Zeitschrift: Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Botanique Suisse

Herausgeber: Schweizerische Botanische Gesellschaft

Band: 53A (1943)

Artikel: Die energetische Wirkung von Trockengras : ein Beitrag zur Wertigkeitstheorie Oskar Kellners

Autor: Crasemann, E. / Heinzl, O.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-676357

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Die energetische Wirkung von Trockengras.

Ein Beitrag zur Wertigkeitstheorie Oskar Kellners.

Von *E. Crasemann* und *O. Heinzl.*

Mitteilung aus dem Institut für Haustierernährung der Eidg. Techn. Hochschule Zürich.

Eingegangen am 11. November 1942.

1. Einleitung.

In seiner bekannten, im Jahre 1934 erschienenen Arbeit: « *Heubereitung und Silage* » veröffentlichte Georg Wiegner (1) unter anderm folgende Übersicht:

Tabelle 1.

Prozentische Verluste, die bei günstiger Witterung durch Dürrfutterbereitung (Trocknung auf dem Boden) gegenüber Grünfutter entstehen.

	An Trockensubstanz	An verdaulicher Trockensubstanz	An Stärkeeinheiten
Durch Atmung	bis 10 %	etwa 5—15 %	etwa 5—15 %
Durch mechanischen Abfall	etwa 5—10 %	etwa 5—10 %	etwa 5—10 %
Durch Gärung im Heustock	etwa 5—10 %	etwa 5—10 %	etwa 5—10 %
Durch Wertigkeitsverminderung	—	—	etwa 10—15 %
Insgesamt	etwa 10 - 30 %	etwa 15—35 %	etwa 25—50 %

Diese Angaben vermittelten zum erstenmal eine klare Vorstellung von den Ursachen und vom Ausmaß der bei der Heugewinnung entstehenden Verluste. Die auf die drei erstgenannten Verlustquellen sich beziehenden Zahlenwerte (bei ungünstiger Witterung treten als weitere Verlustquellen Auswaschung und bereits auf dem Felde wirksam werdende Zersetzung durch Mikroben in Erscheinung) konnte Wiegner aus gutgesicherten Beobachtungen verschiedener Versuchsansteller ableiten. Zahlreiche, später durchgeführte Versuche haben ihre Richtigkeit bestätigt.

Anders verhält es sich in bezug auf die letzte in der Übersicht enthaltene Angabe: *Verluste durch Wertigkeitsverminderung.* Die experimentellen Unterlagen, auf die Wiegner bei der Bestimmung dieser

Größe angewiesen war, erweisen sich als äußerst lückenhaft und bedürfen dringend der Erweiterung.

2. Oskar Kellners Bewertung von Heu und Stroh.

Der Begriff « Verlust durch Wertigkeitsverminderung » ergibt sich aus der von Oskar Kellner (2) begründeten *Stärkewerttheorie* und läßt sich wie folgt ableiten :

Der Stärkewert ist ein Maß für die energetische Wirkung der reinen Nährstoffe (Kohlehydrat, Fett, Eiweiß) und der Futtermittel. Streng genommen bezieht sich diese Wirkung lediglich auf die Fettbildung beim Rind. In Ansatzversuchen an ausgewachsenen Ochsen verglich Kellner das Fettbildungsvermögen der Nährstoffe und Futtermittel mit dem Fettbildungsvermögen eines Kilogrammes reiner Kartoffelstärke, dessen Wirkung er als Maßeinheit wählte (Stärkewert, Stärkeeinheit). Im Produktionsfutter, das einem ausgewachsenen Rinde über das Erhaltungsfutter hinaus verabreicht wird, erzeugt eine Stärkeeinheit 248 g Körperfett, was, energetisch ausgedrückt, einer *Nettoenergie* von 2360 Kal. entspricht.

Handelt es sich darum, den *Stärkewert,* d. h. die Anzahl Stärkeeinheiten irgendeines *Futtermittels* zu bestimmen, wird man ein einwandfreies Ergebnis nur dann erwarten können, wenn man das betreffende Futtermittel an Hand von Gesamtstoffwechselversuchen prüft. Dieses äußerst zeitraubende und kostspielige Verfahren kann nach dem Vorschlage Kellners dadurch umgangen werden, daß der Stärkewert des in Frage kommenden Futtermittels aus seinem Gehalt an verdaulichen Nährstoffen oder verdaulichen Nährstoffgruppen *berechnet* wird.

Die Erfahrung lehrt, daß dieser Weg der Stärkewertermittlung im allgemeinen zu befriedigen vermag. Dabei werden für die wichtigsten Nährstoffe bzw. Nährstoffgruppen folgende Wirkungswerte angenommen.

Tabelle 2.
Wirkungswerte einiger verdaulicher Nährstoffe und Nährstoffgruppen beim ausgewachsenen Rind nach Oskar Kellner

1 kg verdaulicher Nährstoff, im Produktionsfutter verabreicht	Fettansatz g	= Nettoenergie Kal.	= Stärkewert
Stärke, N-freie Extraktstoffe und Rohfaser	248	2360	1,00
Eiweiß	235	2240	0,94
Fette aus Rauhfutter und Wurzelfrüchten	474	4500	1,91

Diese Wirkungswerte kommen jedoch nur dann zur Geltung, wenn die genannten Nährstoffe entweder in reiner Form, einzeln und unter-

einander gemischt, oder nahezu in reiner Form als Bestandteile hochverdaulicher Futtermittel verabreicht werden. In den meisten Futtermitteln wird die angegebene, auf die reine Form sich beziehende Wirkung der Nährstoffe herabgesetzt. Die Erscheinung, die mit der besonderen physikalisch-chemischen Beschaffenheit der Mehrzahl der Futterstoffe im Zusammenhang steht, berücksichtigte Kellner durch die sogenannte *Wertigkeit*. Diese bedeutet das Verhältnis:

$$\frac{\text{Beobachteter Stärkewert}}{\text{Stärkewert, berechnet aus dem Gehalt an reinen verdaulichen Nährstoffen}} \times 100$$

Bei vollwertigen Futtermitteln ist die Wertigkeit = 100, bei nichtvollwertigen kleiner als 100.

Als Ursache der *Wertigkeitsverminderung* bei nichtvollwertigen Futtermitteln kommen in Betracht:

Vermehrte Zerkleinerungsarbeit beim Kauen,
vermehrte Darmarbeit beim Transport der mit unverdaulichen Bestandteilen durchsetzten Futtermittel,
verstärkte Gärung im Magen-Darm-Kanal und
Ausscheidung von stickstofffreien Substanzen im Harn, deren Menge nicht allein vom Gehalt des Futters an verdaulichen Nährstoffen abhängig ist (3).

Die Wertigkeitsverminderung bedeutet unzweifelhaft eine Erschwerung der rechnerischen Ermittlung des Stärkewertes. Um diese trotzdem zu ermöglichen, gelangen folgende zwei von Kellner begründete Verfahren zur Anwendung:

1. Berechnung des Stärkewertes aus dem Gehalt an verdaulichen Nährstoffen, wie oben angegeben, und Multiplikation des so erhaltenen « *Bruttostärkewertes* » mit einer mittleren, im Tierexperiment bestimmten Wertigkeit, die der betreffenden Futtermittelkategorie eigen ist.
2. Verminderung des aus dem Gehalt an verdaulichen Nährstoffen berechneten Bruttostärkewertes um einen Betrag, der unmittelbar aus einer analytisch leicht zu bestimmenden und die Wertigkeit ausschlaggebend beeinflussenden Komponente des Futtermittels abgeleitet werden kann. Als solche Komponente wählte Kellner die *Rohfaser*. Dieses Verfahren wird u. a. bei der Bewertung von *Gras* und *Heu* angewendet.

Versuche Kellners mit Heu und mit Stroh ergaben, daß 1 kg verzehrte Rohfaser dieser Futtermittel die Ansatzwirkung der reinen Nährstoffe bei der Fettmast des ausgewachsenen Rindes durchschnittlich um 1360 Kal. herabsetzte. Dieser auf die Fettbildung sich beziehende Produktionsausfall entspricht einem Stärkewert von $\frac{1360}{2360} = 0{,}58$. Bei

der Berechnung des Stärkewertes von Heu und von Stroh ist man allgemein dazu übergegangen, die Zahl 0,58 als Standardwert zu verwenden, indem man, ungeachtet irgendwelcher besonderer Eigenschaften dieser Rauhfuttermittel, je kg der in ihnen enthaltenen Rohfaser einheitlich 0,58 Stärkeeinheiten von dem aus dem Gehalt an verdaulichen Nährstoffen errechneten Bruttostärkewert in Abzug bringt.

Der Standardwert 0,58 ist eine Durchschnittszahl, die experimentell recht gut gesichert ist und deren Verwendung, wie die Erfahrung lehrt, brauchbare Ergebnisse zeitigt.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn es sich darum handelt, den Nettostärkewert *von Gras* rechnerisch zu ermitteln. Hier fehlen hinreichende experimentelle Unterlagen, welche die Voraussetzung zur Aufstellung quantitativer Beziehungen zwischen dem Rohfasergehalt des Futtermittels und dessen Wertigkeit bilden könnten. Einige wenige, das Problem berührende Untersuchungen vermögen diesbezüglich kein eindeutiges Bild zu vermitteln.

3. Untersuchungen über die Kau- und Darmarbeit beim Verzehr von Gras und Heu.

N. Zuntz und O. Hagemann (4) stellten an Hand von Respirationsversuchen am Pferd fest, daß frische Luzerne, bezogen auf gleiche Mengen Trockensubstanz, um 38 % weniger Kauarbeit benötigte als Wiesenheu. Diese Beobachtung läßt vermuten, daß der Wertigkeitsverlust bei Grünfutter kleiner ausfällt als bei Heu. Es ist jedoch fraglich, ob die von Zuntz und Hagemann am Pferd gemachte Feststellung auf das wiederkauende Rind, aus dessen Energieumsatz sich die Berechnung des Stärkewertes ableitet, übertragbar ist.

J. Huth (5) glaubt auf Grund eines vergleichenden Versuches mit einem tracheotomierten Hammel schließen zu dürfen, daß beim Wiederkäuer ein Unterschied für Kau- und Verdauungsarbeit bei Aufnahme von Heu oder Grünfutter, bezogen auf gleiche Mengen organische Substanz, nicht bestehe. Eine Nachprüfung ergibt, daß die Schlußfolgerung von Huth auf Voraussetzungen beruht, die den Anforderungen einer exakt vergleichenden Versuchsanstellung nicht genügen (Verwendung eines botanisch nicht gleich zusammengesetzten Pflanzenmaterials, sehr verschiedenes Verhalten der Versuchstiere in den einzelnen Versuchsperioden). Auch scheint uns die Interpretation der gewonnenen Versuchsdaten nicht in allen Teilen richtig zu sein. So berechnen wir beispielsweise aus den Angaben von Huth, daß, bezogen auf 100 g Futtertrockensubstanz, das Fressen des von ihm verwendeten Wiesenheues die CO_2-Produktion und den Sauerstoffverbrauch stärker ansteigen ließ als das Fressen des zum Vergleich verabreichten, aus Luzerne und Gras bestehenden Grünfutters. Dies weist darauf hin, daß

das Heu entgegen den Schlußfolgerungen von Huth mehr Kauarbeit verursachte als das Grünfutter.

Weitere Angaben über den Energieaufwand für die Kau- und Verdauarbeit bei der Verfütterung von Gras und Heu an Wiederkäuer finden sich bei W. Ustjanzew (6), der seine Versuche mit zwei, ebenfalls tracheotomierten Hammeln durchführte. Auszugsweise entnehmen wir seinen Untersuchungen die in der folgenden Übersicht enthaltenen, von uns teilweise umgerechneten Angaben.

Tabelle 3.

Energieaufwand beim Kauen von Gras und von Heu, festgestellt am Schaf (ohne Wiederkauen).
(Nach W. Ustjanzew.)

Futter	Lebendgewicht des Versuchstieres	Kauwärme pro Minute und 1 kg Lebendgewicht	Freßzeit für 1 kg Futter	Gesamte Kauenergie pro Tier und 1 kg Futter[1]	Kauarbeit pro 1 kg Futter-trockensubstanz ohne Wiederkauen[2]
	kg	Kal.	Minuten	Kal.	Kal.
	1	2	3	4	5
Timothyheu, *lang*	44	14,50	115	72,6	**84,4**
Timothyheu, *lang*	50	13,84	111	76,8	**89,3**
Timothyheu, gehäckselt und gebrüht	45	13,08	64	37,7	**43,8**
Timothyheu, gehäckselt und gebrüht	56	13,75	77	59,3	**69,0**
Timothyheu, gehäckselt und gebrüht	50	13,41	54	36,2	**42,1**
Rotkleeheu, *lang*	46	15,82	94	68,4	**79,5**
Grünfutter, Rotklee vor der Blüte . .	47	13,02	13,8	8,5	**44,7**
Grünfutter, Rotklee vor der Blüte . .	47	12,31	10,4	6,0	31,6
Grünfutter, Wicken in der Blüte . .	48	13,08	20	12,6	70,0
Grünfutter, Luzerne vor der Blüte . .	54	11,00	20	11,9	47,3
Gleiche Luzerne als *Heu,* gehäckselt und gebrüht	55	10,94	54	32,5	37,8

[1] Von uns aus den Angaben der Spalten 1—3 berechnet.

[2] Von uns berechnet. Angaben über den Trockensubstanzgehalt der geprüften Futtermittel fanden wir nur in einem einzigen Falle (Luzernegrünfutter vor der Blüte). In allen andern Fällen mußten von uns Durchschnittswerte eingesetzt werden. Für die angeführten *Heusorten* wählten wir einheitlich einen Trockensubstanzgehalt von 86 %, von der wahrscheinlichen Voraussetzung ausgehend, daß der Autor bei den in Spalte 3 enthaltenen Angaben auf die lufttrockene Substanz (also nicht auf die Trockenmasse) des verfütterten Heues Bezug nahm. Für die beiden *Grünfutterproben* Wicke und Rotklee wurde ein Trockensubstanzgehalt von 18 % angenommen.

Aus Spalte 5 der Tabelle 3 dürfte trotz einiger ihr anhaftender Unsicherheiten (vgl. Anm. 2 zu Tab. 3) deutlich hervorgehen, daß *unzerkleinertes Heu,* auf gleiche Trockensubstanzmengen bezogen, *im allgemeinen einen größeren Kauaufwand verursacht als frisches Grünfutter.* Im Widerspruch hierzu stehen nur die in der Tabelle 3 zuletzt

angegebenen Versuchsergebnisse mit grüner und getrockneter Luzerne gleicher Herkunft. Auf Grund einer allgemeinen Beschreibung der Versuchsanlage muß jedoch angenommen werden, daß das untersuchte Luzerneheu vor der Verfütterung gehäckselt und angebrüht worden war. Diese Maßnahme vermag, wie dies die Versuche Ustjanzews mit langem bzw. gehäckseltem und gebrühtem Timothyheu eindeutig erkennen lassen, die Kauarbeit beim Fressen stark zu vermindern.

Die *Zerkleinerung* des Rauhfutters läßt auch ohne Anbrühen beim Wiederkäuer eine bedeutende Ersparnis an Kauarbeit erzielen. Dies beweisen die in dem Lehrbuche von Kellner angeführten Versuche mit verschiedenen Strohsorten (7). Aus diesen geht hervor, daß, auf 1 kg Rohfaser bezogen, feingemahlenes Stroh im Mittel einen um 660 Kal. geringeren Produktionsausfall bewirkt als das gleiche Stroh, das in Form langer Häcksel verabreicht worden war. Diese Verminderung des Produktionsausfalles darf im wesentlichen einer Einsparung an Kauarbeit beim Fressen und Wiederkauen des Futters zugeschrieben werden.

Wir wollen nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, daß Kellner seine Versuche an Ochsen mit lang gehäckseltem und feingemahlenem Stroh anstellte, während die Versuche Ustjanzews am Schaf mit langem sowie mit gehäckseltem und angebrühtem Heu ausgeführt wurden. Außerdem bezieht sich die Untersuchung Kellners auf die Veränderung der gesamten vom Wiederkäuer zu leistenden Kauarbeit (Fressen und Wiederkauen), während die Untersuchung Ustjanzews lediglich Anhaltspunkte für die Veränderung der Kauarbeit beim Fressen gibt. Ein zahlenmäßig auswertbarer Vergleich der von den beiden Autoren gewonnenen Versuchsergebnisse ist daher nicht möglich.

4. Kellners Bewertung von Gras.

Die Versuche Kellners mit zerkleinertem und nichtzerkleinertem Stroh werden hier nicht nur im Zusammenhang mit der Arbeit Ustjanzews, sondern auch deshalb erwähnt, weil sie gewisse Unterlagen für die in Diskussion stehende *rechnerische Bestimmung des Nettostärkewertes von Gras* lieferten. Grundsätzlich gestaltet sich diese gleich wie die Berechnung des Stärkewertes von Heu und von Stroh, indem auch hier eine auf die Rohfaser bezugnehmende Wertigkeitsverminderung in Rechnung gestellt wird. Im Gegensatz zum Vorgehen bei der Bewertung von Heu und Stroh wird jedoch der aus dem Gehalt an verdaulichen Nährstoffen berechnete Bruttostärkewert nicht einheitlich um 0,58 Stärkeeinheiten je kg Rohfaser vermindert, vielmehr erfährt der Abzug nach dem Vorschlage Kellners eine Abstufung, die sich nach der auf die Frischsubstanz des Grases bezogenen Rohfaser*konzentration* richtet. Die Begründung einer derartigen Abstufung ergab sich für Kellner aus eigenen Beobachtungen und aus der bereits erwähnten, von Zuntz und Hagemann am Pferd gemachten Feststellung, wonach frische Luzerne beim Pferd weniger

Kauenergie beanspruchte als Wiesenheu. Die quantitativen Beziehungen leitete Kellner von seinen Versuchen mit Heu und langgehäckseltem bzw. gemahlenem Stroh ab. Danach gelangen folgende Abzüge zur Anwendung: Bei Gras mit einem Rohfasergehalt von 16 % und darüber wird der Bruttostärkewert wie bei Heu und Stroh um 0,58 Stärkeeinheiten je kg Rohfaser vermindert. Bei einem Rohfasergehalt der Frischsubstanz von 4 % und darunter beträgt der Abzug dagegen nur 0,29 Stärkeeinheiten. Dieser Abzug entspricht dem Produktionsausfall, wie ihn Kellner bei seinen Versuchen mit gemahlenem Stroh fand. Für die zwischen 4 und 16 % liegenden Rohfaserkonzentrationen ergeben sich die bezüglichen Abzüge durch geradlinige Interpolation der beiden Grenzwerte 0,58 und 0,29 Stärkeeinheiten.

Das von Kellner vorgeschlagene Verfahren wird nicht nur bei der Bestimmung des Stärkewertes von Gras, sondern auch bei der Bestimmung des Stärkewertes von irgendwelchen Saftfuttermitteln, wie Kraut, Silage usw., angewendet.

Eine die Rohfaserkonzentration berücksichtigende Abstufung des Abzuges vom Bruttostärkewert erscheint begründet, wenn Unterschiede in der Rohfaserkonzentration als Folge eines mehr oder weniger fortgeschrittenen *Verholzungsgrades* des Pflanzenmaterials auftreten. Die Begründung ergibt sich mit entsprechender Umkehrung aus folgendem Zusammenhang : Je fortgeschrittener die Verholzung, um so höher der Rohfasergehalt, um so größer demzufolge die Belastung des Verdauungsapparates, um so größer dann auch der auf 1 kg Rohfaser bezogene Verlust durch Wertigkeitsverminderung. Ob es allerdings möglich ist, diesen Verlust an Hand einer so einfachen quantitativen Beziehung zwischen Rohfaserkonzentration und Produktionsausfall, wie sie von Kellner aufgestellt wurde, mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen, erscheint fraglich. Gewisse Feststellungen, die G. Fingerling (8) bei der Auswertung von Respirationsversuchen mit Maissilage machen konnte, weisen darauf hin, daß jene Beziehungen den tatsächlichen Verhältnissen jedenfalls nicht immer gerecht werden.

Sehr zweifelhaft muß die nach der Rohfaserkonzentration abgestufte Berechnung des Produktionsausfalles vor allem dann erscheinen, wenn sich Unterschiede im Rohfasergehalt des Grases nicht als Folge eines mehr oder weniger fortgeschrittenen Verholzungsgrades, sondern lediglich als Folge einer *Veränderung des Wassergehaltes* ergeben. Daß hinsichtlich der Beziehung Wassergehalt—Rohfaserkonzentration—Wertigkeit große Unsicherheit herrscht, zeigt neuerdings die Verschiedenartigkeit des Vorgehens bei der *Berechnung des Stärkewertes von Trockengras,* dessen Gewinnung mit Hilfe der künstlichen Trocknung für die Ausweitung der landes- und wirtschaftseigenen Futterbasis große Bedeutung erlangt hat. Da die künstliche Trocknung, wenn sie richtig durchgeführt wird, dem Pflanzenmaterial nur das Wasser entzieht, ohne

das gegenseitige Verhältnis der Nährstoffe und deren Verdaulichkeit zu verändern, stellt sich die Frage, ob bei der Berechnung des Wirkungsverlustes der im Trockengras enthaltenen verdaulichen Nährstoffe die durch den Wasserentzug bedingte Veränderung der Rohfaserkonzentration berücksichtigt werden soll oder nicht.

Im allgemeinen behandelt man bei der Berechnung des Stärkewertes das Trockengras entsprechend seiner erhöhten Rohfaserkonzentration wie natürlich gewonnenes Heu, was besagen will, daß auch beim Trockengras der aus dem Gehalt an verdaulichen Nährstoffen berechnete Bruttostärkewert um 0,58 Stärkeeinheiten je kg Rohfaser vermindert wird. Dabei läßt man jedoch die Tatsache unberücksichtigt, daß die natürliche Dürrfutterbereitung nicht nur einen Wasserentzug bewirkt, sondern in der Regel auch beträchtliche Substanzverluste verursacht. Diese Verluste führen, weil sie vor allem die verdaulichen Nährstoffe in Mitleidenschaft ziehen, zu einer Veränderung des Futters, welche die Trockenmasse selbst betrifft und durch eine Erhöhung ihres Ballastanteiles gekennzeichnet ist. Diese Erhöhung des Ballastanteiles in der Trockenmasse muß an sich schon bewirken, daß die verdaulichen Nährstoffe im Heu eine stärkere Wirkungseinbuße erfahren als im frischen Gras. Die genannte, die Zusammensetzung der Trockenmasse verändernde Verlustbildung tritt bei der künstlichen Trocknung nicht oder doch nur in sehr beschränktem Umfange auf, ein Grund, der dafür spricht, daß diese Art der Konservierung die Wertigkeit des Grünfutters weniger beeinträchtigt als die natürliche Dürrfutterbereitung. Es müßte demzufolge der bei der Berechnung des Stärkewertes von Dürrfutter zur Anwendung gelangende Abzug von 0,58 Stärkeeinheiten je kg Rohfaser bei der Bewertung von Trockengras als zu hoch bezeichnet werden.

Es ist außerdem zu berücksichtigen, daß für die künstliche Trocknung zumeist ein *junges, blattreiches Pflanzenmaterial* verwendet wird, das ein rohfaserarmes, leicht zerbröckelndes Trockengut gibt. Kellner gibt der Vermutung Ausdruck, daß ein derartiges Pflanzenmaterial als Trockengut nicht mehr Kauarbeit erfordere, als wenn es in frischem Zustand verfüttert werde. Diese Vermutung spricht ebenfalls dafür, daß man das Trockengras zu schlecht bewertet, wenn man seinen Bruttostärkewert um 0,58 Stärkeeinheiten je kg Rohfaser vermindert.

Die Unterschiede bei der Bewertung des Trockengrases sind recht erheblich, wenn man in einem Falle voraussetzt, daß die künstliche Trocknung die Wertigkeit des Trockengrases nicht beeinflusse, im andern Falle dagegen eine Wirkungseinbuße vorsieht, wie sie für das Heu angenommen wird. Bezogen auf den Stärkewert des Frischgrases, können diese Unterschiede 10—15 % betragen.

5. Eigene Untersuchungen.

Die vorstehend erwähnten, die Bewertung des Trockengrases betreffenden Unsicherheiten führen uns zur folgenden *grundsätzlichen Problemstellung: Wie beeinflußt das Trocknen die Nettoenergie und damit den Stärkewert von Gras, wenn der Trocknungsvorgang lediglich einen Wasserentzug herbeiführt, ohne die im Frischgras enthaltene Trockenmasse bezüglich Gehalt an verdaulichen Nährstoffen zu verändern? Wie groß ist der damit verbundene Produktionsausfall und in welchem Verhältnis steht dieser Ausfall zu der nach der Kellnerschen Wertigkeitstheorie berechneten Verminderung der Nährstoffwirkung?*

Das aufgeworfene Problem bildete den Gegenstand einer kürzlich am Institut für Haustierernährung der Eidg. Technischen Hochschule durchgeführten Untersuchung (9). Ihre Grundlage bilden eine Reihe von *Gesamtstoffwechselversuchen,* für deren Ausführung ein nach dem Prinzip von Pettenkofer gebauter *Respirationsapparat* zur Verfügung stand. Als Versuchstiere dienten zwei ausgewachsene Hammel, die es ermöglichten, sämtliche Bestimmungen doppelt auszuführen. Das *Versuchsgras* stammte aus einer zweijährigen, im Pflanzenbestand sehr ausgeglichenen Kleegrasanlage. Durch zweckmäßige Unterteilung und Vorbereitung der Anlage gelang es uns, während der ganzen Dauer eines Respirationsversuches (20 Tage) ein stets drei Wochen altes, in seiner Beschaffenheit annähernd gleichbleibendes *Frischgras* zu gewinnen. Seine botanische Zusammensetzung wurde schätzungsweise wie folgt bestimmt:

Tabelle 4.

Botanische Zusammensetzung des für die Respirationsversuche verwendeten Frischgrases.

Klee:	Trifolium pratense perenne	30 %	
	Trifolium hybridum	20 %	50 %
Gräser:	Arrhenaterum elatius	10 %	
	Trisetum flavescens	10 %	
	Poa pratensis	10 %	
	Dactylis glomerata	10 %	
	Lolium perenne	5 %	45 %
Unkräuter:	Taraxacum, Ranunculus repens, Rumex .		5 %

Diesem jungen Frischgras mußte, entsprechend unserer Problemstellung, ein Trockengras gegenübergestellt werden, das jenem bezüglich chemischer Zusammensetzung und Verdaulichkeit völlig gleich war. Dies suchten wir so zu erreichen, daß wir während der Respirationsversuche mit dem Frischgras von diesem jeden Tag eine bestimmte Menge in einen Laboratoriumstrockner brachten und dort unverzüglich trockneten. Die Trocknung erfolgte in einem lebhaften, elektrisch aufgeheizten Luftstrom bei höchstens 60° C und dauerte nicht mehr als 3—4 Stunden.

Die chemische Zusammensetzung und der Gehalt an verdaulichen Nährstoffen des Frischgrases und des daraus gewonnenen Trockengrases ist in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 5.

Chemische Zusammensetzung und Gehalt an verdaulichen Nährstoffen des Versuchsfutters.

In der Trockenmasse	Versuch I (Hammel I)				Versuch II (Hammel II)			
	Gesamtgehalt		Verdaulich		Gesamtgehalt		Verdaulich	
	F.	T.	F.	T.	F.	T.	F.	T.
	%	%	%	%	%	%	%	%
Trockenmasse . . .	—	—	76,9	68,5	—	—	75,3	75,7
Asche	12,2	12,0	7,5	4,9	12,3	11,9	6,2	7,8
Rohprotein	20,4	18,4	17,8	14,9	19,7	19,7	17,5	17,6
Reinprotein	18,9	16,4	16,1	12,4	17,4	18,0	14,4	15,8
Rohfett	4,7	3,9	3,9	3,0	4,5	4,7	3,9	3,6
Rohfaser	24,0	26,6	18,1	16,7	24,6	23,4	18,3	15,6
N-freie Extraktstoffe .	38,7	39,1	29,6	29,0	38,9	40,3	29,4	31,1

F. = Frischgras.
T. = Trockengras.

Sehr gut ist die verlangte Übereinstimmung zwischen Frischgras I und Frischgras II sowie zwischen Frischgras II und dem daraus gewonnenen Trockengras II. Weniger gut ist sie zwischen Frischgras I und dem ihm entsprechenden Trockengras des Versuches I. Als Ursache dieser Unstimmigkeit kommen verschiedene, hier nicht näher zu erörternde Einflüsse in Betracht (Probenahme, Methodik der Verdaulichkeitsbestimmung; weniger wahrscheinlich: Einfluß des Trocknungsprozesses). Sie waren immerhin nicht derart, daß sie das Endergebnis unserer Untersuchung wesentlich zu beeinflussen vermochten.

Frischgras und Trockengras wurden zu einem Grundfutter zugelegt, das aus gutem Kleegrasheu bestand und das den Erhaltungsbedarf der Versuchstiere ganz oder annähernd zu decken vermochte. Somit bestimmten wir, der Methode Kellners folgend, die Wirkung der Zulagen in der *Überernährung*. Als maßgebend erachteten wir hierbei sowohl das Ergebnis der auf dem Wege der indirekten Tierkalorimetrie festgestellten Energiebilanzen als auch das Ergebnis der als Kontrolle dienenden Kohlenstoff- und Stickstoffbilanzen. Die im Fett- und Fleischansatz in Erscheinung tretende Wirkung bzw. Nettoenergie der Zulagen gaben wir einheitlich in Kalorien Körperfett an, wobei die neben dem Fettansatz beobachtete Fleischbildung mit Hilfe eines von G. Wiegner und F. von Grünigen (10) eingeführten Faktors γ_r in Nettoenergie

Fett umgerechnet und, maßstabgleich gemacht, zum direkt beobachteten Fettansatz hinzugezählt wurde.

Besondere Sorgfalt verlegten wir darauf, außer dem Futter, dessen verschiedene Wirkung zu prüfen war, alle Faktoren, die den Energieumsatz unserer Versuchstiere beeinflussen konnten, möglichst konstant zu halten. Zu diesen Faktoren gehörten das Lebendgewicht, die Bewollung, das Verhalten und die Umgebungstemperatur der Versuchstiere. Von Bedeutung war auch, daß in den Versuchen mit Frischgras und Trockengras zu gleichen Mengen Grundfuttertrockensubstanz stets gleiche Mengen Trockenmasse (200 g) in Form der Zulagen verabreicht wurden. Selbstverständlich wurde das *Trockengras* nicht, wie dies im allgemeinen üblich ist, im gemahlenen Zustande, sondern, wie es die Problemstellung erforderte, *unzerkleinert* vorgelegt.

Nachfolgend sollen einige der wichtigsten Ergebnisse unserer Gesamtstoffwechselversuche mitgeteilt werden.

Im Anschluß an die früher erwähnten Versuche von Zuntz und Hagemann, von Huth und von Ustjanzew untersuchen wir zunächst, ob das Trockengras in unseren Versuchen die *mechanische Verdauung* (Einspeicheln, Kauen, Wiederkauen, Transport durch den Verdauungstrakt) stärker belastete als das Frischgras. Eine derartige Mehrbelastung mußte unter sonst gleichen Bedingungen an einer Zunahme der *Wärmeproduktion* (Zunahme der thermischen Energie) unserer Versuchstiere erkennbar sein. Die Wärmeproduktion wurde gemäß den Methoden der indirekten Tierkalorimetrie auf Grund der Kohlensäureproduktion und des Sauerstoffverbrauches berechnet, wobei wir die Methanbildung durch Anbringen einer entsprechenden Korrektur berücksichtigten. Das Ergebnis der Berechnung ist aus der nachfolgenden Tabelle zu ersehen.

Tabelle 6.

Thermische Energie, bewirkt durch Frischgras- und Trockengraszulagen in 24 Stunden.

	Hammel I	Hammel II	Mittel III
Frischgraszulage (100 g Trockensubstanz)	48,1 Kal.	56,2 Kal.	52,2 Kal.
Trockengraszulage (100 g Trokkensubstanz)	125,9 Kal.	96,8 Kal.	111,4 Kal.
Steigerung durch Trockengras .	77,8 Kal.	40,6 Kal.	59,2 Kal.

Die Zusammenstellung zeigt eindeutig, daß die Trockengraszulage gegenüber der Frischgraszulage eine *beträchtliche Zunahme der Wärmeproduktion* zur Folge hatte. Wir gehen wohl kaum fehl, wenn wir diese Zunahme in erster Linie einer durch den Trockengrasverzehr bewirkten

Vergrößerung des Kauaufwandes zuschreiben. Weniger in Betracht kommend erscheint uns, daß die Trockengraszulage eine Vergrößerung der Wiederkau- und der Darmarbeit verursachte. Es kann vielmehr angenommen werden, daß die dem Wiederkäuer eigene Pansengärung einen gewissen Ausgleich bewirkte, so daß sich Unterschiede zwischen der Beschaffenheit des Frischgrases und derjenigen des Trockengrases bei den dem Futterverzehr nachfolgenden Verdauungsvorgängen kaum mehr geltend machen konnten. Es war auch nicht zu erwarten, daß die Trockengrasfütterung eine die *Methanproduktion* beeinflussende Veränderung der Pansengärung zur Folge haben werde. Daß dies nicht zutraf, zeigen die folgenden Feststellungen:

Tabelle 7.

Methanproduktion bei Frisch- und Trockengrasfütterung in 24 Stunden.

	Hammel I		Hammel II	
	g	kalorischer Wert	g	kalorischer Wert
Frischgraszulage (200 g Trockensubstanz) .	3,1	41,4 Kal.	4,5	60,0 Kal.
Trockengraszulage (200 g Trockensubstanz)	2,9	38,7 Kal.	5,0	66,7 Kal.

Die angeführten Werte geben *keine* Anhaltspunkte, die auf die *Beeinflussung der Methanbildung* durch die Trockengrasfütterung schließen ließen.

Die aus Tabelle 6 hervorgehende Zunahme der Wärmeproduktion bei Trockengrasfütterung mußte notwendigerweise auf Kosten des Nährwertes bzw. der Nettoenergie des Grases erfolgen. Die Berechnung der Nettoenergienwerte von Frischgras und Trockengras an Hand der *Energiebilanzen* ließ diese Folgerung, wahrscheinlich zufolge Summation verschiedener an sich unbedeutender Versuchsfehler, nicht klar zutage treten. Dagegen ergab sie sich eindeutig und mit guter Übereinstimmung aus der Berechnung der Nettoenergiewerte an Hand der *Kohlenstoff-* und *Stickstoffbilanzen.*

Tabelle 8.

Die Nettoenergie von Frischgras und Trockengras, berechnet auf Grund der C- und N-Bilanz.

	Hammel I	Hammel II
Frischgraszulage (200 g Trockensubstanz)	423,1 Kal.	439,7 Kal.
Trockengraszulage (200 g Trockensubstanz) . . .	355,2 Kal.	364,6 Kal.
Produktionsausfall	67,9 Kal.	75,1 Kal.
Produktionsausfall in % der Nettoenergie des Frischgrases	16,0 %	17,1 %

Die Verminderung der in Kalorien Fettansatz gemessenen Nettoenergie zufolge erhöhten Wärmeproduktion betrug somit bei der Trokkengrasfütterung 16,0 und 17,1, im Mittel 16,6 %.

Wir untersuchen nunmehr, *ob und wie sich die Ergebnisse unserer Gesamtstoffwechselversuche in die von O. Kellner für Gras und Heu vorgeschlagene Methode der Nährwertbestimmung einordnen lassen.* Dabei stoßen wir auf eine Schwierigkeit, die sich daraus ergibt, daß wir aus apparativen Gründen genötigt waren, für unsere Versuche Hammel zu verwenden, während Kellner seiner Nährwertsbestimmungsmethode Versuche an Ochsen zugrunde legte. Es liegen Beobachtungen vor, die dafür sprechen, daß das Schaf die verdauten Nährstoffe des Futters besser zum Ansatz bringt als das Rind. Leider fehlen brauchbare Angaben, die es ermöglichen würden, die mit der einen Tierart gewonnenen Versuchsergebnisse ohne weiteres auf die bei der anderen Tierart herrschenden Verhältnisse zu übertragen. Immerhin sind wir in der Lage, der früheren angegebenen Problemstellung folgend, einige vergleichende Aussagen über den von uns beim Trockengras festgestellten Produktionsausfall und über die nach der Kellnerschen Wertigkeitstheorie sich ergebende Verminderung der Nährstoffwirkung zu machen.

Wie bereits bemerkt, entspricht nach Kellner der auf 1 kg Gesamtrohfaser bezogene, durch die Wertigkeitsverminderung bedingte Produktionsausfall bei einem Gras mit 4 % und weniger Rohfaser einem Stärkewert von 0,29, beim Heu dagegen einen Stärkewert von 0,58. 0,29 Stärkeeinheiten geben 684 Kal. und 0,58 Stärkeeinheiten 1360 (genau 1369) Kal. Fettansatz. Übertragen wir diese Beziehungen auf die in unserem Versuche vorliegenden Verhältnisse, so bedeutet dies, daß die Überführung von Junggras (Rohfasergehalt des frischen Junggrases weniger als 4 %) in Trockengras eine Verminderung des Nährwertes zur Folge hat, die *je Gramm* verzehrte Rohfaser 1,360—0,684 = *0,676 Kal.* Nettoenergie Fett entspricht. Diese Zahl soll dem durch Wertigkeitsverminderung bedingten Produktionsausfall gegenübergestellt werden, der sich aus unsern Versuchsergebnissen berechnen läßt:

Tabelle 9.

Produktionsausfall je Gramm Rohfaser zufolge Wertigkeitsverminderung bei der Überführung von Frischgras in Trockengras.

In 100 g Trockenmasse	Nettoenergie Fett		Produktionsausfall	Gesamtrohfaser im Trockengras	Produktionsausfall je g Rohfaser
	aus Frischgras	aus Trockengras			
	Kal.	Kal.	Kal.	g	Kal.
Hammel I .	211,6	177,6	34,0	26,55	1,281
Hammel II .	219,8	182,3	37,5	23,55	1,592
Mittel . . .					1,437

Mit 1,437 Kal. liegt die von uns gefundene, auf 1 g Rohfaser bezogene Produktionsverminderung beträchtlich über der aus der Kellnerschen Wertigkeitstheorie abgeleiteten Zahl. Teilweise dürfte die Differenz auf die bereits erwähnte Verschiedenartigkeit des von Kellner und von uns verwendeten Tiermaterials zurückzuführen sein. Anderseits kann nicht bezweifelt werden, daß die als Folge der Grastrocknung auftretende Wertigkeitsverminderung auch bei ein und derselben Tierart je nach Beschaffenheit des Pflanzenmaterials und je nach Art und Verlauf der Trocknung stets mehr oder weniger unterschiedlich zur Geltung kommen wird. Eine Bestätigung hierfür bildet die Feststellung, daß die oben angegebenen Kellnerschen Standardwerte, die zur Berechnung der je 1 g Rohfaser entstehenden Produktionsverminderung dienten, aus einer Anzahl von Einzelbeobachtungen hervorgegangen sind, die teilweise einen recht erheblichen Schwankungsbereich aufweisen.

In Berücksichtigung des eben Gesagten, das erklärlich erscheinen läßt, daß der mit der Grünfuttertrocknung verbundene Verlust an Nettoenergie keine konstante Größe sein kann, glauben wir sagen zu dürfen, daß die in unsern Gesamtstoffwechselversuchen bestimmte Wirkungseinbuße wenigstens der Größenordnung nach mit dem Produktionsausfall, der sich auf Grund der Kellnerschen Wertigkeitslehre berechnen läßt, übereinstimmt. Hieraus darf der weitere Schluß gezogen werden, daß die von Kellner vorgeschlagene, die Rohfaserkonzentration berücksichtigende Grünfutterbewertung brauchbare Ergebnisse liefert und offenbar auch dann anwendbar ist, wenn der Nährwert von Frischgras und der Nährwert des daraus gewonnenen Trockengrases bestimmt werden soll, obgleich in diesem Falle Unterschiede der Rohfaserkonzentration lediglich auf einer Veränderung des Wassergehaltes beruhen. Fraglich bleibt allerdings, ob schon geringe Veränderungen des Wassergehaltes bzw. geringe, durch diese bedingte Änderungen der Rohfaserkonzentration (z. B. verursacht durch bloßes Anwelken) die energetische Wirkung des Grünfutters zu beeinflussen vermögen. Fraglich bleibt auch, ob tatsächlich die Rohfaser für das Zustandekommen der bei der Grastrocknung in Erscheinung tretenden Wertigkeitsverminderung verantwortlich gemacht werden muß, oder ob es nicht eine Veränderung der gesamten Futtersubstanz ist, die den festgestellten Produktionsausfall verursacht. Die Verhältnisse bleiben somit nach wie vor unabgeklärt, wenngleich die Annahme eines besonderen Zusammenhanges zwischen der durch die Grastrocknung bewirkten Wertigkeitsverminderung und der Veränderung des Rohfasergehaltes rechnerisch verwendbar erscheint. Daraus ergibt sich der Hinweis, daß zur Lösung der mit der Wertigkeit von Gras, Heu und Trockengras im Zusammenhang stehenden Fragen noch eine ganze Reihe, in mancherlei Hinsicht nicht einfach durchzuführende Untersuchungen notwendig sind.

6. Schlußfolgerungen.

Auf Grund unserer Untersuchung, im besonderen auf Grund unserer an Schafen mit Frischgras und Trockengras ausgeführten Gesamtstoffwechselversuche gelangen wir zu folgenden Schlußfolgerungen:

1. *Nicht zerkleinertes Trockengras,* an Wiederkäuer verfüttert, gibt *eine höhere thermische Energie,* somit *eine niedrigere Nettoenergie* als das ihm entsprechende Frischgras. Die Grünfuttertrocknung verursacht demnach stets eine *Wertigkeitsverminderung,* selbst dann, wenn der Trocknungsvorgang die Zusammensetzung und Verdaulichkeit der im frischen Ausgangsmaterial enthaltenen Trockenmasse nicht verändert. Gemessen an der Nettoenergie des Frischgrases ergab sich aus unsern Versuchen ein Produktionsausfall von 16,0 und 17,1, im Mittel von 16,6 %.
2. Es ist anzunehmen, daß der bei der Trockengrasfütterung beobachtete Anstieg der thermischen Energie und der damit verbundene Produktionsausfall zur Hauptsache durch eine *Mehrbelastung des Kauvorganges* verursacht wurde. Auch darf angenommen werden, daß diese Mehrbelastung weitgehend aufgehoben worden wäre, wenn wir das Trockengras in *gemahlenem Zustande* verfüttert hätten.
3. Indem wir den beobachteten Produktionsausfall auf 1 g verzehrte Rohfaser umrechneten, erhielten wir Werte, die wenigstens der Größenordnung nach die Zahl, die sich aus der Kellnerschen Wertigkeitstheorie ableiten läßt, zu bestätigen scheinen. Aus diesem Grunde glauben wir empfehlen zu dürfen, die von O. Kellner für Grünfutter und Heu vorgeschlagene, nach dem Rohfasergehalt abgestufte Bewertungsmethode beizubehalten und sie auch beim künstlich getrockneten Gras zur Anwendung zu bringen. Wir sehen in unsern Untersuchungsergebnissen auch eine Bestätigung dafür, daß der eingangs erwähnte, von G. Wiegner auf die Dürrfutterbereitung angewendete Begriff: « Verlust durch Wertigkeitsverminderung » begründet ist.

Literaturnachweise.

1. G. Wiegner: Heubereitung und Silage, Vortrag gehalten am III. Grünland-Kongreß, Zürich 1934.
2. O. Kellner und G. Fingerling: Grundzüge der Fütterungslehre, 9. Aufl., Berlin 1940.
3. H. Møllgaard: Grundzüge der Ernährungsphysiologie der Haustiere, Berlin 1931.
4. N. Zuntz und O. Hagemann: Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes. Ldw. Jahrb., **27,** III, 1898.

5. J. Huth: Beitrag zur Kenntnis der Lehre vom Stoffwechsel des Wiederkäuers. Diss. Bonn 1902.
6. W. Ustjanzew: Die energetischen Äquivalente der Verdauungsarbeit bei den Wiederkäuern (Schafe). Biochem. Zeitschr. **37**, 457, 1911.
7. O. Kellner: Die Ernährung der landwirtschaftlichen Nutztiere. 6. Aufl., S. 162 ff., Berlin 1912.
8. G. Fingerling und Mitarb.: Der Stärkewert der Maissilage. Landw. Versuchsstationen **113**, 103—115, 1931.
9. O. Heinzl: Der Einfluß der künstlichen Trocknung auf die energetische Wirkung von Junggras, festgestellt durch Gesamtstoffwechselversuche am Schaf. Diss. ETH, Zürich 1943.
10. G. Wiegner und F. von Grünigen: Einige grundsätzliche Betrachtungen und Versuche zur physiologischen Beurteilung der Futtermittel auf Grund des Fett- und Fleischansatzes am Tiere. Arbeiten der Deutschen Gesellschaft für Züchtungskunde, Heft 61.