Gewicht. Nach eindimensionaler Trennung mit dem Lösungsmittel Methyläthylketon-Pyridin-Wasser berechnete sich der Verlust für das aufgetragene Isoleuzin und Valin mit 17% und für das Leuzin mit 39%.

Die besprochenen, durch die Chromatographie bedingten Verluste haben wir in der Weise berücksichtigt, dass wir bei der Berechnung der Analysenergebnisse diejenigen Extinktionswerte zu Grunde legten, die von uns nach der Chromatographie reiner Aminosäuren ermittelt worden waren.

---

1) Die durchschnittliche Extinktion nach der Chromatographie ist hier sogar etwas höher ausgefallen als ohne vorhergehende Trennung; da dieser Unterschied durch zufällige Schwankungen bedingt sein dürfte, haben wir anstelle der negativen Differenz die Grösse Null eingesetzt.

B. Die Ergebnisse der analytischen Untersuchung

1. Das Ausmass des durch die Silierung bewirkten Proteinabbaues

Die in der Futtermittelanalyse übliche Differenzierung zwischen Protein- und Nichtproteinstickstoff ist weder definitionsgemäss noch analytisch genau. Praktisch wird diese Differenzierung stets durch eine konventionelle Analysenvorschrift festzulegen sein. In diesem Sinne seien im folgenden als Mass des durch die Silierung bedingten Eiweissabbaues der mit Kupferhydroxyd nach Barnstein 1900 ausfällbare sowie der in 70%igem Alkohol unlösliche Stickstoff herangezogen (Tabelle 7).

Tabelle 7

Der Anteil des Proteinstickstoffs am gesamten Stickstoff und der durch die Silierung bedingte prozentische Proteinabbau

	Proteinstickstoff		Ammoniakstickstoff*)
	mit $Cu(OH)_2$ ausgefällt	in 70% Alkohol unlöslich	
	In % des gesamten Futterstickstoffs		
Trockengras Tagelswangen	86,5	87,0	
Silage Tagelswangen	57,1	54,9	4,9
abgebaut	29,4	32,1	
Trockengras Aegeri	87,6	87,0	
AIV-Silage Aegeri	75,1	74,9	3,0
abgebaut	12,5	12,1	
Zuckersilage Aegeri	68,0	68,1	3,8
abgebaut	19,6	18,9	
Proteinabbau in % des ursprünglich vorhandenen Proteinstickstoffs			
Silage Tagelswangen	34,0	36,9	
AIV-Silage Aegeri	14,3	13,9	
Zuckersilage Aegeri	22,5	21,6	

*) Mittel aus den Analysen in den frischen Silagen.

Die Differenz zwischen dem Anteil des Proteinstickstoffs am gesamten Stickstoff im Ausgangsmaterial und dem entsprechenden Anteil in den Silagen kann als Mass für das abgebaute Protein dienen. In Tabelle 7 ist diese Differenz in % des im Ausgangsmaterial vorhandenen Proteinstickstoffs wiedergegeben[1].

Die Ergebnisse für den mit Kupferhydroxyd fällbaren Stickstoff (im folgenden kurz "fällbarer Stickstoff genannt) stimmen recht gut mit denjenigen für den alkoholunlöslichen Stickstoff überein. Offenbar trifft dies nicht für alle Futtermittel zu. So fand Vögeli 1956 in Hefe bedeutend höhere Werte für den fällbaren als für den alkoholunlöslichen Stickstoff.

Gemessen am fällbaren-, bzw. am alkoholunlöslichen Stickstoff, berechnet sich der durch die Silierung verursachte Proteinabbau im Versuch Tagelswangen mit 34,0 bzw. 36,9%. Im Versuch Aegeri dagegen ging der Proteinabbau wesentlich weniger weit. Für die AIV-Silage berechnete er sich mit 14,3 bzw. 13,9% und für die Zuckersilage mit 22,5 bzw. 21,6%.

Aus den Daten für den Ammoniakstickstoff in Tabelle 7 darf geschlossen werden, dass in keiner der Silagen in wesentlichem Ausmass Desaminierungsprozesse aufgetreten sind (der Anteil des Ammoniak- am Gesamtstickstoff bleibt in allen Silagen in bescheidenem Rahmen).

2. Der Gehalt an Aminosäuren nach saurer Hydrolyse

Der nach saurer Hydrolyse in den Trockengras- und Silageproben ermittelte Gehalt an Aminosäuren findet sich in Tabelle 8. Nebst den angeführten Aminosäuren wurden qualitativ auch Tyrosin und Prolin nachgewiesen. Ausserdem konnte Methionin nachgewiesen werden, doch lag es in den Hydrolysaten in so geringer Konzentration vor, dass seine quantitative Bestimmung mit Hilfe der verwendeten Methode nicht möglich war. Cystin und Tryptophan konnten in den Hydrolysaten nicht festgestellt werden; diese Aminosäuren waren offenbar durch die Hydrolyse vollständig zerstört worden. Schliesslich wurde in allen Silagehydrolysaten qualitativ γ-Aminobuttersäure festgestellt, in der Silage Tagelswangen zudem etwas α-Aminobuttersäure.

Unsere Analysen ergaben für alle untersuchten Proben ein ähnliches Aminosäuremuster. Folgende Unterschiede sind jedoch zu verzeichnen:

1. Das Trockengras Aegeri zeigt niedrigere Gehalte an den basischen Aminosäuren Lysin und Arginin als das Trockengras Tagelswangen.

1) Die wiedergegebenen Zahlen für den Proteinabbau sind etwas zu niedrig, da bei der Silierung geringe Stickstoffverluste eingetreten sind (siehe Tabellen 2, S. 9, und 4, S. 11), die vor allem Nichteiweissverbindungen betroffen haben dürften und weil bei der Trocknung der Silagen ein Teil des Ammoniaks sich verflüchtigt haben kann.

2. Die Silagen unterscheiden sich von den entsprechenden Ausgangsmaterialien durch niedrigere Gehalte an den Aminodicarbonsäuren Asparaginsäure und Glutaminsäure und, insbesondere im Falle der Silage Tagelswangen, an den basischen Aminosäuren Arginin und Lysin. Niedrigere Gehalte in den Silagen gegenüber den entsprechenden Ausgangsmaterialien sind zum Teil auch bei den Oxyaminosäuren Serin und Threonin zu verzeichnen.

Tabelle 8

Nach saurer Hydrolyse ermittelter Aminosäuregehalt
(mg Aminosäurestickstoff je 100 mg Totalstickstoff)

	Trockengras Tagelswangen	Silage Tagelswangen	Trockengras Aegeri	AIV-Silage Aegeri	Zuckersilage Aegeri
Alanin	7,3	7,9	7,2	6,6	6,0
Arginin	11,7	5,0	9,4	8,8	7,0
Asparaginsäure	5,7	3,8	6,4	5,8	5,5
Glutaminsäure	5,5	3,5	5,2	5,0	4,5
Glykokoll	5,5	4,9	5,1	5,2	4,9
Histidin	2,7	2,2	2,7	3,2	2,9
Isoleuzin	2,2	2,2	2,3	2,3	2,1
Leuzin	6,8	5,3	5,3	6,1	5,3
Lysin	7,2	4,2	5,4	5,6	4,8
Serin	2,9	2,6	3,8	3,0	2,5
Threonin	2,9	2,9	3,8	3,1	2,3
Valin	3,8	3,7	3,4	4,2	3,7

De Vuyst et al. 1954a, 1954b, fanden in Heuproben im allgemeinen niedrigere Aminosäuregehalte als in entsprechenden Proben von frischem Wiesengras. Dieser Unterschied wird auf grössere Hydrolysenverluste bei den Heuproben zurückgeführt und nicht als real betrachtet. Ob und wie weit auch die von uns festgestellten Unterschiede auf unterschiedlichen Verlusten bei der Hydrolyse beruhen, kann nicht mit Bestimmtheit gesagt werden; es sei aber in diesem Zusammenhang auf die im folgenden Abschnitt wiedergegebenen Ueberlegungen betreffend allfällige, durch den Silierprozess bedingte Verluste verwiesen.

Scharrer et al. 1958, die den Gehalt an einigen Aminosäuren in Laboratoriumssilagen mit dem Ausgangsmaterial verglichen, stellten in den Silagen niedrigere Gehalte an Asparaginsäure, in geringerem Masse auch an Glutaminsäure und Glykokoll

fest. Anderseits fanden diese Autoren nach zehnmonatiger Lagerung deutlich erhöhte Gehalte an Alanin.

Auf Grund ihrer Untersuchungen geben einzelne Autoren (Lugg 1949, Kemble et al. 1954a) der Meinung Ausdruck, dass die Proteine der grünen Teile verschiedener Futterpflanzen ein nur wenig variierendes Aminosäuremuster aufweisen. Diese Ansicht veranlasste uns zur Gegenüberstellung in Tabelle 9. Sie enthält unsere mit den beiden Trockengrasproben gewonnenen Ergebnisse und im Vergleich dazu die Angaben von Lugg 1949 und von Kemble et al. 1954 über die Ergebnisse von Aminosäurebestimmungen in extrahierten Proteinen von Gramineen und Leguminosen, von De Vuyst et al. 1954b in verschiedenen Wiesengrasproben und von Drepper 1957 in Rotklee ohne vorhergehende Extraktion des Proteins.

Tabelle 9

Der Gehalt an einigen Aminosäuren in grünen Pflanzenteilen nach verschiedenen Autoren (mg Aminosäurestickstoff je 100 mg Totalstickstoff)

Autor	Diese Arbeit		Lugg 1949		Kemble et al. 1954	De Vuyst et al. 1954b	Drepper 1957
	a	b	c	d	e	f	g
Alanin	7,3	7,2	4,4-5,1		5,7-5,9	5,6-7,4	6,5
Arginin	11,7	9,4	13,7-14,3	13,0-14,0		8,2-10,6	9,0
Asparaginsäure	5,7	6,4	4,9-5,4	4,7-5,4		8,1-6,2	6,2
Glutaminsäure	5,5	5,2	6,6-7,8	6,4-6,7		5,3-6,9	4,8
Glykokoll	5,5	5,1	0,4		6,4-7,0	4,7-5,6	7,1
Histidin	2,7	2,7	3,6-3,7	3,8-4,0		2,2-3,5	2,7
Isoleuzin	2,2	2,3		3,6	3,3-3,5	2,0-2,8	3,7
Leuzin	6,8	5,3	7,1-8,8	7,3	5,3-5,9	3,5-5,0	5,1
Lysin	7,2	5,4	6,3-6,6	6,4-6,4		4,7-6,8	2,3
Serin	2,9	3,8			3,9-4,2	2,4-3,4	5,5
Threonin	2,9	3,8	3,0	4,0	4,2-4,5	2,2-3,4	3,2
Valin	3,8	3,4	3,3-4,2	4,5	4,4-4,8	2,8-3,9	5,4

Untersuchtes Material:
a Trockengras Tagelswangen
b Trockengras Aegeri
c Gramineen) Analysen von extrahierten Proteinen
d Leguminosen)
e Gramineen und Leguminosen)
f verschiedene Wiesengrasproben
g Rotklee

Wie aus Tabelle 9 zu ersehen ist, decken sich unsere Ergebnisse sehr gut mit den Ergebnissen, die De Vuyst et al. 1954a mit verschiedenen Wiesenprasproben erhalten hatte. Dagegen ergeben sich beim Vergleich unserer Daten mit denjenigen der andern angeführten Autoren teilweise erhebliche Abweichungen sowohl nach unten als auch nach oben. Weitere Beispiele für divergierende Ergebnisse der Aminosäurebestimmung in grünem Pflanzenmaterial lassen sich in der Literatur leicht finden (Harvey 1956, Tilley et al. 1957), doch stehen einer Interpretation dieser Diskrepanzen die nach wie vor bestehende Unkenntnis über das Ausmass der möglichen Analysenfehler (vor allem bedingt durch Verluste bei der Hydrolyse) entgegen. Es wird daher weiterer Untersuchungen bedürfen, um abzuklären, inwiefern das Protein der grünen Teile verschiedener Futterpflanzen ein gleiches oder ähnliches Aminosäuremuster aufweist und inwiefern mit realen Abweichungen von diesem Muster gerechnet werden muss.

3. Der Gehalt an freien Aminosäuren im Alkoholextrakt

In Tabelle 10 sind die Anteile der einzelnen freien Aminosäuren an der gesamten alkohollöslichen Stickstoffraktion wiedergegeben.

Tabelle 10

Der Anteil der freien Aminosäuren an der alkohollöslichen Stickstofffraktion (mg Aminosäure-N je 100 mg alkohollöslichen N)

	Trockengras Tagelswangen	Silage Tagelswangen	Trockengras Aegeri	AIV-Silage Aegeri	Zuckersilage Aegeri
Alanin	8,5	13,4	3,8	7,2	7,5
α-Aminobuttersäure	-	1)	-	-	-
γ-Aminobuttersäure	3,2	7,5	2,0	3,4	4,0
Asparagin	0,3	1)	5,1	4,2	2,5
Asparaginsäure	4,0	1,9	1,5	1,0	2,9
Glutaminsäure	0,6	0,3	0,3	1,4	1,3
Glykokoll	0,4	4,2	0,9	1,9	2,2
Isoleuzin	0,4	2,4	1)	1,1	1,3
Leuzin	0,5	4,9	1)	3,5	4,0
Lysin	-	1,6	-	1)	1)
Serin	0,9	3,0	0,5	1,0	1,8
Threonin	1,1	2,3	-	0,6	2,1
Valin	0,5	4,2	1)	2,0	3,1
Summe für alle quantitativ bestimmten Aminosäuren	20,4	45,7	14,1	27,3	32,7

1) Qualitativ in geringer Menge nachgewiesen.

Die letzte Zeile der Tabelle 10 lässt erkennen, dass der Anteil der freien Aminosäuren am totalen, alkohollöslichen Stickstoff in den Silagen um etwa das doppelte grösser war als in den zugehörigen Trockengrasproben. Dieser Anteil ist am niedrigsten bei der AIV-Silage und am grössten bei der Silage Tagelswangen; er ist somit umso grösser, je mehr von der stickstoffhaltigen Fraktion in alkohollöslicher Form vorliegt (vgl. Tabelle 7, S. 17).

In den Trockengrasproben dominieren unter den freien Aminosäuren Alanin, γ-Aminobuttersäure und Asparaginsäure (im Trockengras Aegeri deren Amid, das Asparagin), während in den Silagen auch die meisten der übrigen Aminosäuren in beträchtlichen Anteilen vorkommen. Die folgenden, in den Proteinen grüner Pflanzen in der Regel vorhandenen Aminosäuren konnten als frei vorliegend nicht nachgewiesen werden: Arginin, Cystin-Cystein, Histidin, Methionin und Triyptophan. Freies Tyrosin war nur in der Silage Tagelswangen qualitativ nachweisbar.

Tabelle 11 zeigt den Gehalt der alkohollöslichen, freien Aminosäuren, bezogen auf die gesamte stickstoffhaltige Fraktion der Futterproben.

Tabelle 11

Anteil der alkohollöslichen freien Aminosäuren an der gesamten stickstoffhaltigen Futtersubstanz (mg Aminosäure-N je 100 mg Total-N)

	Trockengras Tagelswangen	Silage Tagelswangen	Trockengras Aegeri	AIV-Silage Aegeri	Zuckersilage Aegeri
Alanin	1,1	5,5	0,5	1,8	2,4
α-Aminobuttersäure	-	1)	-	-	-
γ-Aminobuttersäure	0,4	3,4	0,3	0,9	1,3
Asparagin	0,04	1)	0,7	1,1	0,8
Asparaginsäure	0,5	0,9	0,2	0,3	0,9
Glutaminsäure	0,07	0,14	0,04	0,4	0,4
Glykokoll	0,06	1,9	0,12	0,5	0,7
Isoleuzin	0,06	1,1	1)	0,3	0,4
Leuzin	0,07	2,2	1)	0,9	1,3
Lysin	-	0,7	-	1)	1)
Prolin	1)	2)	1)	1)	2)
Serin	0,1	1,2	0,07	0,3	0,6
Threonin	0,15	1,0	-	0,15	0,7
Valin	0,07	1,9	1)	0,5	1,0

1) Qualitativ nachgewiesen (Spuren)
2) Qualitativ nachgewiesen (grössere Mengen)

In Studien über den Proteinabbau bei aerober Autolyse (Welke) grüner Pflanzen haben Kemble et al. 1954b, wie auch Michael et al. 1955 die gefundene Akkumulation der einzelnen freien Aminosäuren einer theoretisch zu erwartenden Anreicherung gegenübergestellt. Diese berechnet sich unter der Voraussetzung, dass ein repräsentativer, d.h. ein der ursprünglichen Zusammensetzung entsprechender Anteil des Pflanzenproteins vollständig und verlustlos in seine Bausteine (Aminosäuren und Bestandteile prosthetischer Gruppen, aber nicht in lösliche Peptide) zerlegt wird. Die Differenz zwischen dieser "theoretischen" und der gefundenen Anreicherung wird sodann als Ergebnis einer zusätzlichen Umsetzung der aus dem Protein befreiten Aminosäuren betrachtet. Diese Umsetzungen können sowohl zu einer Verminderung als auch zu einer Anreicherung bestimmter Aminosäuren führen.

Die Voraussetzung, die dieser Ueberlegung zugrunde gelegt wird, erscheint etwas gewagt; in der zitierten Arbeit von Kemble et al. sowie in einer weiteren Arbeit von Kemble 1956 über die Proteolyse bei der anaeroben Vergärung von Grünfutter erhält sie jedoch eine experimentell gut begründete Stütze. Anhand unserer Silierversuche führten auch wir entsprechende Berechnungen durch. Das Ergebnis dieser Berechnungen ist in Tabelle 12 enthalten.

Tabelle 12

Theoretische Berechnung des Verlustes bzw. der Anreicherung der einzelnen Aminosäuren (Aminosäure-N in % des Gesamt-N der Silagen)

	Silage Tagelswangen			AIV-Silage Aegeri			Zuckersilage Aegeri		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Alanin	4,4	2,3	2,1	1,3	0,9	0,4	1,9	1,4	0,5
Arginin	-	3,8	-3,8	-	1,1	-1,1	-	1,8	-1,8
Glutaminsäure	0,1	1,8	-1,7	0,4	0,6	-0,2	0,4	1,0	-0,6
Glykokoll	1,8	1,8	0	0,4	0,6	-0,2	0,6	1,0	-0,4
Histidin	-	0,9	-0,9	-	0,3	-0,3	-	0,5	-0,5
Isoleuzin	1,0	0,7	0,3	0,3	0,3	0	0,4	0,4	0
Leuzin	2,1	2,2	-0,1	0,9	0,6	0,3	0,3	1,0	0,3
Lysin	0,7	2,3	-1,6	-	0,7	-0,7	-	1,0	-1,0
Serin	1,2	0,9	0,3	0,2	0,5	-0,3	0,5	0,7	-0,2
Threonin	0,9	0,9	0	0,2	0,5	-0,3	0,7	0,7	0
Valin	1,8	1,2	0,6	0,5	0,4	0,1	1,0	0,6	0,4

a gefundene Anreicherung = Gehalt in der Silage-Gehalt im Ausgangsmaterial

b "theoretische" Anreicherung = Proteinabbau x Gehalt im Ausgangsmaterial, wobei Proteinabbau = alkohollöslicher N in Silage - alkohollöslicher N im Ausgangsmaterial

c Differenz zwischen a und b

Bei der Würdigung der Angaben in Tabelle 12 muss berücksichtigt werden, dass unsere Analysen mit einer beträchtlichen Unsicherheit behaftet sind und dass die vorerwähnte Voraussetzung für die Berechnung der "theoretischen" Aminosäureanreicherung nur annähernd zutrifft. Die augenfälligsten Diskrepanzen zwischen gefundener und "theoretischer" Anreicherung an freien Aminosäuren sind bei den basischen Aminosäuren Arginin, Histidin und Lysin, bei der Glutaminsäure und im Falle der Silage Tagelswangen auch beim Alanin zu verzeichnen, während bei den übrigen Aminosäuren die gefundenen nur wenig von den "theoretischen" Werten abweichen. Der gemachte Vergleich deutet demnach auf Verluste an basischen Aminosäuren und an Glutaminsäure sowie auf eine Anreicherung an Alanin als Folge des Silierprozesses hin. Hinsichtlich der Aminosäuren Arginin, Lysin und Glutaminsäure findet dieser Hinweis eine Bestätigung in den Ergebnissen der Gesamtanalysen (Analysen der sauren Hydrolysate), während dies für Alanin und Histidin nicht zutrifft.

IV. Die biologische Ausnützbarkeit der stickstoffhaltigen Fraktion von Trockengras, AIV-Silage und Zuckersilage, bestimmt in Stickstoffbilanz-Versuchen an wachsenden Kaninchen

A. Anlage und Durchführung der Versuche

1. Der Versuchsplan

Auf biologischem Wege war der Einfluss des Silierprozesses auf die Ausnützbarkeit der stickstoffhaltigen Fraktion von Gras zu prüfen. Zu diesem Zwecke wurden mit den in Aegeri gewonnenen Futterproben (Trockengras = TG, getrocknete AIV-Silage = AIV und getrocknete Zuckersilage = Z) Stickstoffbilanz-Versuche an wachsenden, d.h. ein verhältnismässig grosses Stickstoffansatzvermögen versprechenden Kaninchen durchgeführt. Zur Verfügung standen 9 Versuchstiere und 3 Reservetiere.

Als Mass der Ausnützbarkeit der stickstoffhaltigen Futtersubstanz diente die bei den Versuchskaninchen festgestellte Stickstoffverwertung. Dabei ist zu bemerken, dass im allgemeinen die am Tiere feststellbare Stickstoffverwertung am ehesten dann repräsentative, d.h. vergleichbare und bis zu einem gewissen Grade der Verallgemeinerung zugängliche Daten zeitigt, wenn sich die Eiweissversorgung bei sonst ausbalancierter und bezüglich Energiezufuhr ausreichender Fütterung eher knapp gestaltet. Diese Voraussetzung dürfte in unseren Versuchen weitgehend erfüllt gewesen sein.

Aus statistischen Gründen war beabsichtigt, jede der 3 Futterarten in mehreren Wiederholungen an die Versuchstiere zu verabfolgen. Diese Absicht führte zunächst dazu, dass für jedes der 9 Kaninchen 6 Test- bzw. Versuchsperioden vorgesehen wurden. Diese 6 Testperioden waren auf das verhältnismässig eng begrenzte Zeitintervall grösserer Wachstumskapazität zu verteilen, was zur Folge hatte, dass die einzelnen Versuchsperioden nur von kurzer Dauer sein konnten und sich ausserdem unmittelbar aufeinander folgen mussten. Die Dauer der einzelnen Testperiode betrug 14 Tage mit 7 Tagen Vorversuch (Angewöhnung der Tiere an das zu prüfende Futter = Vorperiode) und mit 7 Tagen Hauptversuch (quantitatives Sammeln von Kot und Harn = Hauptperiode). Beides, die Kurzfristigkeit und die rasche Aufeinanderfolge der einzelnen Versuchsperioden, schloss die Möglichkeit störender, kürzer oder länger dauernder Nachwirkungen vorausgegangener Fütterungsregime auf die nachfolgenden in sich. Um

dieser Möglichkeit mit vermutlich guter Sicherheit zu begegnen, wurde die in Tabelle 13 wiedergegebene Versuchsanordnung gewählt. Aus dieser Anordnung geht hervor, dass in der zweiten und in den weiteren Versuchsperioden jede der drei geprüften Futterarten einmal nach sich selbst und je einmal nach jeder der beiden andern Futterarten folgte. Damit konnte erreicht werden, dass eine eventuelle spezifische Nachwirkung jeder Futterart auf das Ergebnis der nachfolgenden Testperiode bei allen Futterarten gleich oft zur Geltung kam, womit zu erwarten war, dass Nachwirkungen, wo sie eintraten, weitgehend ausgeglichen wurden und damit die Vergleichbarkeit der Ergebnisse nicht beeinträchtigen konnten.

Die getroffene Versuchsanordnung liess zudem erwarten, dass sich auch störende Einflüsse, die sich aus dem Aelterwerden der Tiere ergeben konnten, mit guter Annäherung ausgleichen liessen.

Tabelle 13

Die Versuchsanordnung

Tier Nr.		1[1)]	2	3	4	5	6[2)]	7	8	9
Versuchsperiode:	23.11.- 5.12.1955	TG	TG	TG	AIV	AIV	AIV	Z	Z	Z
" :	6.12.-19.12.1955	TG	AIV	Z	AIV	Z	TG	Z	TG	AIV
" :	20.12.55.- 2. 1.1956	TG	Z	AIV	AIV	TG	Z	Z	AIV	TG
" :	3. 1.-16. 1.1956	TG	TG	TG	AIV	AIV	AIV	Z	Z	Z
" :	17. 1.-30. 1.1956	TG	AIV	Z	AIV	Z	TG	Z	TG	AIV
" :	31. 1.-13. 2.1956	TG	Z	AIV	AIV	TG	Z	Z	AIV	TG

1) 3. bis 6. Versuchsperiode Tier 1a

2) 2. bis 6. Versuchsperiode Tier 6a

Die Tiere Nrn. 3, 6, 6a und 9 waren weiblichen, die übrigen männlichen Geschlechts.

Bei der statistischen Auswertung wurden die Versuchstiere entsprechend dem Grundmuster ihres Fütterungsturnus in drei Gruppen zusammengefasst:

Gruppe 1, männliche Tiere, Nrn. 1, 4 und 7; jedes Tier erhielt über alle 6 Versuchsperioden ausschliesslich eine der drei geprüften Futterarten.

Gruppe 2, männliche Tiere, Nrn, 2, 5 und 8; wechselten das Futter nach dem Grundmuster TG - AIV - Z.

Gruppe 3, weibliche Tiere, Nrn. 3, 6 und 9; wechselten das Futter nach dem Grundmuster TG - Z - AIV.

2. Die Versuchstiere

Die insgesamt 12 Kaninchen wurden im Alter von 10 Wochen zugekauft. Nach Angaben der Züchters handelte es sich um Kreuzungsprodukte der Rassen Burgunder x Blaue Wiener, die alle vom gleichen Vatertier und von nahe verwandten Müttern abstammten. 6 männliche und 3 weibliche Tiere wurden unmittelbar nach dem Ankauf in Stoffwechselkäfigen, deren Bau von Abgarowicz 1948 beschrieben wurde, an die Versuchsrationen der ersten Periode gewöhnt. Die restlichen drei Tiere wurden in einem gewöhnlichen Kaninchenstall bei normalem Futter in Reserve gehalten.

3. Das Versuchsfutter

Das entweder aus Trockengras, getrockneter AIV- oder getrockneter Zuckersilage bestehende Grundfutter wurde durch energiereiche Zusätze, bestehend aus Stärke, Zucker und Oel sowie durch Mineralstoffe und Vitamine ergänzt. Von der vierten Versuchsperiode an kam eine Sägemehlzulage hinzu. Diese Zulage sollte den Rohfasergehalt der Ration etwas erhöhen und damit zu einer regelmässigeren Kotabgabe führen.

Aus den zu prüfenden Futterarten und den Stärke-, Zucker-, Sägemehl- sowie Mineralstoffzulagen wurden jeweils unmittelbar vor Beginn einer Versuchsperiode Trockenfuttermischungen hergestellt. Gleichen Tags erfolgte alsdann das Auswägen sämtlicher für die Periode benötigter Tagesrationen. Vor der Verfütterung wurde jede Tagesration in das betreffende Futtergeschirr gegeben und mit wenig Wasser in einen feuchtkrümeligen Zustand gebracht. Gleichzeitig erfolgten die Oel- und Vitaminzulagen. Diese Zulagen bestanden aus 10 ml Speiseöl, 40 - 50 mg l-Ascorbinsäure und 1 ml Vitamin B - Lösung, enthaltend 3 mg Vitamin B_1, 2 mg Vitamin B_2, 2 mg Vitamin B_6, 12 mg Niacin und 12 mg Ca-Pantothenat. Die Tiere erhielten ihre Tagesration stets um 6 Uhr morgens vorgelegt.

Tabelle 14, Seite 28, enthält Angaben über den Anteil der einzelnen Komponenten der Trockenfuttermischungen (ohne Wasser-, Oel- und Vitaminzulagen), über den Stickstoffgehalt und die täglich den einzelnen Tieren vorgelegten Mengen dieser Mischungen sowie über die Zusammensetzung des zugelegten Mineralstoffgemisches.

Eine Analyse des Trockengrases und der beiden Silagen auf Schwefel und Chlor ergab, dass in der getrockneten AIV-Silage noch ein wesentlicher Teil der zugegebenen SO_4''- und Cl'-Ionen vorhanden waren. Demzufolge musste damit gerechnet werden, dass die AIV-Silage eine stark saure Wirkung ausüben werde, was den Stickstoffhaushalt und damit auch die Ausnützung des Futterstickstoffs nachteilig hätte beeinflussen können (Zausch 1954).

Tabelle 14

Zusammensetzung, Stickstoffgehalt und Vorlage der Trockenfuttermischungen

Versuchsperiode		I			II			III			IV			V			VI		
Art des Grundfutters		TG	AIV	Z	TG	AIV	Z	TG	AIV	Z	TG	AIV	Z	TG	AIV	Z	TG	AIV	Z
Grundfutter	%	55,4	55,4	55,4	56,0	56,6	55,4	55,2	54,2	55,8	52,1	51,0	52,7	49,4	48,2	49,9	43,9	42,8	44,4
Stärke	%	27,7	27,7	27,7	27,3	26,9	27,7	30,1	30,8	29,7	28,4	29,0	28,0	32,3	32,9	31,8	39,5	40,3	39,2
Zucker	%	13,8	13,8	13,8	13,7	13,5	13,8	12,0	12,3	11,9	11,3	11,6	11,2	10,6	11,0	10,6	9,5	9,7	9,5
Sägemehl	%										5,7	5,8	5,6	5,4	5,5	5,3	4,8	4,9	4,7
Mineralstoffgemisch[1)]	%	3,1	3,1	3,1	3,0	3,0	3,0	2,7	2,7	2,6	2,5	2,6	2,5	2,4	2,4	2,4	2,3	2,3	2,2
N-Gehalt	%	1,59	1,64	1,54	1,62	1,72	1,60	1,58	1,61	1,58	1,53	1,52	1,51	1,47	1,46	1,43	1,35	1,41	1,35
Vorlage	g	72	72	72	73	72	74	83	81	84	88	86	89	93	91	94	98	96	99

1) Die Mineralstoffmischung enthielt: 72 Teile $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$
45 Teile $NaHSO_4$ } in den Rationen mit AIV-Silage durch 108 Teile $NaHCO_3$
54 Teile NaCl jodiert } und 0,02 Teile KJ ersetzt
1,5 Teile Spurenelemente und Vitamin D [450 mg $FeSO_4 \cdot 7\ H_2O$, 90 mg $CuSO_4 \cdot 5\ H_2O$, 90 mg $MnCl_2 \cdot 4\ H_2O$, 27 mg $CoCl_2 \cdot 6\ H_2O$, 9 mg $ZnSO_4 \cdot 7\ H_2O$ und 100 mg "Dohyfral" (160'000 I.E. D_3/g) pro Mischung].

Um diese Wirkung zu verhindern, wurde, wie aus Tabelle 14 ersichtlich ist, in den Rationen mit AIV-Silage das den übrigen Rationen zugesetzte Natriumbisulfat und jodierte Kochsalz durch Natriumbikarbonat und etwas Kaliumjodid ersetzt. Diese Massnahme erlaubte es, das Säure-Basenverhältnis der AIV-Diät demjenigen der beiden andern Diäten anzugleichen.

4. Die Sammlung und Analyse der Exkremente

Der in den Hauptperioden täglich anfallende Kot jedes Einzeltieres wurde während 24 Stunden bei rund 45° C getrocknet. Die gesamte Menge der jeweiligen Sammelperiode wurde quantitativ in einer kleinen Handmühle gemahlen und gewogen. Die gemahlene lufttrockene Substanz wurde alsdann auf ihren Gehalt an Trockensubstanz und Stickstoff analysiert.

Der täglich anfallende Harn wurde mit Wasser auf 500 ml verdünnt. Zur Stickstoffbestimmung wurden aliquote Teile von je 2 bis 3 Tagesproben zusammengenommen. Ueberdies entnahmen wir von jeder Tagesprobe 100 ml und bildeten eine Durchschnittsprobe des Harns der gesamten Hauptperiode. In dieser Durchschnittsprobe wurde ebenfalls eine Stickstoffbestimmung durchgeführt. Die auf diese zwei Arten ermittelten Gesamtstickstoffmengen stimmten recht gut überein. Zur Berechnung der N-Bilanzen stützten wir uns auf die Analysen der Durchschnittsproben.

5. Der Versuchsverlauf

Mit Ausnahme der nachfolgend aufgezählten Störungen verliefen die Bilanzversuche normal:

a. Unmittelbar nach Abschluss der ersten Versuchsperiode am 6.12.1955 erkrankte das Tier Nr. 6. Da es an Durchfall litt und die Futteraufnahme verweigerte, wurde es sofort aus dem Versuch genommen und durch Tier Nr. 6a ersetzt. Als das erkrankte Tier am 4. Tag nach dem Auftreten der ersten Krankheitssymptome offensichtlich am Verenden war, wurde es getötet. Die Untersuchung des getöteten Tieres durch das Veterinärpathologische Institut der Universität Zürich ergab, dass das Tier an einer akuten Darmentzündung gelitten hatte und ziemlich stark mit Kokzidien befallen gewesen war.

b. Am 13.12.1955 begann auch das Tier Nr. 1 dieselben Krankheitssymptome zu zeigen wie Nr. 6 und wurde durch das Tier Nr. 1a ersetzt. Das Tier Nr. 1 verendete am 17.12.1955 im Veterinärpathologischen Institut der Universität Zürich. Die postmortale Untersuchung ergab das gleiche Bild wie bei Tier Nr. 6.

c. Die Ersatztiere Nrn. 6a und 1a schienen sich nur langsam auf das Versuchsfutter einzustellen; denn sie zeigten während mindestens 14 Tagen eine gegenüber den

übrigen Versuchstieren deutlich erhöhte Stickstoffausscheidung im Harn und damit entsprechend niedrigere N-Bilanzen. Wir haben daher die N-Bilanz des Tieres 6a erst von der dritten und diejenige des Tieres 1a erst von der vierten Versuchsperiode an für die Auswertung der Ergebnisse berücksichtigt. Dagegen schien die Verdauung bei den neu in den Versuch genommenen Tieren von Anfang an normal zu verlaufen. Für die Berechnung der Stickstoffverdaulichkeit wurden daher die entsprechenden, mit den Ersatztieren erhaltenen Versuchsdaten schon von der zweiten (Tier Nr. 6a) bzw. dritten (Tier Nr. 1a) Versuchsperiode an berücksichtigt.

d. Das Tier Nr. 9 zeigte seit Beginn des Versuches eine sehr starke Neigung zum Zerstreuen von Futter. Wir wollten dieser Untugend abhelfen, indem wir ihm die Krallenspitzen etwas einkürzten. Durch diesen kleinen Eingriff wurde das Tier offenbar in eine sehr starke Erregung versetzt; es begann nämlich sich selbst die Hinterläufe wundzunagen, so dass diese eingebunden werden mussten. Das Tier nahm zwar nach wie vor unvermindert Futter auf, die Stickstoffausscheidung im Harn stieg aber sehr stark an. Erst nach etwa 12 Tagen schien es sich wieder einigermassen beruhigt zu haben; auch waren die wundgebissenen Füsse gut verheilt und die Stickstoffausscheidung im Harn war wieder auf einen normalen Wert gefallen. Die N-Bilanz des Tieres Nr. 9 in der vierten Hauptperiode wurde bei der Auswertung der Ergebnisse nicht berücksichtigt.

e. Die Stickstoffausscheidung im Harn des Tieres Nr. 5 stieg während der fünften Versuchsperiode von rund 400 auf 700 mg täglich an und fiel erst im Verlaufe der sechsten Vorperiode wieder auf ein normales Niveau ab. Da eine derart schlechte Ausnützung des Futterstickstoffs bei den übrigen Tieren nie verzeichnet wurde und auch dieses Tier während der übrigen Versuchsperioden durchaus normale N-Bilanzen aufwies, nahmen wir an, dass diese Abweichung durch irgend eine von uns nicht erkannte, physiologische Störung verursacht worden war. Wir liessen die N-Bilanz dieses Tieres in der fünften Versuchsperiode ebenfalls unberücksichtigt.

B. Die rechnerische Behandlung der Versuchsdaten, einschliesslich statistische Auswertung

Ausgehend von den Ergebnissen der Stickstoffanalysen im Futter, im Kot und im Harn sowie ausgehend von der Grösse des Futterverzehrs und der Grösse der Kot- und Harnausscheidung, war zunächst für jedes Kaninchen die Verwertung der ihm vorgelegten stickstoffhaltigen Futtersubstanz zu berechnen. Alsdann war eine statistische Auswertung der Ergebnisse vorzunehmen.

Die Verwertung der stickstoffhaltigen Futtersubstanz wurde mit den in Tabelle 15 definierten Grössen zum Ausdruck gebracht. Einige Erläuterungen sollen diese Tabelle ergänzen.

Als "scheinbar" verdaut bezeichnet man allgemein diejenige Stickstoff-(bzw. Eiweiss-)Menge, die sich durch unmittelbare Differenzbildung zwischen den Stickstoffeinnahmen im Futter und der Stickstoffausgabe im Kot ergibt. Der "wahr" ver-

daute Stickstoff wurde von uns geschätzt, indem wir uns einer von Columbus 1954 am Kaninchen festgestellten Beziehung zwischen dem Darmverlust-N (DVN = Stickstoff, der nicht aus unverdautem Futter stammt) und dem Körpergewicht bedienten.

Tabelle 15

Berechnung der für die Bewertung der stickstoffhaltigen Futtersubstanz verwendeten Grössen

Bezeichnung	Berechnungsformel
Scheinbare Verdaulichkeit	$\frac{\text{Futter-N - Kot-N}}{\text{Futter-N}} \; 100$
Wahre Verdaulichkeit	$\frac{\text{Futter-N - Kot-N + DVN}}{\text{Futter-N}} \; 100$
Bilanzwert des gesamten Futter-N	$\frac{\text{N-Bilanz}}{\text{Futter-N}} \; 100$
Bilanzwert des "wahr" verdauten Futter-N	$\frac{\text{N-Bilanz}}{\text{Futter-N - Kot-N + DVN}} \; 100$
Stickstoffnettowert	$\frac{\text{N-Bilanz + NEB}}{\text{Futter-N}} \; 100$
Biologische Wertigkeit (des Rohproteins)	$\frac{\text{N-Bilanz + NEB}}{\text{Futter-N - Kot-N + DVN}} \; 100$
Bilanzwert des "wahr" verdauten Reinprotein-N	$\frac{\text{N-Bilanz}}{\text{Reinprotein-N im Futter - Kot-N + DVN}} \; 100$
Bilanzwert des Proteinäquivalent-N	$\frac{\text{N-Bilanz}}{\text{Proteinäquivalent-N im Futter}} \; 100$
Biologische Wertigkeit des Reinproteins	$\frac{\text{N-Bilanz + NEB}}{\text{Reinprotein-N im Futter - Kot-N + DVN}} \; 100$
Biologische Wertigkeit des Proteinäquivalents	$\frac{\text{N-Bilanz + NEB}}{\text{Proteinäquivalent-N im Futter}} \; 100$

DVN = Darmverlust-N, mit Hilfe der von Columbus 1954 mitgeteilten Gleichung aus dem Körpergewicht berechnet.

NEB = N-Erhaltungsbedarf, mit Hilfe der von Columbus 1954 mitgeteilten Gleichung aus dem Körpergewicht berechnet.

Die den Stickstoff- (bzw. Eiweiss) -Ansatz ergebende Stickstoffbilanz (N im aufgenommenen Futter - N im ausgeschiedenen Kot und Harn) wurde einerseits auf die Gesamtstickstoffeinnahme und anderseits, unter Berücksichtigung des Darmverlust-N, auf den "wahr" verdauten Stickstoff bezogen. Diese Bezugnahme führte zur Berechnung von prozentischen Werten, die wir als den Bilanzwert des gesamten Futterstickstoffes bzw. als den Bilanzwert des "wahr" verdauten Stickstoffs bezeichnen.

Der aus der Stickstoffbilanz sich ergebende Stickstoffansatz stellt nur den einen Teil der Nährwirkung des Futterproteins dar; die andere Teilwirkung entspricht derjenigen Menge verwertbaren Futterstickstoffes, die vom Organismus zur blossen Aufrechterhaltung des Bestandes an Körperprotein benötigt wird (Erhaltungsbedarf). Da der Erhaltungsbedarf an Futtereiweiss mit zunehmendem Körpergewicht steigt, ist, zumal bei knapper Eiweissversorgung, damit zu rechnen, dass auch die Bilanzwerte vom Körpergewicht der Versuchstiere beeinflusst werden. Bilanzwerte, die bei unterschiedlichem Körpergewicht der Versuchstiere bestimmt wurden, sind daher nicht ohne weiteres vergleichbar.

Beim klassischen Bewertungsverfahren für die stickstoffhaltige Nahrungsfraktion nach Thomas-Mitchell wird dem u.a. vom Körpergewicht abhängigen Erhaltungsbedarf an Eiweiss dadurch Rechnung getragen, dass man zur Stickstoffbilanz die im Eiweisshunger bestimmte Summe aus der "endogenen" Stickstoffausscheidung im Harn (EHN) und dem Darmverluststickstoff (DVN) [heute vielfach als Stickstofferhaltungsbedarf (NEB) bezeichnet] hinzuzählt. Wird das Ergebnis alsdann in % der gesamten Stickstoffeinnahme ausgedrückt, erhält man den Stickstoffnettowert (NNW) (vgl. Zimmermann 1952). In % des "wahr" verdauten Stickstoffs berechnet, ergibt die Summe Stickstoffbilanz + NEB die biologische Wertigkeit (BW) der stickstoffhaltigen Nahrungsfraktion[1].

Die für die einzelnen Versuchstiere erhaltenen bzw. berechneten numerischen Werte der in Tabelle 15 aufgeführten Grössen finden sich im Anhang I, S. 59 - 64. Eine Zusammenstellung der gemäss letzter Spalte der Tabelle 15 erhaltenen Werte und der daraus berechneten Durchschnitte enthält der Anhang IV, S. 82 - 86.

Der statistischen Auswertung der Ergebnisse liegt das Modell eines 3 x 6 x 3-Faktoren-Versuches zugrunde, wobei die Stufen des ersten Faktors den drei Rationen,

---

1) Bei der Besprechung der Beziehung zwischen dem durch die Silierung verursachten Eiweissabbau und der Stickstoffverwertung wurden die Werte für die festgestellte Stickstoffbilanz bzw. Summe Stickstoffbilanz + NEB auch auf die Einnahme an verdautem Reinproteinstickstoff (nach Barnstein mit $Cu(OH)_2$ fällbarer N) bezogen. Ein weiterer Relativwert ergab sich durch Bezugnahme auf den sogenannten Proteinäquivalentstickstoff $\left(\frac{\text{"wahr" verdauter Futter-N}}{\text{+ "wahr" verdauter Reinprotein-N}}\right)$

die Stufen des zweiten Faktors den 6 Versuchtsperioden und die Stufen des dritten Faktors den drei Tiergruppen entsprechen. Zur Beantwortung der Versuchsfrage ist unmittelbar nur die Unterteilung nach den verschiedenen Rationen von Bedeutung; die Kenntnis anderer Faktoreneinflüsse ist jedoch ebenfalls wichtig, da sie gewisse Schlüsse hinsichtlich der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ermöglicht. Die theoretischen Grundlagen der Auswertung finden sich im Anhang II, S. 66 ff. Der Gang der statistischen Analyse ist am Beispiel der "biologischen Wertigkeit des Reinproteins" im Anhang III, s. 74 ff detailliert aufgeführt, während bei den übrigen Grössen nur die Ergebnisse (Varianzanalysen, Signifikanztests usw.) im Anhang V, S. 88 ff tabellarisch wiedergegeben sind.

C. Die Verwertung der stickstoffhaltigen Futtersubstanz

Die aus je 18 Einzelergebnissen berechneten Durchschnittsdaten für die Verdaulichkeit, die Bilanzwerte, den Nettowert und die biologische Wertigkeit des Stickstoffes der drei an wachsenden Kaninchen geprüften Futterarten Trockengras, AIV-Silage und Zuckersilage finden sich in Tabelle 16 zusammengestellt.

Tabelle 16

Die Verwertung der stickstoffhaltigen Substanz in Trockengras, AIV-Silage und Zuckersilage durch wachsende Kaninchen (Durchschnittswerte)

	Verdaulichkeit		Bilanzwert		Stickstoff-nettowert	Biologische Wertigkeit
	scheinbare	wahre	des gesamten Futter-N	des "wahr" verdauten Futter-N		
	%	%	%	%	%	%
Trockengras	62,7	69,3	31,9	45,1	51,8	73,3
AIV-Silage	63,9	70,2	31,4	44,6	51,1	72,6
Zuckersilage	62,7	68,8	29,1	42,2	48,7	70,8
Kleinste signifikante Differenz	2,7	2,7	6,6	9,1	5,9	8,9

Die Durchschnittswerte für die scheinbare und wahre Verdaulichkeit liegen bei allen drei Futterarten nahezu auf gleicher Höhe. Den kleinen sich zeigenden Unterschieden ist, wie die angegebene kleinste signifikante Differenz erkennen lässt, keine

Bedeutung beizumessen. Ein Vergleich zwischen dem Trockengras und der AIV-Silage zeigt, dass bei diesen zwei Futterarten auch die Durchschnittsdaten für die Bilanzwerte, den Stickstoffnettowert und die biologische Werigkeit nahezu identisch sind, während die entsprechenden Daten für die Zuckersilage etwas niedriger ausfielen. Aber auch die Differenz zwischen dieser und den andern beiden Futterarten ist viel zu klein, um als wesentlich angesehen zu werden.

Wie aus einem Vergleich der durchschnittlichen Bilanzwerte mit dem Stickstoffnettowert bzw. mit der biologischen Wertigkeit zu ersehen ist, machte die Stickstoffbilanz (N-Ansatz) im Mittel etwa 60% der Summe Stickstoffbilanz + Stickstofferhaltungsbedarf, d.h. der gesamten Nährwirkung des Futterproteins aus. Aus dieser Tatsache ist zu entnehmen, dass unsere Tiere im Mittel etwa 40% des aufgenommenen Futterstickstoffes zur blossen Erhaltung benötigten und somit etwa 60% für den Eiweissansatz verwendeten.

Die Ergebnisse unseres Stickstoffbilanz-Versuches lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die Verdaulichkeit wie auch die intermediäre Verwertung der stickstoffhaltigen Futtersubstanz war bei allen drei geprüften Futterarten praktisch gleich; es ergibt sich somit kein Hinweis darauf, dass der Silierprozess irgend einen Einfluss auf die Verwertbarkeit der stickstoffhaltigen Fraktion des Grases ausgeübt hätte.

D. Methodische Betrachtungen zum Stickstoffbilanzversuch

1. Die Variabilität der Verdaulichkeit

Aus den im Anhang V, S. 88 ff wiedergegebenen Varianzanalysen ist zu ersehen, dass unsere Verdauungsversuche eine Fehlerstreuung von 15,7 bei der scheinbaren-, von 16,2 bei der wahren Verdaulichkeit ergaben; dies entspricht einer Standardabweichung der Einzelergebnisse von etwa 4 Prozenteinheiten. Diese, nicht durch die Art der stickstoffhaltigen Futtersubstanz, sondern lediglich durch das unterschiedliche Verdauungsvermögen der Tiere und durch allfällige Analysenfehler bedingte Variabilität erscheint recht gross, haben doch Wöhlbier et al. 1956 aus vielen Verdauungsversuchen mit Schweinen (128 Versuche) und Rindern (68 Versuche) im Mittel für die prozentische Verdaulichkeit des Rohproteins eine Standardabweichung von nur unwesentlich über einer Prozenteinheit errechnet. Als mögliche Ursachen für die grössere Streuung der Ergebnisse unserer Versuche, verglichen mit denjenigen der erwähnten Verdaulichkeitsbestimmungen mit Schweinen und Rindern, könnten in Betracht kommen:

Tabelle 17

Die am Kaninchen bestimmte Variabilität der prozentischen Verdaulichkeit, verglichen mit der Variabilität berechnet auf Grund von Stickstoffbilanzversuchen verschiedener Autoren an Ratten

	Fehler-streuung s	zugehörige Freiheits-grade	Autor
Kaninchen wachsend			
Scheinbare Verdaulichkeit	3,96	33	Diese Arbeit
Wahre Verdaulichkeit	4,02	33	Diese Arbeit
Ratten ausgewachsen			
Wahre Verdaulichkeit	4,02[1)]	102	Zimmermann 1952
Ratten wachsend			
Wahre Verdaulichkeit	3,76[2)]	20	Armstrong et al. 1950
" "	3,05[2)]	20	Bartlett et al. 1938
" "	2,49[1)]	90	Henry et al. 1948
" "	3,15	25	Columbus et al. 1957
" "	3,81	20	Columbus et al. 1957
" "	1,63	51	Columbus et al. 1958
Scheinbare Verdaulichkeit	2,98	25	Columbus et al. 1957
" "	3,55	20	Columbus et al. 1957
" "	1,56	51	Columbus et al. 1958

1) Aus mehreren Versuchen von uns zusammengelegte Reststreuungen, die nach Bartlett's Test (Linder 1953) alle als homogen betrachtet werden dürfen.
2) Aus den mitgeteilten Einzelergebnissen mit Hilfe einer Varianzanalyse (Ausschaltung der Streuungen zwischen Versuchsperioden und Tieren) von uns berechnet. Die Autoren stützten sich bei der Auswertung ihrer Versuche auf die Differenzen zwischen den Diäten für jedes einzelne Versuchstier, wobei der Versuchsfehler auch noch die Streuung zwischen den Versuchsperioden enthielt und somit höher als die in unserer Tabelle angegebene ausfiel.

1. Die hohe Streuung unserer Ergebnisse ist durch die Tierart (Kaninchen) bedingt.
2. Das Verdauungsvermögen junger, wachsender Tiere ist möglicherweise grösseren Schwankungen unterworfen als dasjenige älterer Tiere.
3. Kleine Futter- und Kotverluste wie auch Wägefehler fallen bei den für Kleintiere niedrigen Absolutmengen an Futter und Kot stärker ins Gewicht als bei grösseren Tieren mit entsprechend grösserem Futterverzehr und grösserer Kotausscheidung.

In Tabelle 17 sind die von uns ermittelten Fehlerstreuungen denjenigen gegenübergestellt, die wir auf Grund von Stickstoffbilanzversuchen anderer Autoren an jungen und ausgewachsenen Ratten berechnet haben.

Die Streuung der von uns am wachsenden Kaninchen bestimmten Verdauungswerte ist teilweise beträchtlich und teilweise um wenig höher, als sie sich aus den Versuchen mit jungen Ratten berechnen liess; bezüglich der wahren Verdaulichkeit entspricht sie ungefähr der von Zimmermann 1952 an ausgewachsenen Ratten festgestellten Variabilität. Bei diesen Vergleichen muss berücksichtigt werden, dass in den Versuchen von Zimmermann wie auch in den unsrigen allfällige Unterschiede im Verdauungsvermögen zwischen den einzelnen Versuchstieren im Versuchsfehler enthalten sind, während die Versuchsanlage der übrigen Autoren eine völlige oder teilweise Ausschaltung dieser Fehlerursache gestattete.

Im übrigen drängt sich die Feststellung auf, dass die Unterschiede zwischen den Fehlerstreuungen der verschiedenen Versuche an wachsenden Ratten auffallend gross sind. Daraus folgt für den Planer neuer Versuche, dass die für eine festgelegte Versuchsgenauigkeit notwendige Minimalzahl an Wiederholungen kaum zum vornherein genau bestimmt werden kann.

2. Die Ausnützung des Futterstickstoffes, gemessen auf Grund der Stickstoffbilanz

Die nach dem klassischen Verfahren von Thomas-Mitchell bestimmte biologische Wertigkeit ist als Mass für die totale prozentische Ausnützung der "wahr" verdauten und resorbierten stickstoffhaltigen Futtersubstanz anzusehen, indem bei der Berechnung der Nährwirkung des Diätproteins nicht nur der Stickstoffansatz (bzw. Stickstoffverlust), sondern auch die zur Deckung des Erhaltungsbedarfes benötigte Stickstoffmenge berücksichtigt wird. Eine wesentliche Schwierigkeit dieses Verfahrens liegt darin, dass die Grösse des Erhaltungsbedarfes an stickstoffhaltiger Substanz nicht in ein und demselben Ausnützungsversuch mitbestimmt werden kann, sondern aus besonderen Versuchen mit den gleichen oder mit vergleichbaren Tieren bei stickstoffreiem Futter oder bei einem Futter, das nur wenig, jedoch vollwertiges Protein enthält, zu übernehmen ist. Es ergibt sich dann der Stickstofferhaltungsbedarf als Summe der Stickstoffausscheidungen im Kot (Darmverlust-N = DVN) und im

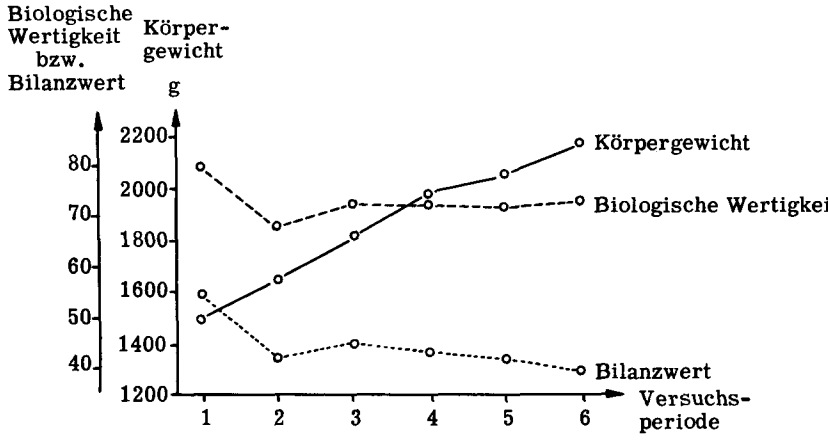
Harn (endogener Harn-N = EHN). Der Begriff "endogene Stickstoffausscheidung im Harn" (EHN) entspricht der Vorstellung vom endogenen und exogenen Stickstoffwechsel nach Folin 1905. Nachdem diese Vorstellung als Folge der neueren Erkenntnisse über den intermediären Stoffwechsel weitgehend modifiziert werden musste, ist es schwierig geworden, dem im Stickstoffhunger bestimmten EHN die Bedeutung einer physiologisch repräsentativen Grösse beizumessen (Hötzel 1958). Als weitere Schwierigkeit kommt hinzu, dass die Reproduzierbarkeit der EHN-Bestimmung zu wünschen übrig lässt und in wiederholten Versuchen auch mit den gleichen Tieren oftmals beträchtlich abweichende Werte ergibt.

Die eben genannten Schwierigkeiten haben Müller et al. 1954 dazu geführt, bei der Ermittlung der Stickstoffausnützung den Stickstofferhaltungsbedarf der Versuchstiere nicht mehr zu berücksichtigen und das Ergebnis der Stickstoffbilanzversuche einfach in Form des Quotienten $\frac{\text{N-Bilanz} \cdot 100}{\text{scheinbar verdauter N}}$, von den Autoren "Eiweisswertigkeit" genannt, wiederzugeben. Eine ähnliche Bedeutung wie dieser "Eiweisswertigkeit" kommt dem von uns berechneten Bilanzwert des "wahr" verdauten Futter-N zu.

Im folgenden sei untersucht, ob und wie in unseren Versuchen sich die beiden Grössen Bilanzwert des "wahr" verdauten Stickstoffs und biologische Wertigkeit mit zunehmendem Körpergewicht der Kaninchen systematisch verändert haben. Da Müller et al. 1954 geltend machen, dass durch die Berücksichtigung der schwer zu bestimmenden EHN-Grösse ein zusätzlicher Fehler in die Ergebnisse aufgenommen werde, sei die Frage ob der EHN bei der Berechnung der Stickstoffverwertung berücksichtigt werden soll oder nicht, auch im Hinblick auf die Versuchsgenauigkeit erörtert.

In Figur 1 ist die durchschnittliche Körpergewichtsentwicklung der Versuchstiere den durchschnittlichen Ergebnissen für den Bilanzwert des "wahr" verdauten Futter-N und für die biologische Wertigkeit gegenübergestellt.

Wie aus Figur 1 hervorgeht, nahmen unsere Kaninchen im Verlaufe des Versuches ziemlich regelmässig an Gewicht zu. Der Bilanzwert nahm von der dritten bis zur sechsten Versuchsperiode stetig ab, während die biologische Wertigkeit im gleichen Zeitabschnitt annähernd konstant blieb. In der ersten Versuchsperiode liegen die Werte für beide Grössen auffallend hoch, in der zweiten dagegen auffallend tief. Die Durchschnittswerte aus den ersten zwei Versuchsperioden würden sich, sowohl was den Bilanzwert als auch, was die biologische Wertigkeit betrifft, dem späteren Kurvenverlauf gut anfügen. Mit guter Annäherung darf somit gesagt werden, dass die Ermittlung der biologischen Wertigkeit, in der die nach Columbus 1954 berechneten Daten für den Stickstofferhaltungsbedarf unserer Kaninchen mit einge-



Figur 1 Das durchschnittliche Körpergewicht der Versuchstiere und die durchschnittlichen Ergebnisse für den Bilanzwert des "wahr" verdauten Futter-N sowie für die biologische Wertigkeit in den sechs Versuchsperioden

schlossen sind, über den ganzen Versuch gleichbleibende Ergebnisse zeitigte und dass anderseits die den Stickstofferhaltungsbedarf nicht einschliessenden Bilanzwerte des "wahr" verdauten Futter-N, ebenfalls über den ganzen Versuch gesehen, eine fortschreitende, als systematisch zu bezeichnende Abnahme zeigen. Hieraus darf mit einiger Sicherheit gefolgert werden, dass die Bestimmung der Stickstoffausnützung mit Tieren, die innerhalb einer Versuchsperiode ein unterschiedliches Körpergewicht aufweisen oder dieses innerhalb einer, mehrere Perioden umfassenden Versuchsserie verändern, weniger variable Ergebnisse ergibt, wenn sie mit Hilfe der biologischen Wertigkeit statt mit Hilfe von Bilanzwerten gemessen wird. Unter der besagten Bedingung (variierendes Körpergewicht der Versuchstiere) wäre demnach der biologischen Wertigkeit als Mass der Stickstoffausnützung eher der Vorzug zu geben. Hervorzuheben ist, dass bei der Auswertung unserer Versuchsergebnisse der grösste Teil des Einflusses des variierenden Körpergewichtes auf den Bilanzwert als Streuung zwischen den Versuchsperioden ausgeschaltet, d.h. vom Versuchsfehler getrennt werden konnte (Tabelle 18). Eine vollständige Abtrennung war nicht möglich, da sich für das Körpergewicht der Einzeltiere auch innerhalb der einzelnen Versuchsperioden eine recht beträchtliche Variation ergab; die entsprechende Standardabweichung beträgt 130 g oder 6 bis 9% des Körpergewichtes.

Tabelle 18

Die Streuung zwischen den Versuchsperioden sowie die Wechselwirkungen beim Bilanzwert des "wahr" verdauten Futter-N und bei der biologischen Wertigkeit

	Bilanzwert des "wahr" verdauten Futter-N	biologische Wertigkeit
	DQ	DQ
Zwischen den Versuchsperioden	238,144	120,708
Wechselwirkungen		
(Diäten) x (Versuchsperioden) = Fehler zur Prüfung der Diäten	148,473	144,267
(Versuchsperioden) x (Tiergruppen) = Fehler zur Prüfung des Versuchsperioden- und des Tiergruppeneinflusses	51,694	51,414
Wechselwirkung zweiter Ordnung = Fehler zur Prüfung der Wechselwirkungen	52,199	48,645

Wie aus Tabelle 18 zu ersehen ist, liegt die Fehlerstreuung bei der biologischen Wertigkeit nur unbedeutend niedriger als beim Bilanzwert des "wahr" verdauten Futter-N. Die Bestimmung der Stickstoffverwertung auf Grund der biologischen Wertigkeit, in deren Berechnung eine Korrektur für unterschiedliches Körpergewicht mit eingeschlossen ist, hat somit die Variabilität der Ergebnisse, verglichen mit derjenigen, die auf Grund der Bilanzwerte des "wahr" verdauten Stickstoffes erhalten wurden, kaum zu verringern vermocht. Es scheint daher, dass die Variabilität der Stickstoffbilanzwerte, soweit sie durch Körpergewichtsschwankungen von bis zu 10% bedingt wurde, nur einen geringen Teil der Gesamtvariabilität ausgemacht habe. Es konnte also die Verwertung der resorbierten stickstoffhaltigen Substanz der drei geprüften Futtermittel durch die beiden Grössen Bilanzwert des "wahr" verdauten Futter-N und biologische Wertigkeit mit der gleichen Genauigkeit wiedergegeben bzw. verglichen werden. Während aber die biologische Wertigkeit im Verlaufe des ganzen Versuches trotz zunehmendem Körpergewicht der Kaninchen ziemlich gleichmässig ausfiel, erwiesen sich die Bilanzwerte nur innerhalb begrenzter Gewichtsbereiche als unmittelbar vergleichbar.

Ein Vergleich der in Tabelle 16, S. 33, aufgeführten Durchschnittswerte zeigt,

dass Bilanzwert und biologische Wertigkeit die Ausnützung des Futterstickstoffes insofern in übereinstimmender Weise wiedergeben, als die Rangfolge der Diäten bei beiden Grössen gleich ausfiel.

Was über den Bilanzwert des "wahr" verdauten Futter-N und die biologische Wertigkeit gesagt wurde, gilt in analoger Weise auch für den Bilanzwert des gesamten Futter-N und den Stickstoffnettowert. Beide Grössen geben die Ausnützbarkeit des gesamten Futter-N mit gleicher Genauigkeit wieder (vgl. die entsprechenden Varianzanalysen im Anhang V, S. 88 ff). Der Bilanzwert des gesamten Futter-N nimmt aber mit zunehmendem Körpergewicht der Versuchstiere ab, während der Stickstoffnettowert über den ganzen Versuch annähernd gleich hoch ausfällt.

3. Ueber den Versuchsfehler und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

Die Varianzanalysen für den Bilanzwert des "wahr" verdauten Futter-N und für die biologische Wertigkeit haben signifikante Wechselwirkungen zwischen den Einflüssen der Diäten und der einzelnen Versuchsperioden ergeben (Anhang V, S. 91/93); die besonderen Bedingungen der einzelnen Versuchsperioden scheinen sich somit bei den verschiedenen Diäten unterschiedlich ausgewirkt zu haben. Da die Aussagen unseres Stickstoffbilanzversuches nicht auf die in den einzelnen Perioden realisierten Bedingungen beschränkt bleiben sollten, sondern da das Bestreben bestand, ihnen eine auf die Bedingungen des Gesamtversuches sich erstreckende, allgemeine Gültigkeit zu verleihen, musste diese Wechselwirkung als Versuchsfehler betrachtet werden. Das Zustandekommen derartiger Wechselwirkungen ist nur schwer verständlich; für die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse kommt ihnen aber wesentliche Bedeutung zu.

Schiller 1953 wies darauf hin, dass zwischen wiederholten Bestimmungen der biologischen Wertigkeit der stickstoffhaltigen Substanz ein und desselben Futtermittels an Ratten und Schweinen oftmals Unterschiede auftreten, die nicht durch den allgemeinen Analysenfehler erklärt werden können und diesen wesentlich überschreiten. Die Autorin hat deshalb in jeder Versuchsserie ein oder mehrere in ihrer Wirkung bereits bekannte Vergleichsproteine mituntersucht. Von ähnlichen Erfahrungen hat auch Nehring 1954 berichtet.

Falls die Existenz von Wechselwirkungen der besprochenen Art nicht einen seltenen Ausnahmefall darstellen sollte, sondern Tatsachen zum Ausdruck bringt, mit denen ganz allgemein gerechnet werden muss, so würde dies bedeuten, dass die Ergebnisse von Stickstoffbilanzversuchen, die unter hoch standardisierten Bedingungen durchgeführt wurden, selbst bei laufender Mituntersuchung eines Standards, nur sehr

begrenzt gültige Schlüsse zuliessen. In diesem Fall dürften verallgemeinernde Schlüsse nur dann gezogen werden, wenn jedes interessierende Futtermittel oder jede interessierende Ration unter variierenden Bedingungen untersucht würde (Variation der Bedingungen über den ganzen Bereich für den die Ergebnisse gültig sein sollen).

V. Ueber die Beziehung zwischen der chemischen Zusammensetzung der stickstoffhaltigen Substanz des Grünfutters sowie der Silagen und deren Ausnützbarkeit durch den tierischen Organismus

A. Allgemeines

Die in Abschnitt III wiedergegebene chemische Untersuchung hat ergeben, dass im silierten Grünfutter infolge der Gärvorgänge im Silo ein beträchtlicher Proteinabbau stattgefunden hat. Dieser Eiweissabbau äusserte sich in einer vermehrten Löslichkeit der stickstoffhaltigen Substanz in 70-prozentigem Alkohol und in einem Abfall des Anteiles des mit Kupferhydroxyd fällbaren Stickstoffs (Reinprotein-N nach Barnstein 1900) am gesamten Futterstickstoff (vgl. Tabelle 7, S. 17). Die Bestimmung der Aminosäuren in der alkohollöslichen Fraktion ergab ein wesentlich anderes Bild als die Analyse der Gesamthydrolysate. Dies bedeutet entweder, dass der Abbau der Proteine nicht gleichmässig vor sich ging, oder aber, dass die bei der biologischen Hydrolyse frei gewordnen Aminosäuren zum Teil weiter umgesetzt worden waren. Die Analyse der Gesamthydrolysate ergab ebenfalls gewisse Verschiebungen im Aminosäurenmuster (vgl. S. 18/19).

Sowohl die Gegenüberstellung der stattgehabten Anreicherung an freien Aminosäuren und des festgestellten Proteinabbaues (vgl. S. 23/24) als auch der Vergleich des Gesamtaminosäuregehaltes im Ausgangsmaterial und in den zugehörigen Silagen (vgl. S. 18/19) deuten auf Verluste an den basischen Aminosäuren Arginin und Lysin sowie an den Monoaminodicarbonsäuren hin. Die offenbar durch diese Verluste bedingten Verschiebungen im Aminosäuremuster war im allgemeinen umso ausgeprägter, je mehr Protein insgesamt abgebaut wurde.

Da dem hohen Lysingehalt im Eiweiss grüner Pflanzenteile insbesondere zur Ergänzung der lysinarmen Samenproteine eine nicht zu unterschätzende Bedeutung zukommt, dürften vor allem die Lysinverluste von praktischem Interesse sein.

Es war uns, wie früher ausgeführt, nicht möglich, in den Gesamthydrolysaten, die oft als wertlimitierend in Frage kommenden S-haltigen Aminosäuren Methionin und Cystin zu bestimmen. Da nach Angaben der Literatur diese Aminosäuren in den Pflanzenproteinen nur in geringen Mengen vorkommen, können auch aus der Tatsache, dass Methionin und Cystin in freier Form weder in den Trockengras- noch in den Silageproben nachweisbar waren, keine definitiven Schlüsse auf Verluste an diesen Aminosäuren gezogen werden.

B. Verdauliches Rohprotein und verdauliches Reinprotein als Mass für den Gehalt an physiologisch wirksamer stickstoffhaltiger Substanz im Trockengras und in den Silagen aus dem Silierversuch Aegeri

Man ist heute im allgemeinen der Ansicht, dass die verdauliche, nach Barnstein l.c. mit Kupferhydroxyd ausfällbare Fraktion (Reinprotein) kein sehr gutes Mass für den vom Tier verwertbaren Teil der stickstoffhaltigen Futtersubstanz darstellt. Demzufolge ist man in den letzten Jahren immer mehr dazu übergegangen, bei der im allgemeinen üblichen Futtermittel- und Bedarfsberechnung vom verdaulichen Reinprotein als massgebliche Grösse abzusehen und als wertbestimmend in vereinfachender Weise den verdaulichen Anteil der gesamten stickstoffhaltigen Nahrungsfraktion, d.h. das verdauliche Rohprotein zu betrachten. Immerhin wird auch heute noch die Ansicht vertreten, dass mit dem verdaulichen Reinprotein die physiologische Wirkung der stickstoffhaltigen Futtersubstanz doch besser erfasst werde als mit dem Rohprotein (Schoch 1956).

Die Ergebnisse unserer Bilanzversuche ermöglichen es, eine Entscheidung darüber zu treffen, ob die Nährwirkung der stickstoffhaltigen Fraktion der drei geprüften Futtermittel Trockengras, AIV-Silage und Zuckersilage aus dem Silierversuch Aegeri sich bei wachsenden Kaninchen besser nach Massgabe des Gehaltes an verdaulichem Rohprotein oder besser nach Massgabe des Gehaltes an verdaulichem Reinprotein bewerten lassen. Alle drei Futterproben waren in den Rationen mit gleich hohem Anteil an verdaulichem Rohprotein jedoch mit einem recht unterschiedlichen Anteil an verdaulichem Reinprotein vertreten. Trotz dieser Unterschiedlichkeit blieb, wie im Abschnitt IV C gezeigt wurde, die Verwertung der stickstoffhaltigen Substanz gleich, was zum Schluss berechtigt, dass die Bezugnahme auf das verdauliche Rohprotein der Proteinwirkung besser entspricht als die Bezugnahme auf das verdauliche Reinprotein. Wie sehr diese Schlussfolgerung zu Recht besteht, zeigt Tabelle 19, in welcher die in der Stickstoffbilanz, bzw. in der Summe Stickstoffbilanz + NEB zum Ausdruck geknommene Proteinwirkung einerseits auf den "wahr" verdauten Rohproteinstickstoff und anderseits auf den "wahr" verdauten Reinproteinstickstoff bezogen wird (vgl. Fussnote S. 32). Die Tabelle zeigt zusätzlich, welchen Vergleich man erhält, wenn als Bezugsgrösse das arithmetische Mittel aus dem "wahr" verdauten Roh- und dem "wahr" verdauten Reinproteinstickstoff, d.h. das in Grossbritanien gebräuchliche Proteinäquivalent gewählt wird. Die Formeln, die für die Berechnung der Grössen in Tabelle 19 verwendet wurden, finden sich in Tabelle 15, S. 31. Die mit ihnen erhaltenen Einzelergebnisse und die aus diesen berechneten Durchschnittswerte sind im Anhang IV, S. 83 ff enthalten.

Tabelle 19

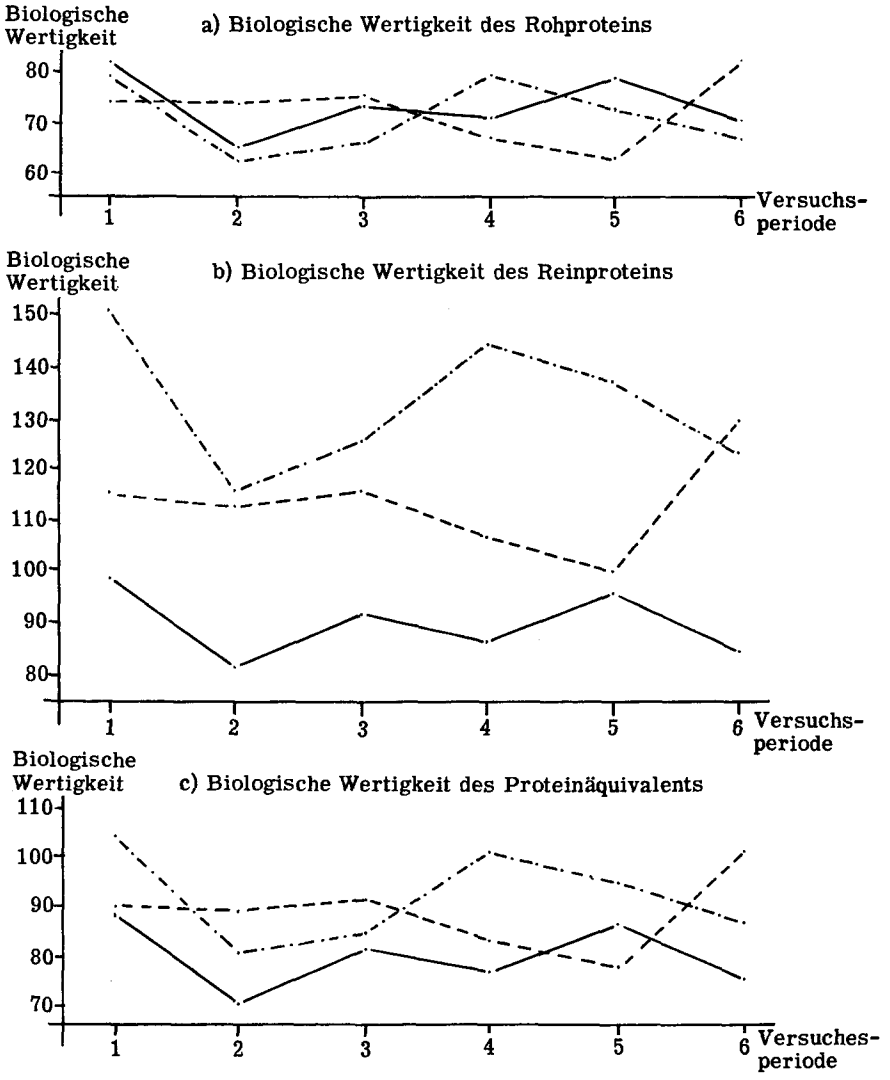
Die Nährwirkung der stickstoffhaltigen Futtersubstanz, bezogen auf den "wahr" verdauten Rohproteinstickstoff, den "wahr" verdauten Reinproteinstickstoff und den Proteinäquivalentstickstoff

	Bilanzwert des			Biologische Wertigkeit des		
	"wahr" verdauten Rohprotein-N	"wahr" verdauten Reinprotein-N	Proteinäquivalent-N	Roh-proteins	Rein-proteins	Protein-äquivalents
Trockengras	45	55	50	73	90	81
AIV-Silage	45	69	54	73	113	88
Zuckersilage	42	79	55	71	133	92
Kleinste signifikante Differenz	9,1	14,8	11,1	8,9	13,6	10,7

Tabelle 19 zeigt deutlich, dass die auf das verdauliche Rohprotein bezogenen Grössen am nächsten beieinander liegen; bei Bezugnahme auf das verdauliche Reinprotein ergeben sich für die drei Diäten stark und statistisch gesichert voneinander abweichende Werte, während die Bezugnahme auf das Proteinäquivalent eine Zwischenstellung ergeben musste und damit immer noch weniger geeignet erscheint als die Bezugnahme auf das verdauliche Rohprotein. Es bestätigt sich somit, dass es in unsern Bilanzversuchen an wachsenden Kaninchen die Menge verfütterten Rohproteinstickstoffes war, die die Wirkung der stickstoffhaltigen Futtersubstanz entscheidend bestimmte.

Dass die Bezugnahme auf das verdauliche Rohprotein die Eiweisswirkung der von uns geprüften Futterproben besser wiedergibt als die Bezugnahme auf das verdauliche Reinprotein oder auf das Proteinäquivalent geht auch aus den Darstellungen der Figur 2, S. 45 hervor, in denen in Abhängigkeit von den 6 Versuchsperioden und, nach Futterarten getrennt, die biologische Wertigkeit erstens des Rohproteins, zweitens des Reinproteins und drittens des Proteinäquivalentes wiedergegeben wird.

Wie ersichtlich, liegen die Kurven der biologischen Wertigkeit des Rohproteins für alle drei Futterarten eng beieinander, während diejenigen des Reinproteins für jede Diät einen gegenüber den beiden andern Futterarten stark divergierenden Verlauf nehmen. Dieses starke Divergieren, das mit der Unterschiedlichkeit im Reinproteingehalt des Trockengrases, der AIV-Silage und der Zuckersilage (vgl. Tabelle 7, S. 17) in Zusammenhang steht, bringt eine Ungleichheit zum Ausdruck, die von der



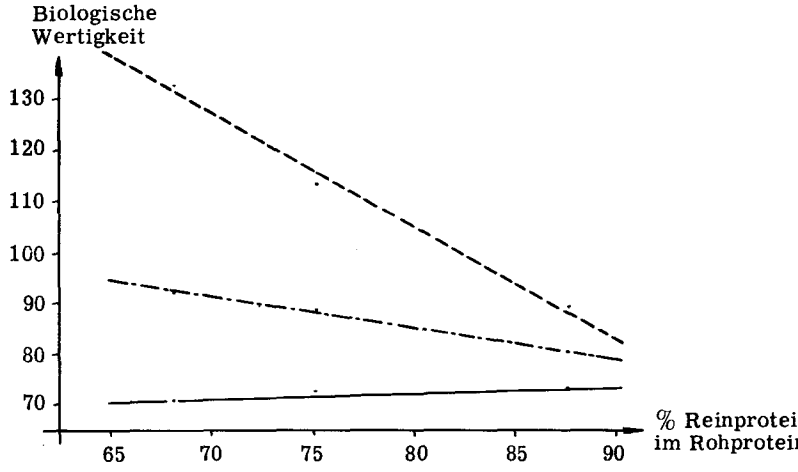
Figur 2

Der biologische Wertigkeit der stickstoffhaltigen Substanz in den 6 Versuchsperioden bei Verwendung der drei Bezugsgrössen Rohprotein, Reinprotein und Proteinäquivalent

(Trockengras ——— , AIV-Silage ------ , Zuckersilage -·-·-)

auf der Basis Rohprotein berechneten und der tatsächlichen am ehesten nahe kommenden Wirkung der stickstoffhaltigen Fraktionen ein stark abweichendes Bild vermittelt. In abgeschwächtem Masse gilt dies, wie zu erwarten war, auch für die auf die biologische Wertigkeit des Proteinäquivalentes Bezug nehmende Darstellung der Figur 2.

Besonders verdeutlicht wird die im Zusammenhang mit unseren Bilanzversuchen als nicht adäquat zu bezeichnende Verwendung des Reinproteins und auch des Proteinäquivalentes durch Figur 3. In dieser Figur werden die Durchschnittsdaten für die biologische Wertigkeit der stickstoffhaltigen Fraktion der drei Futterarten zum Anteil des analytisch bestimmten Reinproteins am Rohprotein in Beziehung gebracht.



Figur 3

Die durchschnittliche biologische Wertigkeit der stickstoffhaltigen Fraktion in Abhängigkeit vom Anteil Reinprotein am Rohprotein

Wie ersichtlich, ergibt sich für die biologische Wertigkeit des Reinproteins mit steigendem Anteil dieser Fraktion am Rohprotein ein Zurückgehen, das in seiner Ausgeprägtheit überrascht. Wieder erwartungsgemäss kommt dieses Zurückgehen bei der biologischen Wertigkeit des Proteinäquivalents weniger ausgeprägt zur Geltung, während die biologische Wertigkeit des Rohproteins eine ganz leicht ansteigende Tendenz erkennen lässt.

Die in Figur 3 dargestellten Regressionen wurden einer statistischen Prüfung unterzogen, wobei die Streuung "zwischen den Futterarten" in Bezug auf den Anteil

des Reinproteins am Rohprotein in eine Komponente "lineare Regression" und eine Komponente "Abweichung von der linearen Regression" aufgeteilt wurde. Für den Signifikanztest der Regressionen konnte alsdann $F = \frac{DQ \text{ (lineare Regression)}}{DQ \text{ (Versuchsfehler)}}$ verwendet werden (Tabelle 20).

Tabelle 20

Die auf den Anteil des Reinproteins am Rohprotein bezogene Aufteilung der Streuung "zwischen den Futterarten" in eine Komponente "lineare Regression" und eine Komponente "Abweichung von der linearen Regression" für die biologische Wertigkeit des Reinproteins, des Proteinäquivalents und des Rohproteins

Streuung	FG	SQ	DQ	F	$F_{0,05}$	$F_{0,01}$
Biologische Wertigkeit des Reinproteins						
Zwischen den Futterarten	2	16'761,7811	8'380,8906	24,9	4,10	7,56
Lineare Komponente	1	16'579,6508	16'579,6508	49,3	4,96	10,04
Abweichung von der linearen Regression	1	182,1303	182,1303	0,54		
Versuchsfehler	10		336,4599			
Biologische Wertigkeit des Proteinäquivalents						
Zwischen den Futterarten	2	1'282,6582	641,3291	3,08	4,10	7,56
Lineare Komponente	1	1'280,6127	1'280,6127	6,15	4,96	10,04
Abweichung von der linearen Regression	1	2,0455	2,0455			
Versuchsfehler	10		208,2524			
Biologische Wertigkeit des Rohproteins						
Zwischen den Futterarten	2	62,2145	31,1073	0,22	4,10	7,56
Lineare Komponente	1	51,8418	51,8418	0,36		
Abweichung von der linearen Regression	1	10,3727	10,3727			
Versuchsfehler	10	1'442,6655	144,2655			

Aus dieser Tabelle geht hervor, dass die Korrelation zwischen den Wirkungsgrössen und dem Anteil Reinprotein am Rohprotein nicht nur bei der biologischen Wertigkeit des Reinproteins, sondern auch bei derjenigen des Proteinäquivalents statistisch gesichert ist und dass die Diätunterschiede bei beiden Grössen vollständig

auf die besprochene Regression zurückgeführt werden können. Hinsichtlich der biologischen Wertigkeit des Rohproteins hätte sich eine Prüfung der Regressionskomponente zum vornherein erübrigt, da das gesamte SQ (zwischen Futterarten) niedriger ausfiel als das DQ (Versuchsfehler) und daher die Regression niemals gesichert sein konnte.

Figur 3 und Tabelle 20 lassen eindeutig den Schluss zu, dass von unsern im Wachstum befindlichen Kaninchen die in den Silagen angereicherten "Amide" ebenso gut oder annähernd ebenso gut verwertet wurden wie der verdauliche Anteil des Reinproteins. Damit wird nochmals herausgestellt, dass das verdauliche Rohprotein als chemisch physiologisch bestimmbare Grösse der Wirkung der stickstoffhaltigen Substanz der drei von uns geprüften Futterarten besser entspricht als das verdauliche Reinprotein oder das Proteinäquivalent.

VI. Zusammenfassung

Es wurden zwei Versuche angelegt, um die Veränderungen der Zusammensetzung und des Nährwertes der stickstoffhaltigen Grünfuttersubstanz durch den Silierprozess zu studieren. Im ersten Versuch (Tagelswangen) wurde vermustes, junges Weidegras mit Zucker als Sicherungszusatz siliert. Im zweiten Versuch (Aegeri) bestand das Ausgangsmaterial aus einer Mischung von Rotklee und Weidegras und wurde nach leichtem Anwelken unter Zusatz von AIV-Säure einerseits und unter Zugabe von Zucker anderseits konserviert. In beiden Versuchen erfolgte die Haltbarmachung des zum Vergleich dienenden Ausgangsmaterials durch schonende Trocknung. Die Beschreibung der Versuchsanlage findet sich auf den Seiten 8 bis 11.

Die Zusammensetzung der stickstoffhaltigen Substanz der schonend getrockneten Proben des Ausgangsmaterials und der Silagen wurde charakterisiert durch:

1. Bestimmung des Anteils des Proteinstickstoffs am gesamten Stickstoff. Der Proteinstickstoff wurde charakterisiert einerseits durch den in 70 prozentigem Alkohol unlöslichen und anderseits durch den nach Barnstein 1900 mit Kupferhydroxyd fällbaren Stickstoff (= Reinproteinstickstoff).
2. Bestimmung einer Anzahl Aminosäuren nach saurer Hydrolyse der getrockneten und entfetteten Futterproben mit Hilfe papierchromatographischer Trennung und anschliessender Kolorimetrie der aus dem Chromatographiepapier extrahierten Aminosäuren mit Ninhydrin.
3. Bestimmung einer Anzahl der durch 70 prozentigen Alkohol extrahierten freien Aminosäuren.

Im Zusammenhang mit dem Versuch Aegeri wurde sodann in Stickstoffbilanzversuchen an 9 wachsenden Kaninchen (Gewichtsabschnitt 1 auf 2 kg) die Verwertung der stickstoffhaltigen Substanz sowohl im Ausgangsmaterial (Trockengras) als auch in den zwei, mit AIV-Lösung bzw. Zuckerzusatz konservierten Silagen bestimmt (S. 25 bis 41). In sonst ausbalancierten Rationen, deren Zusammensetzung aus Tabelle 14, Seite 28, hervorgeht, bildeten diese Futterproben die einzigen ausnützbaren Eiweissträger. Die pro Tier täglich verabfolgte Stickstoffgabe betrug 1100 bis 1350 mg.

Zur Charakterisierung der Verwertung der geprüften stickstoffhaltigen Substanz dienten die folgenden Grössen (vgl. S. 31):

- die scheinbare Verdaulichkeit
- die wahre Verdaulichkeit (Ermittlung unter Mitbenützung der von Columbus 1954 mitgeteilten Gleichung für die Berechnung des Darmverluststickstoffs)
- der Bilanzwert des "wahr" verdauten Futterstickstoffs
- der Bilanzwert des gesamten Futterstickstoffs

- der Stickstoffnettowert
- die biologische Wertigkeit

Ergebnisse

1. Die Qualität der Silagen, festgestellt auf Grund der Sinnenprüfung und der üblichen chemischen Analyse, war befriedigend bis gut (S. 8 bis 11). Der Proteinabbau (Abnahme des Anteils des Proteinstickstoffs am Gesamtstickstoff) war in der Silage Tagelswangen am grössten (rund 35%) und in der AIV-Silage Aegeri am niedrigsten (rund 14%); in der Zuckersilage Aegeri betrug er rund 22% (Tabelle 7, S. 17).

2. Der Vergleich des Gehaltes an Aminosäuren im sauren Hydrolysat der Silagen mit demjenigen des zugehörigen Ausgangsmaterials (Tabelle 8, S. 19) deutet auf gewisse, durch den Silierprozess bedingte Aminosäureverluste hin. Insbesondere Arginin, Asparagin- und Glutaminsäure, z. T. aber auch Lysin, Serin und Threonin wurden in den Silagen in geringerer Menge gefunden als im entsprechenden Ausgangsmaterial.

3. Die Bestimmung der freien Aminosäuren in der alkohollöslichen Fraktion (Tabellen 10 und 11, S. 21 und 22) ergab als Folge des Silierprozesses einen starken Anstieg des Gehaltes an γ -Aminobuttersäure. Alanin, dessen Anteil schon in der alkohollöslichen Fraktion des Ausgangsmaterials dominierte, zeigte in der gleichen Fraktion der Silagen einen Gehaltsanstieg der grösser war, als auf Grund des gesamten Proteinabbaues zu erwarten gewesen wäre. Dagegen konnten Arginin, Cystin, Methionin und Tryptophan in freier Form nicht, und Lysin nur in kleinen Mengen nachgewiesen werden.

   Wie beim Alanin erwiesen sich in der alkohollöslichen Fraktion der Silagen auch die Anteile an Glykokoll, Leuzin, Isoleuzin, Serin und Valin als erhöht. Diese Erhöhung entsprach annähernd der Grösse des festgestellten Proteinabbaues.

4. Die Durchschnittswerte der Grössen, die zur Charakterisierung der am wachsenden Kaninchen bestimmten Eiweisswirkung herangezogen wurden, finden sich in Tabelle 16, Seite 33. Diese Werte lassen keine signifikanten Unterschiede zwischen den geprüften Futterproben (Trockengras, AIV- und Zuckersilage des Versuches Aegeri) erkennen. Der Silierprozess scheint somit die Verwertbarkeit der stickstoffhaltigen Fraktion des Grünfutters nicht verändert zu haben.

5. Die Variabilität der Ergebnisse, welche die am Kaninchen bestimmten Verdauungs-

werte ergaben, wird derjenigen aus Versuchen anderer Autoren an Ratten gegenübergestellt (S. 34 bis 36).

6. Es wird festgehalten, dass die Bilanzwerte des gesamten bzw. "wahr" verdauten Futterstickstoffs einerseits und der Stickstoffnettowert bzw. die biologische Wertigkeit anderseits die Verwertbarkeit der stickstoffhaltigen Futtersubstanz mit ähnlicher Genauigkeit wiedergeben, dass aber die Daten für den Stickstoffnettowert und die biologische Wertigkeit bei unterschiedlichem Körpergewicht der Versuchstiere besser vergleichbar sind als diejenigen für die Bilanzwerte (S. 36 bis 40).

7. Die Varianzanalysen für den Bilanzwert des "wahr" verdauten Futterstickstoff und die biologische Wertigkeit ergab signifikante Wechselwirkungen zwischen Diät und Versuchsperiode. Es wird darauf hingewiesen, dass bei der Eiweissbewertung im Tierversuch, falls mit solchen Wechselwirkungen zwischen den interessierenden Diäteinflüssen und den Versuchsbedingungen allgemein zu rechnen ist, die für allgemeine Schlüsse benötigte, breite experimentelle Grundlage durch kontrollierte Variation der Versuchsbedingungen geschaffen werden sollte (S. 40).

8. In einem letzten Abschnitt wird gezeigt, dass die Bewertung der stickstoffhaltigen Fraktion der geprüften Futterproben auf Grund ihres Gehaltes an verdaulichem Reinprotein oder, in geringerem Masse, auch auf Grund ihres Gehaltes an Proteinäquivalenten der physiologischen Wirksamkeit der stickstoffhaltigen Substanz der Silagen nicht entsprochen hätte (S. 43 bis 48).

Summary

A study has been made of the changes in nitrogen distribution in green fodder due to the ensiling process. In a first experiment (Tagelswangen) young pasture grass has been homogenised and ensiled with sugar added, whereas in a second experiment (Aegeri) mixed red clover and pasture grass have been preserved with either AIV acid or sugar. Representative samples have been dried at low temperature (not higher than 60°C). A description of these experiments is found on pages 8 to 11.

The composition of the nitrogenous fractions of dried samples of the original forage and of the silages has been characterised by:

1. The ratio $\frac{\text{protein N}}{\text{total N}}$, where protein N is represented by the fraction insoluble in 70 % ethanol as well as by the fraction precipitated by cupric hydroxyde (Barnstein 1900).
2. The amino acid composition of the acid hydrolysates of the dried defatted samples, as determined by quantitative paper chromatography.
3. The contents of several free amino acids, also determined by paper chromatography.

In the case of the experiment Aegeri the analytical studies mentioned, have been followed by nitrogen balance experiments with growing rabbits in order to determine the nitrogen utilisation. Either the dried grass or one of the silages was the only source of available nitrogen, supplying 1100 to 1350 mg N per animal per day, in the otherwise well balanced rations.

The nitrogen utilisation has been expressed by the following characteristics:

- apparent digestibility of the nitrogen.
- true digestibility of the nitrogen (metabolic fecal nitrogen being calculated by use of the equation given by Columbus 1954).
- nitrogen balance expressed as a percentage of "true" digested nitrogen.
- nitrogen balance expressed as a percentage of total nitrogen.
- net protein value (metabolic fecal nitrogen and endogenous urinary nitrogen being calculated by use of the equations given by Columbus 1954).
- biological value.

Results

1. The silages were of fair or good quality (pages 8 to 11). Protein breakdown (decrease in protein nitrogen as a percentage of total nitrogen) was greatest in the silage Tagelswangen (approximately 35 % of original protein) and least in the AIV silage

(approximately 14 %); in the sugar silage (Aegeri) the protein breakdown accounted to 22 % (table 7, page 17).

2. A comparison of the acid hydrolysates of the silages and of the original forage indicated losses of certain amino acids due to silage fermentation (table 8, page 19). Especially arginine, aspartic acid and glutamic acid, partially also lysine, serine and threonine have been found in lower concentrations in the silages than in the corresponding dried grass.
3. The determination of the free amino acids in the ethanol soluble fractions (tables 10 and 11, pages 21 and 22) showed a large increase in γ-amino butyric acid. Alanine not only was the dominating free amino acid in the orginal materials, but its accumulation in the silages was even higher than could be explained by simple protein hydrolysis, taking the total protein breakdown and the alanine content of the protein for calculation. Arginine, cystine, methionine and tryptophan have not been found in free form, while lysine was present only in very small amounts.

   The glycine-, leucine-, isoleucine-, serine- and valine contents were higher in the silages than in the dried original forages. This increase was about as high as would be expected from the total protein breakdown.
4. Averages of the various characteristics for nitrogen utilisation in the nitrogen balance experiments are given in table 16, page 33. These values show no significant differences between the three feeds tested (dried grass, AIV silage and sugar silage). The ensiling process, therefore, does not seem to have influenced the protein value of the crop.
5. The variability of the results for nitrogen digestibility is compared with the variability, which resulted in experiments with rats, found by various authors.
6. The nitrogen balance, expressed as a percentage of total or "true" digested nitrogen, measured the nitrogen utilisation with about the same accuracy as net protein utilisation or biological value, but, while the nitrogen balance showed a decrease with increasing body weight of the animals, net protein utilisation and biological value were of a similar magnitude throughout the experiment (body weight increase from 1 to 2 kg).
7. The statistical analysis revealed significant interactions between the diets and the experimental periods in the case of the nitrogen balance (% of "true" digested nitrogen), and of the biological value. Such an interaction between treatments and experimental conditions shows, that, in order to obtain all the information needed, it may be necessary to carry out such investigations under a variety of conditions (page 40).
8. Finally it is shown, that the silages would be grossly underestimated as compared to the dried grass, if the evaluation of the protein of the three feeds were based on their content of digestible true protein or on their protein equivalent.

Literaturverzeichnis

1. Abgarowicz F. (1948). Diss. ETH, Zürich.
2. Armstrong R.H. und Thomas B. (1950). Brit.J.Nutr. 4, 166.
3. Barnstein F. (1900). Landw. Vers. stat. 54, 327.
4. Bartlett S., Henry K.M., Kon S.K., Osborne L.W., Thompson S.Y. und Tinsley J. (1938). Biochem.J. 32, 2034.
5. Bennett C.A. und Franklin N.L. (1954). Statistical analysis in chemistry and the chemical industry, Wiley, New York.
6. Chibnall A.C., Rees M.W. und Williams E.F. (1943). Biochem.J. 37, 354.
7. Columbus A.(1954). Arch. für Tierernährung, Beiheft 5, 146.
8. Columbus A. und Gebhardt G. (1957). Zeitschrift für Tierernährung und Futtermittelkunde 12, 366.
9. Columbus A., Gebhardt G. und Wagner J. (1958). Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde 13, 14.
10. De Vuyst A., Bilinsky E. und Vervak W. (1954 a). La Revue de l'Agriculture 7, Nr. 4.
11. De Vuyst A., Vervak W. und Bilinsky E. (1954 b). La Revue de l'Agriculture 7, Nr. 9.
12. De Vuyst A., Bilinsky E., Vervak W. und Van Belle M. (1955). La Revue de l'Agriculture 7, Nr. 10.
13. Drepper K. (1957). Zeitschrift für Tierernährung und Futtermittelkunde 12, 88.
14. Grandage A. (1958). Biometrics 14, 287.
15. Flieg O. (1937). Tierernährung 9, 178.
16. Flieg O. (1938). Forschungsdienst, Sonderheft 7, 261.
17. Folin A. (1905). Amer.J.Physiol. 13, 66.
18. Hadorn H., Jungkunz R. und Biefer K.W. (1953). Mitt. Geb. Lebensmittel Hyg. 44, 14.
19. Harvey D. (1956). Tables of the amino acids in foods and feedingstuffs, Commonwealth Bureau of Animal Nutrition, Bucksburn, Technical Communication Nr. 19.
20. Hötzel D. (1958). Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde 13, 193.
21. Henry K.M. und Kon S.K. (1948). J.Dairy Res. 15, 341.
22. Kemble A.R. und Macpherson H.T. (1954 a). Biochem.J. 58, 44.
23. Kemble A.R. und Macpherson H.T. (1954 b). Biochem.J. 58, 46.
24. Kemble A.R. (1956). J.Sci.Food Agric. 7, 125.
25. Lepper W. (1933). Landw. Vers. stat. 117, 115.
26. Le Roy H.L. (1957). Mitteilungsblatt für mathematische Statistik und deren Anwendungsgebiete 9, 182.

27. Linder A. (1953). Planen und Auswerten von Versuchen, Birkhäuser, Basel.

28. Lugg W. (1949). Adv. Prot.Chem. 5, 229.

29. Mitchell H.H. (1955). Wissensch. Abh. Deutschen Akad. Landw. Wissenschaften V/2, 279.

30. Michael G. und Blume B. (1955). Arch. für Tierernährung 5, 41.

31. Müller R. und Massberg J. (1954), Archiv für Tierernährung 4, 241.

32. Nehring K. (1954). Arch. für Tierernährung, Beiheft 5, 110.

33. Pearson E.S. und Hartley H.O. (1954). Biometrika tables for statisticians, Cambridge University Press.

34. Scharrer K. und Räker K.O. (1958). Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde 13, 65.

35. Schoch W. (1949). Mitt. Geb. Lebensmittel Hyg. 40, 170.

36. Schoch W. (1949). Vortrag Zürich.

37. Schiller K. (1953). Arch. für Tierernährung 3, 342.

38. Schwertfeger E. (1954). Naturwissenschaften 41, 18.

39. Tilley M.A. und Rayond W.F. (1957). Herbage Abstracts 27, 235.

40. Vögeli H. (1956). Sch. Landw. Monatshefte 34, 71.

41. Vögeli H. (1957 a). Diss. ETH, Zürich.

42. Vögeli H. (1957 b). Persönliche Mitteilung.

43. Wieland T. und Bauer L. (1951). Angew. Chem. 63, 512.

44. Wöhlbier W., Kirchgessner M. und Schneider W. (1956). Zeitschrift für Tierernährung und Futtermittelkunde 11, 139.

45. Zausch M. (1954). Kühn Archiv 68, 141.

46. Zimmermann G. (1952). Diss. ETH, Zürich.

Leer - Vide - Empty

ANHANG I

Die Berechnung der für die Bewertung der N-haltigen Futtersubstanz massgeblichen Grössen

Leer - Vide - Empty

Tabelle

Die Berechnung der für die Bewertung der N-haltigen Futtersubstanz massgeblichen Grössen

1. Versuchsperiode

Tier Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Futterart	TG	TG	TG	AIV	AIV	AIV	Z	Z	Z
Körpergewicht in g	1560	1595	1626	1458	1640	1172	1324	1475	1348
Futterstickstoff in mg	1142,2	1142,2	1137,1	1179,0	1167,9	1160,5	1187,8	1084,3	1105,2
Kotstickstoff in mg	377,7	385,0	409,0	428,0	361,6	434,4	492,9	342,7	379,1
Harnstickstoff in mg	370,0	262,5	270,0	325,0	340,0	382,5	292,5	337,5	242,5
N-Bilanz in mg	394,5	494,7	458,1	426,0	466,3	343,6	402,4	404,1	483,6
Scheinbar verdauter N in mg	764,5	757,2	728,1	751,0	806,3	726,1	694,9	741,6	726,1
Darmverlust-N in mg	59,4	61,7	63,8	52,8	64,8	36,1	44,6	53,9	46,1
N-Erhaltungsbedarf in mg	209,9	214,9	219,3	195,4	221,3	155,1	176,4	197,8	179,8
"Wahr" verdauter N in mg	823,9	818,9	791,9	803,8	871,1	762,2	739,5	795,5	772,2
N-Bilanz + N-Erhaltungsbedarf in mg	604,4	709,6	677,4	621,4	687,6	498,7	578,8	601,9	663,4
Reinprotein-N in Futter mg	1000,5	1000,5	996,0	883,5	875,2	869,7	808,2	737,8	752,0
"Wahr" verdauter Reinprotein-N mg	682,2	677,2	650,8	508,3	578,4	471,4	359,9	449,0	419,0
Proteinäquivalent-N mg	753,1	748,1	721,4	656,1	724,8	616,8	549,7	622,3	595,6
Scheinbare Verdaulichkeit %	66,9	66,3	64,0	63,7	69,0	62,6	58,5	68,4	65,7
Wahre Verdaulichkeit %	72,1	71,7	69,6	68,2	74,6	65,7	62,3	73,4	69,9
Bilanzwert des gesamten Futter-N %	34,5	43,3	40,3	36,1	39,9	29,6	33,9	37,3	43,8
Bilanzwert des "wahr" verdauten Futter-N %	47,9	60,4	57,8	53,0	53,5	45,1	54,4	50,8	62,6
Stickstoffnettowert %	52,9	62,1	59,6	52,7	58,9	43,0	48,7	55,5	60,0
Biologische Wertigkeit des Rohproteins %	73,4	86,7	85,5	77,3	78,9	65,4	78,3	75,7	85,9
Bilanzwert des "wahr" verdauten Reinprotein-N %	57,8	73,1	70,4	83,8	80,6	72,9	111,8	90,0	115,4
Biologische Wertigkeit des Reinproteins %	88,6	104,8	104,1	122,3	118,9	105,8	160,8	134,1	158,3
Bilanzwert des Proteinäquivalent-N %	52,4	66,1	63,5	64,9	64,3	55,7	73,2	64,9	81,2
Biologische Wertigkeit des Proteinäquivalents %	80,3	94,9	93,9	94,7	94,9	80,9	105,3	96,7	111,4

2. Versuchsperiode

Tier Nr.	1	2	3	4	5	6 a	7	8	9
Futterart	TG	AIV	Z	AIV	Z	TG	Z	TG	AIV
Körpergewicht in g	-	1704	1727	1625	1787	1797	1447	1610	1565
Futterstickstoff in mg	-	1230,2	1175,7	1234,9	1166,4	1171,8	1165,1	1172,1	1237,1
Kotstickstoff in mg	-	419,6	435,0	405,6	377,4	520,8	436,6	375,4	367,2
Harnstickstoff in mg	-	442,5	420,0	410,0	495,0	515,0	480,0	445,0	315,0
N-Bilanz in mg	-	368,1	320,7	419,3	294,0	136,0	249,5	351,7	555,9
Scheinbar verdauter N in mg	-	810,6	740,7	829,3	789,0	651,0	728,5	796,7	869,9
Darmverlust-N in mg	-	69,2	70,9	63,7	75,2	75,9	52,1	62,7	59,7
N-Erhaltungsbedarf in mg	-	230,5	233,8	219,2	242,4	243,8	193,8	217,0	210,6
"Wahr" verdauter N in mg	-	879,8	811,6	893,0	864,2	726,9	780,6	859,4	929,6
N-Bilanz + N-Erhaltungsbedarf in mg	-	598,6	554,5	638,5	536,4	379,8	443,3	568,7	766,5
Reinprotein-N im Futter mg	-	921,9	799,9	925,4	793,6	1026,4	792,7	1026,6	927,1
"Wahr" verdauter Reinprotein-N mg	-	571,5	435,8	583,5	491,4	581,5	408,2	713,9	619,6
Proteinäquivalent-N mg	-	725,7	623,7	738,3	677,8	654,2	594,4	786,7	774,6
Scheinbare Verdaulichkeit %	-	65,9	63,0	67,2	67,6	55,6	62,5	68,0	70,3
Wahre Verdaulichkeit %	-	71,5	69,0	72,3	74,1	62,0	67,0	73,3	75,1
Bilanzwert des gesamten Futter-N %	-	29,9	27,3	34,0	25,2	-	21,4	30,0	44,9
Bilanzwert des "wahr" verdauten Futter-N %	-	41,8	39,5	47,0	34,0	-	32,0	40,9	59,8
Stickstoffnettowert %	-	48,7	47,2	51,7	46,0	-	38,0	48,5	62,0
Biologische Wertigkeit des Rohproteins %	-	68,0	68,3	71,5	62,1	-	56,8	66,2	82,5
Bilanzwert des "wahr" verdauten Reinprotein-N %	-	64,4	73,6	71,9	59,8	-	61,1	49,3	89,7
Biologische Wertigkeit des Reinproteins %	-	104,7	127,2	109,4	109,2	-	108,6	79,7	123,7
Bilanzwert des Proteinäquivalent-N %	-	50,7	51,4	56,8	43,3	-	42,0	44,7	71,8
Biologische Wertigkeit des Proteinäquivalents %	-	82,5	88,9	86,5	79,1	-	74,6	72,3	99,0

3. Versuchsperiode

Tier Nr.	1 a	2	3	4	5	6 a	7	8	9
Futterart	TG	Z	AIV	AIV	TG	Z	Z	AIV	TG
Körpergewicht in g	1947	1798	1868	1831	1906	1911	1588	1767	1767
Futterstickstoff in mg	1288,6	1316,5	1302,9	1304,1	1305,5	1257,5	1323,0	1296,0	1311,4
Kotstickstoff in mg	538,8	594,3	467,2	467,2	461,2	389,7	506,9	389,7	475,4
Harnstickstoff in mg	627,5	477,5	420,0	370,0	387,5	500,0	427,5	415,0	400,0
N-Bilanz in mg	122,3	244,7	415,7	466,9	456,8	367,8	388,6	491,3	436,0
Scheinbar verdauter N in mg	749,8	722,2	835,7	836,9	844,3	867,8	816,1	906,3	836,0
Darmverlust-N in mg	87,3	76,0	81,2	78,4	84,2	84,5	61,2	73,7	73,7
N-Erhaltungsbedarf in mg	265,4	244,0	254,0	248,7	259,5	260,2	213,9	239,5	239,5
"Wahr" verdauter N in mg	837,1	798,2	916,9	915,3	928,5	952,3	877,3	980,0	909,7
N-Bilanz + N-Erhaltungsbedarf in mg	387,7	488,7	669,7	715,6	716,3	628,0	602,5	730,8	675,5
Reinprotein-N im Futter mg	1128,7	895,7	976,4	977,3	1143,5	855,6	900,2	971,2	1148,7
"Wahr" verdauter Reinprotein-N mg	677,2	377,4	590,4	588,5	766,5	550,4	454,5	655,2	747,4
Proteinäquivalent-N mg	757,2	587,8	753,7	751,9	847,5	751,4	665,9	817,6	828,4
Scheinbare Verdaulichkeit %	58,2	54,9	64,1	64,2	64,7	69,0	61,7	69,9	63,7
Wahre Verdaulichkeit %	65,0	60,6	70,4	70,2	71,1	75,7	66,3	75,6	69,4
Bilanzwert des gesamten Futter-N %	-	18,6	31,9	35,8	35,0	29,2	29,4	37,9	33,2
Bilanzwert des "wahr" verdauten Futter-N %	-	30,7	45,3	51,0	49,2	38,6	44,3	50,1	47,9
Stickstoffnettowert %	-	37,1	51,4	54,9	54,9	49,9	45,5	56,4	51,5
Biologische Wertigkeit des Rohproteins %	-	61,2	73,0	78,2	77,1	65,9	68,7	74,6	74,3
Bilanzwert des "wahr" verdauten Reinprotein-N %	-	64,8	70,4	79,3	59,6	66,8	85,5	75,0	58,4
Biologische Wertigkeit des Reinproteins %	-	129,5	113,4	121,6	93,5	114,1	132,6	111,5	90,4
Bilanzwert des Proteinäquivalent-N %	-	41,6	55,2	62,1	53,9	48,9	58,4	60,1	52,6
Biologische Wertigkeit des Proteinäquivalents %	-	83,1	88,9	95,2	84,5	83,6	90,5	89,4	81,5

4. Versuchsperiode

Tier Nr.	1 a	2	3	4	5	6 a	7	8	9
Futterart	TG	TG	TG	AIV	AIV	AIV	Z	Z	Z
Körpergewicht in g	2014	1961	1995	1992	2085	2000	1717	2011	1609
Futterstickstoff in mg	1346,4	1345,7	1346,4	1309,8	1303,7	1308,5	1339,5	1318,6	1325,7
Kotstickstoff in mg	536,1	486,7	508,3	485,4	388,4	607,4	476,0	486,5	519,7
Harnstickstoff in mg	480,0	415,0	457,5	450,5	407,5	407,5	437,5	337,5	685,0
N-Bilanz in mg	330,3	444,0	380,6	374,4	327,8	293,6	426,0	494,6	121,0
Scheinbar verdauter N in mg	810,3	859,0	838,1	824,4	915,3	915,3	701,1	832,1	806,0
Darmverlust-N in mg	92,6	88,4	91,1	90,8	98,3	91,5	70,2	92,3	62,7
N-Erhaltungsbedarf in mg	275,1	267,4	272,4	271,9	285,4	273,1	232,3	274,7	216,9
"Wahr" verdauter N in mg	902,9	947,4	929,2	915,2	1013,6	792,6	933,7	924,4	868,7
N-Bilanz + N-Erhaltungsbedarf in mg	605,4	711,4	653,0	646,3	613,2	566,7	658,3	769,3	337,9
Reinprotein-N im Futter mg	1179,3	1178,7	1179,3	981,6	977,0	980,6	911,4	897,2	902,0
"Wahr" verdauter Reinprotein-N in mg	735,8	780,4	762,1	587,0	686,9	464,7	505,6	503,0	445,0
Proteinäquivalent-N	819,4	863,9	845,7	751,1	850,3	628,7	719,7	713,7	656,9
Scheinbare Verdaulichkeit %	60,2	63,8	62,2	62,9	70,2	53,6	64,5	63,1	60,8
Wahre Verdaulichkeit %	67,1	70,4	69,0	69,9	77,7	60,6	69,7	70,1	65,5
Bilanzwert des gesamten Futter-N %	24,5	33,0	28,3	28,6	25,1	22,4	31,8	37,5	-
Bilanzwert des "wahr" verdauten Futter-N %	36,6	46,9	41,0	40,9	32,3	37,0	45,6	53,5	-
Stickstoffnettowert %	45,0	52,9	48,5	49,3	47,0	43,3	49,1	58,3	-
Biologische Wertigkeit des Rohproteins %	67,1	75,1	70,3	70,6	60,5	71,5	70,5	83,2	-
Bilanzwert des "wahr" verdauten Reinprotein-N %	44,9	56,9	49,9	63,8	47,7	63,2	84,3	98,3	-
Biologische Wertigkeit des Reinproteins %	82,3	91,2	85,7	110,1	89,3	121,9	130,2	152,9	-
Bilanzwert des Proteinäquivalent-N %	40,3	51,4	45,0	49,8	38,6	46,7	59,2	69,3	-
Biologische Wertigkeit des Proteinäquivalents	73,9	82,3	77,2	86,0	72,1	90,1	91,5	107,8	-

5. Versuchsperiode

Tier Nr.	1 a	2	3	4	5	6 a	7	8	9
Futterart	TG	AIV	Z	AIV	Z	TG	Z	TG	AIV
Körpergewicht in g	2156	2051	2113	2100	2163	2089	1872	2183	1776
Futterstickstoff in mg	1363,4	1329,5	1343,3	1329,5	1343,3	1363,4	1329,0	1363,4	1329,5
Kotstickstoff in mg	504,4	480,7	527,9	494,2	493,5	549,2	512,1	476,8	570,8
Harnstickstoff in mg	415,0	537,5	442,5	530,0	680,0	447,5	427,5	315,0	485,0
N-Bilanz in mg	444,0	311,3	372,9	305,3	169,8	366,7	389,4	571,6	273,7
Scheinbar verdauter N in mg	859,0	848,8	815,4	835,3	849,8	814,2	816,9	886,6	758,7
Darmverlust-N in mg	104,2	95,6	100,7	99,6	104,8	98,7	81,5	106,5	74,4
N-Erhaltungsbedarf in mg	295,7	280,5	289,4	287,6	296,7	286,0	254,6	299,6	240,8
"Wahr" verdauter N in mg	963,2	944,4	916,1	934,9	954,6	912,9	898,4	993,1	833,1
N-Bilanz + N-Erhaltungsbedarf in mg	739,7	591,8	662,3	592,9	466,5	652,7	644,0	871,2	514,5
Reinprotein-N im Futter mg	1194,2	996,3	914,0	996,3	914,0	1194,2	904,3	1194,2	996,3
"Wahr" verdauter Reinprotein-N in mg	794,0	611,2	486,8	601,7	525,3	743,7	473,7	823,9	499,9
Proteinäquivalent-N	878,6	777,8	701,5	768,3	739,9	828,3	686,1	908,5	666,5
Scheinbare Verdaulichkeit %	63,0	63,8	60,7	62,8	63,3	59,7	61,5	65,0	57,1
Wahre Verdaulichkeit %	70,6	71,0	68,2	70,3	71,1	67,0	67,6	72,8	62,7
Bilanzwert des gesamten Futter-N %	32,6	23,4	27,8	23,0	-	26,9	29,3	41,9	20,6
Bilanzwert des "wahr" verdauten Futter-N %	46,1	33,0	40,7	32,7	-	40,2	43,3	57,6	32,9
Stickstoffnettowert %	54,3	44,5	49,3	44,6	-	47,9	48,5	63,9	38,7
Biologische Wertigkeit des Rohproteins %	76,8	62,7	72,3	63,4	-	71,5	71,7	87,7	61,8
Bilanzwert des "wahr" verdauten Reinprotein-N %	55,9	50,9	76,6	50,7	-	49,3	82,2	69,4	54,8
Biologische Wertigkeit des Reinproteins %	93,2	96,8	136,1	98,5	-	87,8	136,0	105,7	102,9
Bilanzwert des Proteinäquivalent-N %	50,5	40,0	53,2	39,7	-	44,3	56,8	62,9	41,1
Biologische Wertigkeit des Proteinäquivalents	84,2	76,1	94,4	77,2	-	78,8	93,9	95,9	77,2

6. Versuchsperiode

Tier Nr.	1 a	2	3	4	5	6 a	7	8	9
Futterart	TG	Z	AIV	AIV	TG	Z	Z	AIV	TG
Körpergewicht in g	2182	2157	2241	2169	2290	2194	1969	2403	1978
Futterstickstoff in mg	1321,0	1340,5	1349,8	1349,8	1321,0	1297,5	1118,0	1349,8	1321,0
Kotstickstoff in mg	485,3	570,1	511,5	557,4	532,5	562,0	338,8	515,4	458,7
Harnstickstoff in mg	585,0	467,5	420,0	422,5	417,5	560,0	407,5	240,0	435,0
N-Bilanz in mg	250,7	302,9	418,3	369,9	371,0	175,5	371,7	594,4	427,3
Scheinbar verdauter Stickstoff in mg	835,7	770,4	838,3	792,4	788,5	735,5	779,2	834,4	862,3
Darmverlust-N in mg	106,4	104,3	111,5	105,3	115,8	107,4	89,0	125,9	89,7
N-Erhaltungsbedarf in mg	299,5	295,8	308,0	297,6	315,2	301,2	268,6	331,7	269,9
"Wahr" verdauter N in mg	942,1	874,7	949,8	897,7	904,3	842,9	868,2	960,3	952,0
N-Bilanz + N-Erhaltungsbedarf in mg	550,2	598,7	726,3	667,5	686,2	476,7	640,3	926,1	697,2
Reinprotein-N im Futter mg	1157,1	912,1	1011,5	1011,5	1157,1	882,8	760,7	1011,5	1157,1
"Wahr" verdauter Reinprotein-N in mg	778,2	446,3	611,5	559,4	740,4	428,2	510,9	622,0	788,1
Proteinäquivalent-N	860,2	660,5	780,7	728,6	822,4	635,6	689,6	791,2	870,1
Scheinbare Verdaulichkeit %	63,3	57,5	62,1	58,7	59,7	56,7	69,7	61,8	65,3
Wahre Verdaulichkeit %	71,3	65,3	70,4	66,5	68,5	65,0	77,7	71,1	72,1
Bilanzwert des gesamten Futter-N %	19,0	22,6	31,0	27,4	28,1	13,5	33,2	44,0	32,3
Bilanzwert des "wahr" verdauten Futter-N %	26,6	34,6	44,0	41,2	41,0	20,8	42,8	61,9	44,9
Stickstoffnettowert %	41,7	44,7	53,8	49,5	51,9	36,7	57,3	68,6	52,8
Biologische Wertigkeit des Rohproteins %	58,4	68,4	76,5	74,4	75,9	56,6	73,8	96,4	73,2
Bilanzwert des "wahr" verdauten Reinprotein-N %	32,2	67,9	68,4	66,1	50,1	41,0	72,8	95,6	54,2
Biologische Wertigkeit des Reinproteins %	70,7	134,1	118,8	119,3	92,7	111,3	125,3	148,9	88,5
Bilanzwert des Proteinäquivalent-N %	29,1	45,9	53,6	50,8	45,1	27,6	53,9	75,1	49,1
Biologische Wertigkeit des Proteinäquivalents	64,0	90,6	93,0	91,6	83,4	75,0	92,9	117,1	80,1

ANHANG II

Die theoretischen Grundlagen zur statistischen Auswertung der Ergebnisse des N-Bilanzversuches

1. Charakterisierung des Unterlagenmaterials

a. Das statistische Modell

Es wird angenommen, die Einzelwerte seien wie folgt zusammengesetzt:

$$x_{ijkl} = M + a_i + b_j + c_k + (ab)_{ij} + (ac)_{ik} + (bc)_{jk} + (abc)_{ijk} + d_{ijkl}$$

- d_{ijkl}: Wirkung aller nicht klassifizierten, zufällig wirkenden Faktoren
- $(abc)_{ijk}$: Wechselwirkung zwischen den drei Faktoren
- $(bc)_{jk}$: Wechselwirkung zwischen zweitem und drittem Faktor
- $(ac)_{ik}$: Wechselwirkung zwischen erstem und drittem Faktor
- $(ab)_{ij}$: Wechselwirkung zwischen erstem und zweitem Faktor
- c_k: Wirkung der Tiergruppe (dritter Faktor)
- b_j: Wirkung der Versuchsperiode (zweiter Faktor)
- a_i: Wirkung der Diät (erster Faktor)
- M: Konstante

$i = 1, \ldots, a \; (a = 3)$ $\qquad$ $k = 1, \ldots, c \; (c = 3)$

$j = 1, \ldots, b \; (b = 6)$ $\qquad$ $l = 1, \ldots \; [(abc) + d]_{ijk}$

b. Struktur der Versuchsergebnisse

α. Tabelle der Einzelergebnisse

				Versuchsperiode					
				j = 1	j = 2	j = 3	j = 4	j = 5	j = 6
Futterart	TG i = 1	Tiergruppe	k = 1	x_{111}	x_{121} 1)	x_{131} 2)	x_{141}	x_{151}	x_{161}
			k = 2	x_{112}	x_{122}	x_{132}	x_{142}	x_{152}	x_{162}
			k = 3	x_{113}	x_{123} 2)	x_{133}	x_{143}	x_{153}	x_{163}
	AIV i = 2	Tiergruppe	k = 1	x_{211}	x_{221}	x_{231}	x_{241}	x_{251}	x_{261}
			k = 2	x_{212}	x_{222}	x_{232}	x_{242}	x_{252} 2)	x_{262}
			k = 3	x_{213}	x_{223}	x_{233}	x_{243} 2)	x_{253}	x_{263}
	Z i = 3	Tiergruppe	k = 1	x_{311}	x_{321}	x_{331}	x_{341}	x_{351}	x_{361}
			k = 2	x_{312}	x_{322}	x_{332}	x_{342}	x_{352}	x_{362}
			k = 3	x_{313}	x_{323}	x_{333}	x_{343}	x_{353}	x_{363}

1) Fehlt bei allen Grössen.

2) Fehlt bei allen Grössen, ausgenommen bei der scheinbaren und bei der wahren Verdaulichkeit.

β. Summentabellen

Tabelle 1

	Versuchsperiode						Total
	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4	j = 5	j = 6	
Trockengras i = 1	$T_{11.}$	$T_{12.}$	$T_{13.}$	$T_{14.}$	$T_{15.}$	$T_{16.}$	$T_{1..}$
AIV-Silage i = 2	$T_{21.}$	$T_{22.}$	$T_{23.}$	$T_{24.}$	$T_{25.}$	T_{26}	$T_{2..}$
Zuckersilage i = 3	$T_{31.}$	$T_{32.}$	$T_{33.}$	$T_{34.}$	$T_{35.}$	T_{36}	$T_{3..}$
Total	$T_{.1.}$	$T_{.2.}$	$T_{.3.}$	$T_{.4.}$	$T_{.5.}$	$T_{.6.}$	$T_{...}$

Tabelle 2

	Tiergruppe k = 1	k = 2	k = 3	Total
Trockengras i = 1	$T_{1.1}$	$T_{1.2}$	$T_{1.3}$	$T_{1..}$
AIV-Silage i = 2	$T_{2.1}$	$T_{2.2}$	$T_{2.3}$	$T_{2..}$
Zuckersilage i = 3	$T_{3.1}$	$T_{3.2}$	$T_{3.3}$	$T_{3..}$
Total	$T_{..1}$	$T_{..2}$	$T_{..3}$	$T_{...}$

Tabelle 3

	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4	j = 5	j = 6	Total
Tiergruppe 1 k = 1	$T_{.11}$	$T_{.21}$	$T_{.31}$	$T_{.41}$	$T_{.51}$	$T_{.61}$	$T_{..1}$
Tiergruppe 2 k = 2	$T_{.12}$	$T_{.22}$	$T_{.32}$	$T_{.42}$	$T_{.52}$	$T_{.62}$	$T_{..2}$
Tiergruppe 3 k = 3	$T_{.13}$	$T_{.23}$	$T_{.33}$	$T_{.43}$	$T_{.53}$	$T_{.63}$	$T_{..3}$
Total	$T_{.1.}$	$T_{.2.}$	$T_{.3.}$	$T_{.4.}$	$T_{.5.}$	$T_{.6.}$	$T_{...}$

2. Voraussetzungen hinsichtlich der Faktorenpopulationen und die Erwartungswerte der in den Varianzanalysen auftretenden Durchschnittsquadrate

a. Der Faktor Diät

Der Versuch wurde angelegt, um zwei nach verschiedenen Verfahren bereitete Silagen hinsichtlich der Verwertung ihrer stickstoffhaltigen Substanz zu prüfen und die erhaltenen Verwertungsgrössen miteinander und mit denjenigen des entsprechenden Ausgangsmaterials (Trockengras) zu vergleichen. Die interessierende Diätstufenpopulation besteht somit aus den drei geprüften Futterarten.

b. Der Versuchsperiodenfaktor

Die für die einzelnen Versuchsperioden spezifischen Wirkungen beruhen einerseits auf Variationen in der Zusammensetzung der Diät zwischen den Versuchsperio-

den, möglicherweise auch auf unterschiedlichen klimatischen Bedingungen (in Frage kommen besonders Luftdruck und Luftfeuchtigkeit, die beträchtliche Schwankungen zeigten, während die Stalltemperatur annähernd konstant blieb), anderseits auf der durch das zunehmende Gewicht der Tiere bedingten Erhöhung des Proteinerhaltungsbedarfes. Wir nehmen an, dass die 6 dem Versuchsplan entsprechenden Versuchsperioden (S. 25/26) eine zufällige Stichprobe aus sehr vielen möglichen Versuchsperioden mit ähnlichen Bedingungen darstellen. Diese Annahme ist vermutlich soweit richtig, als die Versuchsperiodenwirkungen auf Klimaschwankungen und Variationen in der Zusammensetzung der Diäten beruhten; sie dürfte aber nicht ganz für den Teil der Periodenwirkung zutreffen, der auf das zunehmende Gewicht der Tiere zurückzuführen ist, da die Versuchsperioden nicht zufällig auf verschiedene Wachstumsstadien verteilt waren, sondern sich über den gewählten Wachstumsabschnitt in regelmässiger Folge erstreckten. Dieser auf die Gewichtsveränderung zurückzuführende Teil der Versuchsperiodenwirkung dürfte hinsichtlich der Verdaulichkeit, dem Stickstoffnettowert und der biologischen Wertigkeit von untergeordneter Bedeutung gewesen sein, da mit Ausnahme bei der Ermittlung der scheinbaren Verdaulichkeit der Einfluss dieser Veränderung durch Berücksichtigung des endogenen Stickstoffhaushaltes (Einbezug des Stickstofferhaltungsbedarfes, bzw. des Darmverluststickstoffes in der Berechnung) weitgehend eliminiert wurde; bei der scheinbaren Verdaulichkeit dürfte der Einfluss der Gewichtsveränderung im Vergleich zu den andern Variationsursachen stark zurückgetreten sein. Dagegen ist anzunehmen, dass bei den Bilanzwerten das unterschiedliche Körpergewicht von bestimmendem Einfluss auf die Versuchsperiodenwirkung war. Der Fehler, den wir durch die erwähnte Annahme machen, wird sich dahingehend auswirken, dass wir allfälligen Unterschieden zwischen den Futterarten eine kleinere statistische Sicherheit zuschreiben, als ihnen tatsächlich zukommen würde.

c. Der Faktor Tiergruppe

Die drei Tiergruppen sind als zufällig ausgewählte Stichprobe aus sehr vielen möglichen Tiergruppen zu betrachten.

d. Die Erwartungswerte der Durchschnittsquadrate

Nach Benett und Franklin 1954 sowie Le Roy 1957 ergeben sich auf Grund des oben gesagten folgende Erwartungswerte für die Durchschnittsquadrate:

Streuungsursache	Freiheitsgrade	Erwartungswert des DQ
Zwischen Diäten (D)	2	$\sigma^2 + \sigma^2_{DPT} + 3\sigma^2_{DP} + 6\sigma^2_{DT} + 18\sigma^2_D$
Zwischen Versuchsperioden (P)	5	$\sigma^2 + 3\sigma^2_{PT} + 9\sigma^2_P$
Zwischen Tiergruppen (T)	2	$\sigma^2 + 3\sigma^2_{PT} + 18\sigma^2_T$
Wechselwirkung (D x P)	10	$\sigma^2 + \sigma^2_{DPT} + 3\sigma^2_{DP}$
Wechselwirkung (D x T)	4	$\sigma^2 + \sigma^2_{DPT} + 6\sigma^2_{DT}$
Wechselwirkung (P x T)	10	$\sigma^2 + 3\sigma^2_{PT}$
Wechselwirkung (D x P x T)	20*)	$\sigma^2 + \sigma^2_{DPT}$

3. Die richtigen Versuchsfehler

Nach Le Roy 1957 sind folgende Versuchsfehler zu berücksichtigen:

Zur Prüfung der Wechselwirkung (D x P x T):	keine korrekte Prüfung möglich
Zur Prüfung der Wechselwirkung (P x T):	keine korrekte Prüfung möglich
Zur Prüfung der Wechselwirkung (D x T):	DQ(D x P x T)
Zur Prüfung der Wechselwirkung (D x P):	DQ(D x P x T)
Zur Prüfung der Tiergruppenunterschiede:	DQ(P x T)
Zur Prüfung der Versuchsperiodenunterschiede:	DQ(P x T)
Zur Prüfung der Diätunterschiede:	DQ(D x P) + DQ(D x T) - DQ(D x P x T)

Es hat sich in keinem Fall eine signifikante Wechselwirkung (D x T) ergeben (die entsprechenden F-Werte lagen alle unter 1,5). Man ist daher berechtigt, $\sigma_{DT} = 0$ anzunehmen und als Versuchsfehler zur Prüfung der Diätunterschiede das DQ(D x P) zu verwenden.

4. Die Grundlagen zur Berechnung fehlender Werte

Wie auf Seite 29 und 30 angegeben wurde, sind einzelne Ergebnisse ausgefallen. An ihrer Stelle haben wir die Daten eingesetzt, für die das DQ(D x P x T) zum Minimum wird.

Das SQ(D x P x T) kann wie folgt berechnet werden:

---

*) abzüglich Anzahl geschätzter Werte.

$$SQ(D \times P \times T) = \underset{ijk}{S} x^2_{ijk} - \frac{1}{3} \underset{ij}{S} T^2_{ij.} - \frac{1}{6} \underset{ik}{S} T^2_{i.k} - \frac{1}{3} \underset{jk}{S} T^2_{.jk} + \frac{1}{18} \underset{i}{S} T^2_{i..}$$

$$+ \frac{1}{9} \underset{j}{S} T^2_{.j.} + \frac{1}{18} \underset{k}{S} T^2_{..k} - \frac{1}{54} \cdot T^2_{...}$$

wobei:
- x_{ijk} = allgemeiner Einzelwert
- $T_{ij.}$ = Summe aller Werte in der i-ten Diät und der j-ten Versuchsperiode
- $T_{i.k}$ = Summe aller Werte in der i-ten Diät und der k-ten Tiergruppe
- $T_{.jk}$ = Summe aller Werte in der j-ten Versuchsperiode und der k-ten Tiergruppe
- $T_{i..}$ = Summe aller Werte in der i-ten Diät
- $T_{.j.}$ = Summe aller Werte in der j-ten Versuchsperiode
- $T_{..k}$ = Summe aller Werte in der k-ten Tiergruppe
- $T_{...}$ = Summe aller Werte des ganzen Versuches

Wenn wir anstelle der fehlenden Angaben Buchstaben in die angeführte Formel einsetzen und deren partielle Ableitungen gleich Null setzen (Bedingung, dass das SQ(D x P x T) ein Minimum wird), erhalten wir soviele Gleichungen mit sovielen Unbekannten, als Angaben fehlen; wir können somit für jede fehlende Angabe eine entsprechende Zahl rechnerisch ermitteln.

Im Falle der scheinbaren und wahren Verdaulichkeit war je nur ein einziger Wert zu berechnen. Die Ableitung des Ausdruckes für SQ(D x P x T) ergibt dann:

$$\frac{d[SQ(D \times P \times T)]}{dx} = 20\,x - 18\,T'_{ij.} - 9\,T'_{i.k} - 18\,T'_{.jk} + 3\,T'_{i..} + 6\,T'_{.j.}$$

$$+ 3\,T'_{..k} - T'_{...}$$

und für x finden wir:

$$x = \frac{1}{20}(18\,T'_{ij.} + 9\,T'_{i.k} + 18\,T'_{.jk} - 3\,T'_{i..} - 6\,T'_{.j.} - 3\,T'_{..k} + T'$$

wobei die ' bei den Totalzeichen bedeuten, dass es sich um die unvollständigen Summen handelt; die fehlenden Werte sind somit in diesen Summen nicht enthalten.

Im Falle der Bilanzwerte, des Stickstoffnettowertes und der biologischen Wertigkeit fehlen jeweils 5 Angaben. Aus den Tabellen im Anhang IV, Seiten 83 bis 86, ist ersichtlich um welche Werte es sich dabei handelt. Die partiellen Ableitungen nach den 5 Unbekannten (a - e) sind:

$$\frac{\partial\,[SQ(D \times P \times T)]}{\partial a} = \frac{40}{54}\,a - \frac{2}{54}\,()_a - \frac{1}{54}\,(20\,b + 8\,c + 2\,d + 2\,e)$$

$$\frac{\partial\,[SQ(D \times P \times T)]}{\partial b} = \frac{40}{54}\,b - \frac{2}{54}\,()_b - \frac{1}{54}\,(20\,a - 4\,c - 4\,d + 2\,e)$$

$$\frac{\partial\,[SQ(D \times P \times T)]}{\partial c} = \frac{40}{54}\,c - \frac{-2}{54}\,()_c - \frac{1}{54}\,(8\,a - 4\,b + 2\,d + 2\,e)$$

$$\frac{\partial\,[SQ(D \times P \times T)]}{\partial d} = \frac{40}{54}\,d - \frac{2}{54}\,()_d - \frac{1}{54}\,(2\,a - 4\,b + 2\,c - 4\,e)$$

$$\frac{\partial\,[SQ(D \times P \times T)]}{\partial e} = \frac{40}{54}\,e - \frac{2}{54}\,()_e - \frac{1}{54}\,(2\,a + 2\,b + 2\,c - 4\,d)$$

Dabei stehen die Klammern $()_{a,b,c,d}$ bzw. $_e$ für folgende Ausdrücke:

$$()_{Index} = 18\,T'_{ij.} + 9\,T'_{i.k} + 18\,T'_{.jk} - 3\,T'_{i..} - 6\,T'_{.j.} - 3\,T'_{..k} + T'_{...}$$

Die T'-werte stellen diejenigen Totale dar, in welche die durch den Klammerindex bezeichnete Unbekannte gehört. Durch Nullsetzen der partiellen Ableitungen erhält man folgende 5 Gleichungen:

$$\begin{aligned}
20\,a - 10\,b - 4\,c - d - e &= ()_a \\
-10\,a + 20\,b + 2\,c + 2\,d - e &= ()_b \\
-4\,a + 2\,b + 20\,c - d - e &= ()_c \\
-a + 2\,b - c + 20\,d + 2\,e &= ()_d \\
-a - b - c + 2\,d + 20\,e &= ()_e
\end{aligned}$$

Für die einzelnen Unbekannten erhalten wir schliesslich:

$$\begin{aligned}
a &= 0{,}06939168\,()_a + 0{,}03389831\,()_b + 0{,}01077586\,()_c + 0{,}00004870\,()_d + 0{,}00569842\,()_e \\
b &= 0{,}03389831\,()_a + 0{,}06779661\,()_b + 0{,}00000000\,()_c - 0{,}00564972\,()_d + 0{,}00564972\,()_e \\
c &= 0{,}01077586\,()_a + 0{,}00000000\,()_b + 0{,}05244260\,()_c + 0{,}00287356\,()_d + 0{,}00287356\,()_e \\
d &= 0{,}00004870\,()_a - 0{,}00564972\,()_b + 0{,}00287356\,()_c + 0{,}05123710\,()_d - 0{,}00526008\,()_e \\
e &= 0{,}00569842\,()_a + 0{,}00564972\,()_b + 0{,}00287356\,()_c - 0{,}00526008\,()_d + 0{,}05123710\,()_e
\end{aligned}$$

ANHANG III

Beispiel zur Durchführung der statistischen Analysen

"Biologische Wertigkeit des Reinproteins"

1. Experimentell ermittelte Daten für die "Biologische Wertigkeit des Reinproteins"

(Grundlagen für die statistische Auswertung)

Diät	Tier-gruppe	Versuchsperiode 1	2	3	4	5	6	Total
Trocken-gras	I	88,6	a	c	82,3	93,2	70,7	334,8+a+c
	II	104,8	79,7	93,5	91,2	105,7	92,7	567,6
	III	104,1	b	90,4	85,7	87,8	88,5	456,5+b
	Total	297,5	79,7+a+b	183,9+c	259,2	286,7	251,9	1358,9+a+b+c
AIV-Silage	I	122,3	109,4	121,6	110,1	98,5	119,3	681,2
	II	118,9	104,7	111,5	89,3	96,8	148,9	670,1
	III	105,8	123,7	113,4	121,9	102,9	118,8	686,5
	Total	347,0	337,8	346,5	321,3	298,2	387,0	2037,8
Zucker-silage	I	160,8	108,6	132,6	130,2	136,0	125,3	793,5
	II	134,1	109,2	129,5	152,9	e	134,1	659,8+e
	III	148,3	127,2	114,1	d	136,1	111,3	647,0+d
	Total	453,2	345,0	376,2	283,1+d	272,1+e	370,7	2100,3+d+e
Alle drei Diäten zu-sammen	I	371,7	218,0+a	254,2+c	322,6	327,7	315,3	1809,5+a+c
	II	357,8	293,6	334,5	333,4	202,5+e	375,7	1897,5+e
	III	368,2	250,9+b	317,9	207,6+d	326,8	318,6	1790,0+b+d
	Total	1097,7	762,5+a+b	906,6+c	863,6+d	857,0+e	1009,6	5497,0+a+b+c+d+e

a, b, d, d und e sind ausgefallene Einzelwerte; sie sind statistisch zu errechnen.

2. Die Berechnung der Ersatzzahlen für fehlende Angaben

Die entsprechenden Werte aus der Tabelle auf Seite 72 in die Formel von Seite 70 eingesetzt, ergeben sich die Klammerausdrücke wie folgt:

$$(\ )_a = 18 \times 79,7 + 9 \times 334,8 + 18 \times 218,0 - 3 \times 1358,9 - 6 \times 762,5 - 3 \times 1809,5 + 5497,0 = \underline{\underline{-\ 211,4}}$$

$$(\ )_b = 18 \times 79,7 + 9 \times 456,5 + 18 \times 250,9 - 3 \times 1358,9 - 6 \times 762,5 - 3 \times 1790,0 + 5497,0 = \underline{\underline{1534,6}}$$

$$(\ )_c = 18 \times 183,9 + 9 \times 334,8 + 18 \times 254,2 - 3 \times 1358,9 - 6 \times 906,6 - 3 \times 1809,5 + 5497,0 = \underline{\underline{1451,2}}$$

$$(\ )_d = 18 \times 283,1 + 9 \times 647,0 + 18 \times 207,6 - 3 \times 2100,3 - 6 \times 863,6 - 3 \times 1790,0 + 5497,0 = \underline{\underline{3300,1}}$$

$$(\ )_e = 18 \times 272,1 + 9 \times 659,8 + 18 \times 202,5 - 3 \times 2100,3 - 6 \times 857,0 - 3 \times 1897,5 + 5497,0 = \underline{\underline{2842,6}}$$

Mit Hilfe der Formeln auf Seite 70 erhält man für die einzelnen Unbekannten:

$$\underline{a = 69,4; \quad b = 94,3; \quad c = 91,5; \quad d = 149,6; \quad e = 139,9}$$

3. Berechnung der Summen der Quadrate (SQ)

$$SQ(D) = \frac{\sum_i T^2_{i..}}{18} - \frac{T^2_{...}}{54} = \frac{1614,1^2 + \ldots\ldots + 2389,8^2}{18} - \frac{6041,7^2}{54} = \underline{16'761,7811}$$

$$SQ(P) = \frac{\sum_j T^2_{.j.}}{9} - \frac{T^2_{...}}{54} = \frac{1097,7^2 + \ldots\ldots + 1009,6^2}{9} - \frac{6041,7^2}{54} = \underline{1'664,6150}$$

$$SQ\ (T) = \frac{\sum_k T^2_{..k}}{18} - \frac{T^2}{54} = \frac{1970,4^2 + 2037,4^2 + 2033,9^2}{18} - \frac{6041,7^2}{54} = \underline{158,0277}$$

$$SQ\,(DxP) = \frac{S_{ij}T^2_{ij.}}{3} - \frac{S_i\,T^2_{i..}}{18} - \frac{S_j\,T^2_{.j.}}{9} + \frac{T^2_{...}}{54} = \frac{297,5^2 + \ldots\ldots + 370,7^2}{3}$$

$$- \frac{1614,1^2 + \ldots + 2389,8^2}{18} - \frac{1097,7^2 + \ldots + 1009,6^2}{9}$$

$$+ \frac{6041,7^2}{54} = \underline{3'364,5989}$$

$$SQ\,(DxT) = \frac{S_{ik}T^2_{i.k}}{6} - \frac{S_i\,T^2_{i..}}{18} - \frac{S_k\,T^2_{..k}}{18} + \frac{T^2_{...}}{54} = \frac{495,7^2 + \ldots + 796,6^2}{6}$$

$$- \frac{1614,1^2 + \ldots + 2389,8^2}{18} - \frac{1970,4^2 + \ldots + 2033,9^2}{18}$$

$$+ \frac{6041,7^2}{54} = \underline{340,0712}$$

$$SQ\,(PxT) = \frac{S_{jk}T^2_{.jk}}{3} - \frac{S_j\,T^2_{.j.}}{9} - \frac{S_k\,T^2_{..k}}{18} + \frac{T^2_{...}}{54} = \frac{371,7^2 + \ldots + 318,6^2}{3}$$

$$- \frac{1097,7^2 + \ldots + 1009,6^2}{9} - \frac{1970,4^2 + \ldots + 2033,9^2}{18}$$

$$+ \frac{6041,7^2}{54} = \underline{1'707,4456}$$

$$SQ(DxPxT) = S_{ijk}x^2_{ijk} - \frac{S_{ij}T^2_{ij.}}{3} - \frac{S_{ik}\,T^2_{i.k}}{6} - \frac{S_{jk}\,T^2_{.jk}}{3} + \frac{S_i\,T^2_{i..}}{18} + \frac{S_j T^2_{.j.}}{9} + \frac{S_k\,T^2_{..k}}{18}$$

$$- \frac{T^2_{...}}{54} = 88,6^2 + \ldots + 111,3^2 - \frac{297,5^2 + \ldots + 370,7^2}{3}$$

$$- \frac{495,7^2 + \ldots + 796,6^2}{6} - \frac{371,7^2 + \ldots + 318,6^2}{3}$$

$$+ \frac{1614,1^2 + \ldots + 2389,8^2}{18} + \frac{1097,7^2 + \ldots + 1009,6^2}{9}$$

$$+ \frac{1970,4^2 + \ldots + 2033,9^2}{18} - \frac{6041,7^2}{54} = \underline{1'755,9755}$$

$$SQ(Total) = S_{ijk}x_{ijk}^2 - \frac{T_{...}^2}{54} = 88,6^2 + \ldots + 111,3^2 - \frac{6041,7^2}{54} = \underline{25'752,5150}$$

4. Varianzanalyse und F-Tests

Streuungsursache	FG[5]	SQ[1]	DQ[2]	F	P[3]
Zwischen Diäten (D)	2	16'761,7811	8'380,8906 [4]	24,9	~ 0,0001
Zwischen Versuchsperioden (P)	5	1'664,6150	332,9230	1,95	~ 0,17
Zwischen Tiergruppen (T)	2	158,0277	79,0139	0,46	> 0,25
Wechselwirkungen:					
(D x P)	10	3'364,5989	336,4599	2,87	~ 0,03
(D x T)	4	340,0712	85,0178	0,73	> 0,25
(P x T)	10	1'707,4456	170,7446		
(D x P x T)	15	1'755,9755	117,0650		
Total	48	25'752,5150			

1) SQ = Summe der quadratischen Abweichungen.

2) DQ = Durchschnittsquadrate = SQ/FG.

3) P = Wahrscheinlichkeit, dass das Verhältnis zweier DQ, die beide Schätzungen ein und derselben Streuung darstellen, grösser als der gefundene F-Wert wird; P gibt somit das Risiko an, mit welchem die Annahme realer Faktoren- oder Wechselwirkungen einen Fehlschluss darstellt. P wurde mit Hilfe einer Graphik der unvollständigen Beta-Funktion (Pearson und Hartley 1954) ermittelt.

4) Die Linien verbinden die durch den F-Test geprüften DQ mit dem entsprechenden Fehler-DQ.

5) FG = Freiheitsgrade.

Interpretation: Den Unterschieden zwischen den Diäten muss wesentliche Natur zugeschrieben werden (sie sind statistisch sehr gut gesichert, da $P<0,001$), dagegen sind die Unterschiede zwischen den Versuchsperioden und den Tiergruppen statistisch nicht signifikant.

Die Wechselwirkung (D x P) ist signifikant ($P < 0,05$).

5. Vergleich der Mittelwerte für die Diäten

	Mittelwert
Trockengras (TG)	89,67
AIV-Silage (AIV)	113,21
Zuckersilage (Z)	132,77

Vergleich	Berechnung von t	P	Interpretation
TG - AIV:	$t = \frac{113,21 - 89,67}{\sqrt{2.336,45989/18}} = 3,850$	$\sim 0,0016$	gut gesichert
TG - Z :	$t = \frac{132,77 - 89,67}{\sqrt{2.336,45989/18}} = 7,049$	$\sim 0,00004$	sehr gut gesichert
AIV - Z :	$t = \frac{132,77 - 113,21}{\sqrt{2.336,45989/18}} = 3,199$	$\sim 0,0095$	gut gesichert

6. Aufteilung der Streuung "zwischen Diäten" in eine lineare und eine quadratische Regressionskomponente bezüglich den Anteil des Reinproteins am Rohprotein

Im Falle der biologischen Wertigkeit des Reinproteins und des Proteinäquivalentes war es von Interesse zu prüfen, wie weitgehend die Unterschiede zwischen den Diäten durch eine lineare Regression auf den Anteil des Reinproteins am Rohprotein erklärt werden können. Da die Unterschiede in diesem Anteil zwischen Trockengras und AIV-Silage einerseits und zwischen AIV-Silage und Zuckersilage anderseits ungleich gross waren, haben wir orthogonale Koeffizienten für ungleiche Abstände zwischen den Faktorenstufen berechnet. Die Berechnung wurde nach dem von Grandage 1958 mitgeteilten Schema durchgeführt. Die Anteile des Reinproteins am Rohprotein und die entsprechenden orthogonalen Koeffizienten sind:

	Reinprotein in % des Rohproteins	Orthogonale Koeffizienten k_i
Trockengras	87,6	107
AIV-Silage	75,1	- 18
Zuckersilage	68,0	- 89

Die gesuchte Aufteilung ergibt sich sodann wie folgt:

$$SQ(\text{Lineare Regression}) = (\underset{i}{S}\, k_k T_{i..})^2/n.\underset{i}{S}\, k_i^2 \; ; \; (n = 18)$$

$$= \frac{[(107)\,(1614,1) - (18)\,(2037,8) - (89)\,(2389,8)]^2}{18[(107)^2 + (-18)^2 + (-89)^2]}$$

$$= \underline{16'579,6508}$$

$$SQ(\text{Quadratische Regression}) = SQ(\text{Diäten}) - SQ(\text{Lineare Regression})$$

$$= 16'761,7811 - 16'579,6508$$

$$= \underline{182,1303}$$

Leer - Vide - Empty

ANHANG IV

Zusammenstellung der Einzelergebnisse und der Mittelwerte

1. Scheinbare Verdaulichkeit

Diät	Tier-gruppe	Versuchsperiode 1	2	3	4	5	6	Mittel
Trockengras	I	66,9	58,7*)	58,2	60,2	63,0	63,3	61,72
	II	66,3	68,0	64,7	63,8	65,0	59,7	64,58
	III	64,0	55,6	63,7	62,2	59,7	65,3	61,75
	Mittel	65,73	60,77	62,20	62,07	62,57	62,77	62,68
AIV-Silage	I	63,7	67,2	64,2	62,9	62,8	58,7	63,25
	II	69,0	65,9	69,9	70,2	63,8	61,8	66,77
	III	62,6	70,3	64,1	53,6	57,1	62,1	61,63
	Mittel	65,10	67,80	66,07	62,23	61,23	60,87	63,88
Zuckersilage	I	58,5	62,5	61,7	64,5	61,5	69,7	63,07
	II	68,4	67,6	54,9	63,1	63,3	57,5	62,47
	III	65,7	63,0	69,0	60,8	60,7	56,7	62,65
	Mittel	64,20	64,37	61,87	62,80	61,83	61,30	62,73
Mittel	I	63,03	62,80	61,37	62,53	62,43	63,90	62,68
	II	67,90	67,17	63,17	65,70	64,03	58,67	64,61
	III	64,10	62,97	65,60	58,87	59,17	61,37	62,01
	Mittel	65,01	64,31	63,37	62,37	61,78	61,64	63,10

2. Wahre Verdaulichkeit

Diät	Tier-gruppe	Versuchsperiode 1	2	3	4	5	6	Mittel
Trockengras	I	72,1	64,3*)	65,0	67,1	70,6	71,3	68,40
	II	71,7	73,3	71,1	70,4	72,8	68,5	71,30
	III	69,6	62,0	69,4	69,0	67,0	72,1	68,18
	Mittel	71,13	66,53	68,50	68,83	70,13	70,63	69,29
AIV-Silage	I	68,2	72,3	70,2	69,9	70,3	66,5	69,57
	II	74,6	71,5	75,6	77,7	71,0	71,1	73,58
	III	65,7	75,1	70,4	60,6	62,7	70,4	67,48
	Mittel	69,50	72,97	72,07	69,40	68,00	69,33	70,21
Zuckersilage	I	62,3	67,0	66,3	69,7	67,6	77,7	68,43
	II	73,4	74,1	60,6	70,1	71,1	65,3	69,10
	III	69,9	69,0	75,7	65,5	68,2	65,0	68,88
	Mittel	68,53	70,03	67,53	68,43	68,97	69,33	68,81
Mittel	I	67,53	67,87	67,17	68,90	69,50	71,87	68,80
	II	73,23	72,97	69,10	72,73	71,63	68,30	71,33
	III	68,40	68,70	71,83	65,03	65,97	69,17	68,18
	Mittel	69,72	69,84	69,37	68,89	69,03	69,77	69,44

*) Berechnete Werte

3. Bilanzwert des gesamten Futterstickstoffs

Diät	Tier-gruppe	Versuchsperiode 1	2	3	4	5	6	Mittel
Trockengras	I	34,5	22,9*)	30,3*)	24,5	32,6	19,0	27,30
	II	43,3	30,0	35,0	33,0	41,9	28.1	35,22
	III	40,3	38,0*)	33,2	28,3	26,9	32,3	33,17
	Mittel	39,37	30,30	32,83	28,60	33,80	26,47	31,89
AIV-Silage	I	36,1	34,0	35,8	28,6	23,0	27,4	30,82
	II	39,9	29,9	37,9	25,1	23,4	44,0	33,37
	III	29,6	44,9	31,9	22,4	20,6	31,0	30,07
	Mittel	35,20	36,27	35,20	25,37	22,33	34,13	31,42
Zuckersilage	I	33,9	21,4	29,4	31,8	29,3	33,2	29,83
	II	37,3	25,2	18,6	37,5	30,8*)	22,6	28,67
	III	43,8	27,3	29,2	31,9*)	27,8	13,5	28,92
	Mittel	38,33	24,63	25,73	33,73	29,30	23,10	29,14
Mittel	I	34,83	26,10	31,83	28,30	28,30	26,53	29,32
	II	40,17	28,37	30,50	31,87	32,03	31,57	32,42
	III	37,90	36,73	31,43	27,53	25,10	25,60	30,72
	Mittel	37,63	30,40	31,26	29,23	28,48	27,90	30,82

4. Bilanzwert des "wahr" verdauten Futterstickstoffs

Diät	Tier-gruppen	Versuchsperiode 1	2	3	4	5	6	Mittel
Trockengras	I	47,9	31,4*)	44,7*)	36,6	46,1	26,6	38,88
	II	60,4	40,9	49,2	46,9	57,6	41,0	49,33
	III	57,8	51,0*)	47,9	41,0	40,2	44,9	47,13
	Mittel	55,37	41,10	47,27	41,50	47,97	37,50	45,12
AIV-Silage	I	53,0	47,0	51,0	40,9	32,7	41,2	44,30
	II	53,5	41,8	50,1	32,3	33,0	61,9	45,43
	III	45,1	59,7	45,3	37,0	32,9	44,0	44,00
	Mittel	50,53	49,50	48,80	36,73	32,87	49,03	44,58
Zuckersilage	I	54,4	32,0	44,3	45,6	43,3	42,8	43,73
	II	50,8	34,0	30,7	53,5	44,1*)	34,6	41,28
	III	62,6	39,5	38,6	47,4*)	40,7	20,8	41,60
	Mittel	55,93	35,17	37,87	48,83	42,70	32,73	42,21
Mittel	I	51,77	36,80	46,67	41,03	40,70	36,87	42,32
	II	54,90	38,90	43,33	44,23	44,90	45,83	45,35
	III	55,17	50,07	43,93	41,80	37,93	36,57	44,24
	Mittel	53,94	41,92	44,64	42,36	41,18	39,76	43,97

*) Berechnete Werte

5. Stickstoffnettowert

Diät	Tier-gruppe	Versuchsperiode 1	2	3	4	5	6	Mittel
Trockengras	I	52,9	39,6*)	48,7*)	45,0	54,3	41,7	47,03
	II	62,1	48,5	54,9	52,9	63,9	51,9	55,70
	III	59,6	55,0*)	51,5	48,5	47,9	52,8	52,55
	Mittel	58,20	47,70	51,70	48,80	55,37	48,80	51,76
AIV-Silage	I	52,7	51,7	54,9	49,3	44,6	49,5	50,45
	II	58,9	48,7	56,4	47,0	44,5	68,6	54,02
	III	43,0	62,0	51,4	43,3	38,7	53,8	48,70
	Mittel	51,53	54,13	54,23	46,53	42,60	57,30	51,06
Zuckersilage	I	48,7	38,0	45,5	49,1	48,5	57,3	47,85
	II	55,5	46,0	37,1	58,3	51,8*)	44,7	48,90
	III	60,0	47,2	49,9	53,2*)	49,3	36,7	49,38
	Mittel	54,73	43,73	44,17	53,53	49,87	46,23	48,71
Mittel	I	51,43	43,10	49,70	47,80	49,13	49,50	48,44
	II	58,83	47,73	49,47	52,73	53,40	55,07	52,87
	III	54,20	54,73	50,93	48,33	45,30	47,77	50,21
	Mittel	54,82	48,52	50,03	49,62	49,28	50,78	50,51

6. Biologische Wertigkeit

Diät	Tier-gruppe	Versuchsperiode 1	2	3	4	5	6	Mittel
Trockengras	I	73,4	55,4*)	71,9*)	67,1	76,8	58,4	67,17
	II	86,7	66,2	77,1	75,1	86,7	75,9	77,95
	III	85,5	73,9*)	74,3	70,3	71,5	73,2	74,78
	Mittel	81,87	65,17	74,43	70,83	78,33	69,17	73,30
AIV-Silage	I	77,3	71,5	78,2	70,6	63,4	74,4	72,57
	II	78,9	68,0	74,6	60,5	62,7	96,4	73,52
	III	65,4	82,5	73,0	71,5	61,8	76,5	71,78
	Mittel	73,87	74,00	75,27	67,53	62,63	82,43	72,62
Zuckersilage	I	78,3	56,8	68,7	70,5	71,7	73,8	69,97
	II	75,7	62,1	61,2	83,2	74,2*)	68,4	70,80
	III	85,9	68,3	65,9	80,1*)	72,3	56,6	71,52
	Mittel	79,97	62,40	65,27	77,93	72,73	66,27	70,76
Mittel	I	76,33	61,23	72,93	69,40	70,63	68,87	69,90
	II	80,43	65,43	70,97	72,93	74,53	80,23	74,09
	III	78,93	74,90	71,07	73,97	68,53	68,77	72,69
	Mittel	78,57	67,19	71,66	72,10	71,23	72,62	72,23

*) Berechnete Werte

7. Bilanzwert der "wahr" verdauten Reinproteinstickstoffe

Diät	Tier-gruppe	1	2	3	4	5	6	Mittel
Trockengras	I	57,8	38,9*)	58,4*)	44,9	55,9	32,3	48,03
	II	73,1	49,3	59,6	56,9	69,4	50,1	59,73
	III	70,4	66,8*)	58,4	49,9	49,3	54,2	58,17
	Mittel	67,10	51,67	58,80	50,57	58,20	45,53	55,31
AIV-Silage	I	83,8	71,9	79,3	63,8	50,7	66,1	69,27
	II	80,6	64,4	75,0	47,7	50,9	95,6	69,03
	III	72,9	89,7	70,4	63,2	54,8	68,4	69,90
	Mittel	79,10	75,33	74,90	58,23	52,13	76,70	69,40
Zuckersilage	I	111,8	61,1	85,5	84,3	82,2	72,8	82,95
	II	90,0	59,8	64,8	98,3	80,7*)	67,9	76,92
	III	115,4	73,6	66,8	89,2*)	76,6	41,0	77,10
	Mittel	105,73	64,83	72,37	90,60	79,83	60,57	78,99
Mittel	I	84,46	57,30	74,40	64,33	62,93	57,07	66,75
	II	81,23	57,83	66,47	67,63	67,00	71,20	68,56
	III	86,23	76,70	65,20	67,43	60,23	54,53	68,39
	Mittel	83,98	63,94	68,69	66,47	63,39	60,93	67,90

8. Biologische Wertigkeit des Reinproteins

Diät	Tier-gruppe	Versuchsperiode 1	2	3	4	5	6	Mittel
Trockengras	I	88,6	69,4*)	91,5*)	82,3	93,2	70,7	82,62
	II	104,8	79,7	93,5	91,2	105,7	92,7	94,60
	III	104,1	94,3*)	90,4	85,7	87,8	88,5	91,80
	Mittel	99,17	81,13	91,80	86,40	95,57	83,97	89,67
AIV-Silage	I	122,3	109,4	121,6	110,1	98,5	119,3	113,53
	II	118,9	104,7	111,5	89,3	96,8	148,9	111,68
	III	105,8	123,7	113,4	121,9	102,9	118,8	114,42
	Mittel	115,67	112,60	115,50	107,10	99,40	129,00	113,21
Zuckersilage	I	160,8	108,6	132,6	130,2	136,0	125,3	132,25
	II	134,1	109,2	129,5	152,9	139,9*)	134,1	133,28
	III	158,3	127,2	114,1	149,6*)	136,1	111,3	132,77
	Mittel	151,07	115,00	125,40	144,23	137,33	123,57	132,77
Mittel	I	123,90	95,80	115,23	107,53	109,23	105,10	109,47
	II	119,27	97,87	111,50	111,13	114,13	125,23	113,19
	III	122,73	115,07	105,97	119,07	108,93	106,20	112,99
	Mittel	121,97	102,91	110,90	112,58	110,77	112,18	111,88

*) Berechnete Werte

9. Bilanzwert des Proteinäquivalentstickstoffs

Diät	Tier-gruppe	Versuchsperiode 1	2	3	4	5	6	Mittel
Trockengras	I	52,4	34,5*)	50,5*)	40,3	50,5	29,1	42,88
	II	66,1	44,7	53,9	51,4	62,9	45,1	54,02
	III	63,5	57,3*)	52,6	45,0	44,3	49,1	51,97
	Mittel	60,67	45,50	52,33	45,57	52,57	41,10	49,62
AIV-Silage	I	64,9	56,8	62,1	49,8	39,7	50,8	54,02
	II	64,3	50,7	60,1	38,6	40,0	75,1	54,80
	III	55,7	71,8	55,2	46,7	41,1	53,6	54,02
	Mittel	61,63	59,77	59,13	45,03	40,27	59,83	54,28
Zuckersilage	I	73,2	42,0	58,4	59,2	56,8	53,9	57,25
	II	64,9	43,4	41,6	69,3	56,8*)	45,9	53,65
	III	81,8	51,4	48,9	62,3*)	53,2	27,6	54,20
	Mittel	73,30	45,60	49,63	63,60	55,60	42,47	55,03
Mittel	I	63,50	44,43	57,00	49,77	49,00	44,60	51,38
	II	65,10	46,27	51,87	53,10	53,23	55,37	54,16
	III	67,00	60,17	52,23	51,33	46,20	43,43	53,39
	Mittel	65,20	50,29	53,70	51,40	49,48	47,80	52,98

10. Biologische Wertigkeit der Proteinäquivalents

Diät	Tier-gruppe	Versuchsperiode 1	2	3	4	5	6	Mittel
Trockengras	I	80,3	61,0*)	80,2*)	73,9	84,2	64,0	73,93
	II	94,9	72,3	84,5	82,3	95,9	83,4	85,55
	III	93,9	82,1*)	81,5	77,2	78,8	80,1	82,27
	Mittel	89,70	71,80	82,07	77,80	86,30	75,83	80,58
AIV-Silage	I	94,7	86,5	95,2	86,0	77,2	91,6	88,53
	II	94,9	82,5	89,4	72,1	76,1	117,1	88,68
	III	80,9	99,0	88,9	90,1	77,2	93,0	88,18
	Mittel	90,17	89,33	91,17	82,73	76,83	100,57	88,47
Zuckersilage	I	105,3	74,6	90,5	91,5	93,9	92,9	91,45
	II	96,7	79,1	83,1	107,8	97,1*)	90,6	92,40
	III	111,4	88,9	83,6	104,8*)	94,4	75,0	93,02
	Mittel	104,47	80,87	85,73	101,43	94,73	86,17	92,29
Mittel	I	93,43	74,03	88,63	83,80	85,10	82,83	84,64
	II	95,50	77,97	85,67	87,40	89,70	97,03	88,88
	III	95,40	90,00	84,67	90,70	83,47	82,70	87,82
	Mittel	94,78	80,67	86,32	87,30	86,09	87,52	87,11

*) Berechnete Werte

ANHANG V

Ergebnisse der statistischen Auswertung

Varianzanalysen und Signifikanztests

1. Scheinbare Verdaulichkeit des Futterstickstoffs

Varianzanalyse

Streuungsursache	FG	SQ		DQ	F	P
Zwischen Diäten (D)	2	16,6637		8,33185	0,52	> 0,25
Zwischen Versuchsperioden (P)	5	84,1187		16,82374	0,98	> 0,25
Zwischen Tiergruppen (T)	2	65,3515		32,67575	1,90	~ 0,21
Wechselwirkungen						
(P x T)	10	172,0397		17,20397		
(D x P)	10	93,3275		9,33275		
(D x T)	4 } 33	50,9397	527,0163	12,7349	15,9702	
(D x P x T)	19	382,7491		20,14469		
Total	52	865,1899				

Bemerkungen zu den F-Tests:

Da DQ(D x P) und DQ(D x T) kleiner als DQ(D x P x T) sind, so können σ^2_{DP} und σ^2_{DT} beide als null gelten. Wir sind somit berechtigt zur Prüfung der Diäten ein gemeinsames DQ mit 33 Freiheitsgraden zu bilden. Die Versuchsperioden- und Tiergruppenwirkungen werden normal mit DQ(P x T) geprüft.

Interpretation:

Es besteht offensichtlich kein Grund zur Annahme realer Unterschiede zwischen den verschiedenen Diät- und Versuchsperiodenwirkungen. Auch die Unterschiede zwischen den Tiergruppen sind bei weitem nicht signifikant.

Mittelwerte für die Diäten

Trockengras	62,68
AIV-Silage	63,88
Zuckersilage	62,73

Eine Prüfung der Unterschiede zwischen den einzelnen Mittelwerten erübrigt sich angesichts des völlig negativen Ergebnisses des F-Tests.

2. Wahre Verdaulichkeit des Futterstickstoffs

Varianzanalyse

Streuungsursache	FG	SQ		DQ	F	P
Zwischen Diäten (D)	2	18,3293		9,16465	0,57	> 0,25
Zwischen Versuchsperioden (P)	5	7,4193		1,48386	0,08	> 0,25 *)
Zwischen Tiergruppen (T)	2	99,9448		49,9724	2,58	~ 0,12
Wechselwirkungen						
(P x T)	10	192,9819		19,29819		
(D x P)	10	100,1240		10,0124		
(D x T)	4	33 53,1519	533,5507	13,28798	16,1682	
(D x P x T)	19	380,2748		20,01446		
Total	52	852,2260				

*) Das DQ(P) erweist sich auf Grund des reziproken F-Tests als signifikant niedrig ($P < 0,01$: gut gesichert)

Interpretation:

Wie bei der scheinbaren Verdaulichkeit sind auch hier keine gesicherten Differenzen festzustellen. Allerdings nähert sich das F der Tiergruppenprüfung der 10%-Fehlerschwelle.

Mittelwerte für die Diäten

Trockengras	69,29
AIV-Silage	70,21
Zuckersilage	68,81

Eine Prüfung der Unterschiede zwischen den einzelnen Mittelwerten erübrigt sich angesichts des völlig negativen Ergebnisses des F-Tests.

3. N-Bilanzkoeffizient des gesamten Futter-N

Varianzanalyse

Streuungsursache	FG	SQ	DQ	F		P
Zwischen Diäten (D)	2	78,05777	39,028885	0,49	>	0,25
Zwischen Versuchsperioden (P)	5	569,85722	113,971444	3,636	~	0,03
Zwischen Tiergruppen (T)	2	86,76000	43,38000	1,38	>	0,25
Wechselwirkungen						
(D x P)	10	797,78667	79,778667	2,04	~	0,1
(D x T)	4	156,26556	39,06639	1,00	>	0,25
(P x T)	10	313,48444	31,348444			
(D x P x T)	15	586,74334	39,116223			
Total	48	2'588,95500				

Interpretation:

Es besteht offensichtlich kein Grund zur Annahme realer Unterschiede zwischen den Diäten; dasselbe gilt auch für den Tiergruppenfaktor; dagegen sind die Unterschiede zwischen den Versuchsperioden gesichert ($P < 0,05$). Die Wechselwirkungen (D x P) und (D x T) sind nicht signifikant.

Mittelwerte für die Diäten

Trockengras	31,89
AIV-Silage	31,42
Zuckersilage	29,14

Eine Prüfung der Unterschiede zwischen den einzelnen Mittelwerten erübrigt sich angesichts des völlig negativen Ergebnisses des F-Tests.

4. N-Bilanzkoeffizient des "wahr" verdauten Futter-N

Varianzanalyse

Streuungsursache	FG	SQ	DQ	F		P
Zwischen Diäten (D)	2	86,3544	43,1772	0,29	>	0,25
Zwischen Versuchsperioden (P)	5	1'190,7200	238,1440	4,61	~	0,018
Zwischen Tiergruppen (T)	2	85,5011	42,75055	0,83	>	0,25
Wechselwirkungen						
(D x P)	10	1'484,7256	148,47256	2,84	~	0,03
(D x T)	4	306,8745	76,718625	1,46	>	0,25
(P x T)	10	516,9389	51,69389			
(D x P x T)	15	782,9855	52,19903			
Total	48	4'454,1000				

Interpretation:

Es besteht offensichtlich kein Grund, reale Wirkungsunterschiede zwischen den Diäten anzunehmen; dasselbe gilt für den Tiergruppenfaktor; dagegen sind die Unterschiede zwischen den Versuchsperioden, sowie die Wechselwirkung (D x P) signifikant ($P < 0,05$).

Mittelwerte für die Diäten

Trockengras	45,12
AIV-Silage	44,58
Zuckersilage	42,21

Eine Prüfung der Unterschiede zwischen den einzelnen Mittelwerten erübrigt sich angesichts des völlig negativen Ergebnisses des F-Tests.

5. Stickstoffnettowert

Varianzanalyse

Streuungsursache	FG	SQ	DQ	F		P
Zwischen Diäten (D)	2	91,7804	45,8902	0,73	>	0,25
Zwischen Versuchsperioden (P)	5	226,3676	45,27352	1,31	>	0,25
Zwischen Tiergruppen (T)	2	178,8470	89,4235	2,59	~	0,12
Wechselwirkungen						
(D x P)	10	632,6440	63,2644	1,067	>	0,25
(D x T)	4	147,5630	36,89075	0,67	>	0,25
(P x T)	10	344,3347	34,43347			
(D x P x T)	15	890,6860	59,37907			
Total	48	2'512,2227				

Interpretation

Weder irgendwelche Hauptfaktorenwirkungen noch irgendwelche Wechselwirkungen sind signifikant.

Mittelwerte für die Diäten

Trockengras	51,76
AIV-Silage	51,06
Zuckersilage	48,71

Eine Prüfung der Unterschiede zwischen den einzelnen Mittelwerten erübrigt sich angesichts des völlig negativen Ergebnisses des F-Tests.

6. Biologische Wertigkeit

Varianzanalyse

Streuungsursache	FG	SQ	DQ	F		P
Zwischen Diäten (D)	2	62,2145	31,10725	0,22	>	0,25
Zwischen Versuchsperioden (P)	5	603,5417	120,70834	2,348	~	0,17
Zwischen Tiergruppen (T)	2	163,8011	81,90055	1,593	>	0,25
Wechselwirkungen						
(D x P)	10	1'442,6655	144,26655	2,97	~	0,028
(D x T)	4	221,1044	55,2761	1,135	>	0,25
(P x T)	10	514,1389	51,41389			
(D x P x T)	15	729,6823	48,645487			
Total	48	3'737,1484				

Interpretation:

Die Hauptfaktorenwirkungen sind nicht gesichert; dagegen ist die Wechselwirkung (D x P) signifikant ($P < 0,05$).

Mittelwerte für die Diäten

Trockengras	73,30
AIV-Silage	72,62
Zuckersilage	70,76

Eine Prüfung der Unterschiede zwischen den einzelnen Mittelwerten erübrigt sich angesichts des völlig negativen Ergebnisses des F-Tests.

7. Bilanzwert des "wahr" verdauten Reinprotein-N

Varianzanalyse

Streuungsursache	FG	SQ	DQ	F		P
Zwischen Diäten (D)	2	5'106,4844	2'553,2422	6,43	~	0,014
Zwischen Versuchperioden (P)	5	3'111,3244	622,26488	4,27	~	0,02
Zwischen Tiergruppen	2	35,9744	17,9872	0,12	>	0,25
Wechselwirkungen						
(D x P)	10	3'971,5778	397,15778	3,69	~	0,01
(D x T)	4	591,8112	147,9528	1,38	>	0,25
(P x T)	10	1'458,4812	145,84812			
(D x P x T)	15	1'613,9288	107,59525			
Total	48	15'889,5822				

Interpretation:

Sowohl die Unterschiede zwischen den Diäten wie auch diejenigen zwischen den Versuchsperioden sind statistisch gesichert ($P < 0,05$); auch die Wechselwirkung (D x P) ist signifikant. Dagegen besteht kein Grund, den drei Tiergruppen ein unterschiedliches Verhalten zuzuschreiben.

Die Mittelwerte für die Diäten

Trockengras	55,31
AIV-Silage	69,40
Zuckersilage	78,99

Prüfung der einzelnen Differenzen

Vergleich	t	P	Interpretation
TG - AIV	2,121	~ 0,06	nicht ganz gesichert
TG - Z	3,565	~ 0,0055	gut gesichert
AIV - Z	1,444	~ 0,18	nicht gesichert

8. "Biologische Wertigkeit" des Reinproteins

Siehe Seiten 75 und 76.

9. Bilanzwert des Proteinäquivalentstickstoffs

Varianzanalyse

Streuungsursache	FG	SQ	DQ	F		P
Zwischen Diäten (D)	2	309,1511	154,5756	0,685	>	0,25
Zwischen Versuchsperioden (P)	5	1'788,1489	357,6298	4,530	~	0,02
Zwischen Tiergruppen (T)	2	73,8545	36,9273	0,468	>	0,25
Wechselwirkungen						
(D x P)	10	2'255,7334	225,5733	3,141	~	0,02
(D x T)	4	395,0511	98,7628	1,375	>	0,25
(P x T)	10	789,4833	78,9483			
(D x P x T)	15	1'077,1311	71,8087			
Total	48	6'688,5534				

Interpretation:

Die Unterschiede zwischen den Diäten und den Tiergruppen sind bei weitem nicht gesichert, dagegen sind die Unterschiede zwischen den Versuchsperioden sowie die Wechselwirkung (D x P) signifikant ($P < 0,05$).

Durchschnittswerte für die Diäten

Trockengras	49,62
AIV-Silage	54,28
Zuckersilage	55,03

Eine Prüfung der Unterschiede zwischen den einzelnen Durchschnitsswerten erübrigt sich angesichts des völlig negativen Ergebnisses des F-Tests.

10. "Biologische Wertigkeit" des Proteinäquivalents

Varianzanalyse

Streuungsursache	FG	SQ	DQ	F		P
Zwischen Diäten (D)	2	1'282,6582	641,3291	3,080	~	0,09
Zwischen Versuchsperioden (P)	5	919,6254	183,9251	2,257	~	0,13
Zwischen Tiergruppen (T)	2	175,2960	87,6480	1,076	>	0,25
Wechselwirkungen						
(D x P)	10	2'082,5240	208,2524	3,111	~	0,02
(D x T)	4	263,3118	65,82795	0,983	>	0,25
(P x T)	10	814,8396	81,4840			
(D x P x T)	15	1'004,1260	66,9417			
Total	48	6'542,3810				

Interpretation:

Die Unterschiede zwischen den Diäten sind nicht ganz signifikant; von noch geringerer Ueberzeugungskraft ist der Hinweis auf reale Unterschiede zwischen den Versuchperioden, während von einem solchen Hinweis auf reale Unterschiede zwischen den Tiergruppen überhaupt nicht gesprochen werden kann. Die Wechselwirkung (D x P) ist gesichert ($P < 0,05$).

Mittelwerte für die Diäten

Trockengras	80,58
AIV-Silage	88,47
Zuckersilage	92,29

Obwohl der F-Test für die Diätunterschiede keine Signifikanz ergibt, zeigt er doch einen gewissen Hinweis auf die Existenz realer Wirkungsunterschiede zwischen den Diäten; es seien deshalb noch die Ergebnisse der Einzelvergleiche angeführt.

Prüfung der einzelnen Differenzen

Vergleich	t	P	Interpretation
TG - AIV	1,64	~ 0,13	nicht gesichert
TG - Z	2,44	~ 0,035	gesichert
AIV - Z	0,79	~ 0,45	bei weitem nicht gesichert

Lebenslauf

Als Bürger von Schönenberg, Zürich, bin ich, Jakob Landis, am 20. Juni 1926 in Hirzel geboren worden. Nach dem Besuch der Primarschule in Schönenberg und der Sekundarschule in Wädenswil arbeitete ich bis zum Herbst 1945 auf dem väterlichen landwirtschaftlichen Betrieb in Schönenberg. In den Jahren 1943 bis 1945 besuchte ich die beiden Winterkurse der Kantonalen Landwirtschaftlichen Schule in Wädenswil. Nach zweijähriger Vorbereitung am Institut Minerva, Zürich, wurde ich in die Landwirtschaftliche Abteilung der Eidgenössischen Technischen Hochschule aufgenommen. Im Herbst 1951 schloss ich meine Studien mit dem Diplom eines Ingenieur Agronomen ab. Anschliessend war ich bis August 1952 am Institut für Haustierernährung der Eidgenössischen Technischen Hochschule tätig. Das Studienjahr 1952/53 verbrachte ich als "Research-Student" an der chemischen Abteilung der Universität Edinburgh. Seit Septemper 1953 arbeitete ich als Assistent unter Leitung von Herrn Prof. Dr. E. Crasemann wiederum am Institut für Haustierernährung der ETH. In dieser Zeit hatte ich Gelegenheit, die vorliegende Arbeit durchzuführen.