LANDBAUFORSCHUNG VÖLKENRODE HEFT 3/1999 SEITE 123 - 135

Untersuchungen zur Verwendung der Kotstickstoff-Methode für die Schätzung des energetischen Futterwertes von Weidegras und zum Nachweis der selektiven Futteraufnahme auf der Weide

LUDWIG SCHMIDT, FRIEDRICH WEISSBACH, TATJANA HOPPE
und SIEGFRIED KUHLA[1)]

Institut für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft
und
[1)] FB Ernährungsphysiologie "Oskar Kellner" des FBN Dummerstorf

1 Einleitung

Die Beurteilung der Futterqualität ist auf Weiden problematisch, weil Weidetiere ihr Futter selektieren können. Sie tun das in der Regel um so mehr, je mehr Futter ihnen angeboten wird und je heterogener die Pflanzenbestände sind. Auf extensiv bewirtschafteten Weiden mit zeitweise reichlichem Futterangebot und dann oft überständigem Futter ist eher mit selektivem Futterverzehr zu rechnen als auf Intensivweiden mit futterqualitätsorientierter Weideführung. Die Untersuchung von Mähproben aus Weidefutterbeständen lässt deshalb nicht immer Rückschlüsse auf die Qualität des tatsächlich aufgenommenen Futters zu.

Obwohl dieses Problem schon lange bekannt ist, gibt es über das mögliche Ausmass der Selektion bzw. die Qualität des verzehrten im Vergleich zum angebotenen Futter und die möglichen Konsequenzen für das Weidemanagement noch relativ wenig Ergebnisse, offenbar aufgrund methodischer Schwierigkeiten bei der Gewinnung von Proben für das verzehrte Futter. Bisher ist dafür verschiedentlich die aufwendige und wenig tierfreundliche *Oesophagus*-Fistel-Technik (Torell, 1954) angewendet worden, bei der Proben vom *in situ* abgeschluckten Futter gewonnen und danach *in vitro* untersucht werden. Eine andere Möglichkeit ist die weniger exakte Handpflück-Methode, bei der jeweils an den Stellen der Weide, an denen die Tiere gerade beim Grasen beobachtet wurden, mit der Hand Proben gepflückt werden. Zur Ermittlung der *in vivo*-Verdaulichkeit des verzehrten Futters ohne den auf der Weide kaum möglichen Bilanzversuch wird seit langem auch die Verwendung von Markermethoden empfohlen (Meijs, 1981). Benutzt werden dafür interne, vom Tier ausgeschiedene Markersubstanzen, deren Gehalt im Kot von Wiederkäuern mit der Verdaulichkeit des Futters korreliert. Mit Hilfe von Schätzgleichungen, die aus Ergebnissen von im Stall durchgeführten Bilanzversuchen abgeleitet werden und die Beziehungen zwischen der Markerkonzentration im Kot und der *in vivo*-Verdaulichkeit widerspiegeln, lässt sich die Verdaulichkeit des aufgenommenen Futters schätzen. Der bisher am häufigsten verwendete und auch von uns benutzte interne Marker ist der Stickstoffgehalt des Kotes.

In der vorliegenden Arbeit wird über die Ableitung, Validierung und Anwendung verbesserter Gleichungen zur Schätzung des Futterwertes nach der Kotstickstoff-Methode berichtet. Dabei ist nicht nur, wie bisher üblich, die Verdaulichkeit der organischen Substanz, sondern auch die Energiekonzentration in Form der Umsetzbaren Energie (ME) und der Nettoenergie Laktation (NEL) geschätzt worden. Zunächst war der Nachweis zu führen, dass die mit der Kotstickstoff-Methode erzielten Ergebnisse mit denen aus Bilanzversuchen an Schafen und auch mit einer zuverlässigen Methode der Futterwertschätzung auf der Basis der Untersuchung von Futterproben *in vitro* hinreichend übereinstimmen. Bei einer solchen allseitigen Übereinstimmung kann, identische Futterproben vorausgesetzt, mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass auch auf der Weide mit der Kotstickstoff-Methode zutreffende, den Futterwert des verzehrten und möglicherweise selektierten Futters richtig widerspiegelnde Ergebnisse erzielt werden.

Im Rahmen von mehrjährigen Weideversuchen mit Jung- und Milchrindern wurde dann die Kotstickstoff-Methode zur Schätzung des Futterwertes von Weidefutter erprobt. Das bot die Gelegenheit, bisherige Erfahrungen mit dieser Methode zu testen, die Methode an neuen, z. T. *in vivo* geprüften Proben unter den Bedingungen der Weidehaltung zu kalibrieren und evtl. weiterzuentwickeln. Außerdem sollte die Kotstickstoff-Methode in Verbindung mit einer geeigneten *in vitro*-Methode zur Untersuchung des Problems der selektiven Futteraufnahme auf der Weide und zu deren Auswirkungen auf die möglichen Leistungen der Weidetiere genutzt werden.

2 Kenntnisstand

Die Beziehungen zwischen der Verdaulichkeit des Futters und dem Stickstoffgehalt des Kotes sind spätestens seit den Arbeiten von Lancester (1949 a und b, 1954) bekannt. Der mit dem Kot ausgeschiedene Stickstoff stammt aus unverdaulichem Mikrobenprotein, endogenen Ausscheidungen und zellwandgebundenem unverdaulichen Futterprotein. Je Kilogramm verzehrter Futtertrockenmasse werden in der Regel 5 bis 7 g Stickstoff ausgeschieden. Diese Menge ist relativ konstant (Homb und Breirem, 1952, Weissbach et al., 1991), sofern nicht durch Behandlungseffekte, wie z. B. eine Erhitzung des Futters, oder bestimmte Chemikalien bzw. spezielle Futterinhaltsstoffe zusätzlich Stickstoff in unverdauliche Verbindungen überführt wird. Das ist die Grundlage für den Zusammenhang zwischen Kotstickstoffgehalt und Verdaulichkeit, weil sich eine gleichbleibende Stickstoffausscheidung bei niedriger Verdaulichkeit auf eine hohe und bei hoher Verdau-

lichkeit auf eine niedrige Trockenmasseausscheidung verteilt, so dass sich dementsprechend bei niedriger Verdaulichkeit niedrige und bei hoher Verdaulichkeit hohe Stickstoffgehalte im Kot ergeben. Der Trend zu höheren Stickstoffgehalten im Kot wird bei Futtermitteln mit hoher Verdaulichkeit bzw. hohem energetischen Futterwert durch einen höheren Anteil an unverdaulichem Mikrobenprotein verstärkt, der aus einer grösseren mikrobiellen Proteinsynthese im Pansen resultiert.

Es gibt eine Vielzahl von Untersuchungen über die Nutzung des Kotstickstoffgehaltes bei Wiederkäuern als internen Marker für die Schätzung der Verdaulichkeit. In vielen dieser Arbeiten werden Regressionsgleichungen angegeben, mit denen anhand des Kotstickstoffgehaltes, meistens bezogen auf die organische Substanz des Kotes, die Verdaulichkeit oder das Futter-Kot-Verhältnis der organischen Substanz geschätzt werden können. Die Erfahrungen, die im Verlaufe von fünf Jahrzehnten mit dieser Methode gemacht wurden, sind unterschiedlich. Während z. B. Bartiaux-Thill und Oger (1986) sowie Peyraud (1998) über sehr gute Ergebnisse berichteten, schlussfolgerten Armstrong et al. (1989), dass die Beziehungen zwischen dem Kotstickstoffgehalt und der Verdaulichkeit nicht eng genug seien und empfehlen deshalb diese Methode nicht. Die meisten Autoren stellen zwar den Zusammenhang zwischen Kotstickstoffgehalt und Verdaulichkeit nicht grundsätzlich in Frage, verweisen aber teilweise auf störende Einflüsse, die zu erhöhten Stickstoffausscheidungen im Kot führen, wodurch die Verdaulichkeit falsch eingeschätzt würde. Genannt werden z. B. Einflüsse der Pflanzenart. Nach Hobbs (1987) könnte bei Verfütterung von einigen Dikotyledonen aufgrund ihres Tanningehaltes mehr Stickstoff ausgeschieden werden als z. B. beim Verzehr von Gräsern. Auch Unterschiede in der Stickstoffdüngung und damit Unterschiede im Proteingehalt des Futters werden als Ursache für abweichende Ergebnisse diskutiert (Homb und Breirem, 1952, Greenhalgh et al., 1960). Es kommen auch Abweichungen zwischen den Tieren bzw. Tierarten in Frage (Corbett, 1960), obwohl Langlands et al. (1963) sowie Thomas und Campling (1976) insgesamt keine signifikanten Differenzen im Kotstickstoffgehalt zwischen Schafen und Ochsen bzw. Schafen und trockenstehenden Kühen fanden, was auch mit eigenen Erfahrungen beim Vergleich von Schafen und Jungrindern übereinstimmt (Schmidt, 1993). Es sind auch jahreszeitliche Schwankungen in den Beziehungen zwischen dem Kotstickstoffgehalt und der Verdaulichkeit des Futters beobachtet worden, mit denen verschiedentlich aufgetretene Unterschiede zwischen dem 1. Aufwuchs und Folgeaufwüchsen erklärt werden könnten (Homb und Breirem, 1952; Minson und Raymond, 1958, Greenhalgh und Corbett, 1960, Minson und Kemp, 1961, Lambourne und Reardon, 1962, Peyraud, 1998). Erörtert wird ferner die Frage, ob die für Mähfutter und Stallfütterung abgeleiteten Schätzgleichungen auch auf Weidefutter übertragbar sind. Langlands (1967) bezweifelt das mit dem Hinweis auf die mögliche Futterselektion bei Weidehaltung. Zur Begründung dieses Standpunktes werden häufig die Arbeiten von Lambourne und Reardon (1962) sowie von Pearce et al. (1962) zitiert, in denen dargestellt wird, dass die Beziehungen zwischen Kotstickstoffgehalt und Verdaulichkeit bei Blatt- und Stengelfraktionen bzw. bei oberen und unteren Pflanzenteilen unterschiedlich sein sollen, was bei selektivem Fressen und Verwendung der für Gesamtpflanzen abgeleiteten Schätzgleichungen zu Fehlern in der Verdaulichkeitsschätzung führen könnte. Wallace und van Dyne (1970), die von männlichen Jungrindern aufgenommenes Futter über *Oesophagus*-Fisteln sammelten und anschließend im klassischen Verdauungsversuch an Schafe verfütterten, kamen dagegen zu dem Schluss, dass die aus Ergebnissen von im Stall gefütterten Schafen abgeleiteten Schätzgleichungen auch für weidende Rinder verwendet werden können. Eine andere Frage ist, ob auf der Weide evtl. besondere Bedingungen vorliegen, die nicht direkt mit der Futterqualität zu tun haben, sich aber trotzdem auf die Stickstoffausscheidung mit dem Kot und damit auf die Verdaulichkeitsschätzung auswirken könnten. Hier wäre die Höhe des Futterverzehrs zu nennen. Während bei Verdauungsversuchen im Stall restriktiv gefüttert wird, steht den Tieren auf der Weide das Futter ad lib. zur Verfügung, was in der Regel zu einer höheren Futteraufnahme führt. In der Literatur gibt es auch zu diesem Problem unterschiedliche Auffassungen. Während Minson und Raymond (1958), Langlands (1969) sowie Lukas et al. (1999) der Meinung sind, dass die Futtermenge einen Einfluss haben könnte, konnten dies Hutton und Jury (1964) beim Vergleich von ad lib. und restriktiver Fütterung prinzipiell nicht bestätigen, wenn man davon absieht, dass die Schätzgenauigkeit bei ad lib. Fütterung etwas schlechter war. Auch eigene Untersuchungen (Schmidt, 1992 und 1993) ergaben bisher keine Anhaltspunkte für einen Einfluss der Verzehrshöhe. Als ganz entscheidend für die Brauchbarkeit und Genauigkeit der Kotstickstoff-Methode hat sich die Wahl des mathematischen Modells, d. h. der Regressionsfunktion zur Beschreibung des Zusammenhanges zwischen Kotstickstoffgehalt und Verdaulichkeit des Futters erwiesen (Corbett, 1960, Meijs, 1981). In vielen Fällen ist versucht worden, lineare Regressionsgleichungen dafür zu verwenden (Raymond et al., 1954, Greenhalgh und Corbett, 1960, Minsen und Kemp, 1961, Langlands et al., 1963, Greenhalgh et al., 1966, Armstrong et al., 1989). Teilweise wurden aber auch Polynome 2. Grades oder gar logarithmische Funktionen benutzt (Kennedy et al.,1959, Greenhalgh et al., 1960, Bartiaux-Thill und Oger, 1986). Im Rahmen früherer Untersuchungen (Schmidt, 1992) kamen wir zu dem Ergebnis, dass eine Hyperbelfunktion am besten dafür geeignet ist, weil sich mit diesem mathematischen Modell der beschriebene sachlogische Zusammenhang am zutreffendsten erfassen lässt. Auch andere Autoren benutzten inzwischen die hyperbolische Funktion

zur Verdaulichkeitsschätzung nach dem Kotstickstoffgehalt, wie z. B. Wehausen (1995) und Peyraud (1998).

Über die erreichbare Schätzgenauigkeit gibt es unterschiedliche Meinungen. Teilweise wird die Meinung vertreten, dass allgemeingültige Gleichungen, die sog. "generell regressions", wegen zu hoher Schätzfehler nicht zu empfehlen sind. Die hohen Schätzfehler werden auf die oben genannten Störfaktoren zurückgeführt. In diesen Fällen versucht man das Problem durch speziell auf besondere Bedingungen zugeschnittene "local regressions" zu lösen. Minson und Kemp (1961) leiteten sogar für jeden Monat der Vegetationsperiode eine besondere Schätzgleichung ab bzw. ergänzten die lineare Regression durch ein Korrekturglied mit Angaben zum jeweiligen Monat, um den jahreszeitlichen Einfluss auszuschalten. Fraglich erscheint allerdings, ob die z. T. zu großen Schätzfehler wirklich immer durch futter- bzw. tierspezifische oder jahreszeitlich-klimatische Einflüsse bedingt sind, oder nicht vielmehr auch durch ungeeignete Schätzfunktionen. Immerhin kommt Peraud (1998) mit einer aus 70 Versuchen von verschiedenen Autoren aus unterschiedlichen Ländern abgeleiteten allgemeinen Schätzgleichung auf der Basis der Hyperbelfunktion auf einen sehr geringen Schätzfehler von nur 1,7 Verdaulichkeitseinheiten. In eigenen Versuchen (Schmidt, 1992 und 1993 sowie Schmidt und Jentsch, 1994) wurden mit allgemeingültigen Schätzgleichungen nach dem gleichen Funktionstyp Schätzfehler zwischen 2 und 3 Verdaulichkeitseinheiten ermittelt.

3 Material und Methoden

In den Jahren von 1992 bis 1997 sind vom damaligen Institut für Grünland- und Futterpflanzenforschung der FAL gemeinsam mit dem Institut für Tierzucht und Tierverhalten in dessen Institutsteil Trenthorst-Wulmenau (nördliches Niedersachsen) umfangreiche Weideversuche zu verschiedenen Fragestellungen durchgeführt worden (Schmidt et al., 1999). Bei der Durchführung dieser Weideversuche ist die Möglichkeit genutzt worden, 33 Futterpartien jeweils unmittelbar vor dem Auftrieb der Weidetiere für Bilanzversuche mit Schafen zur Bestimmung der *in vivo*-Verdaulichkeit und des energetischen Futterwertes zu ernten. Die Gewinnung dieser Futterpartien erfolgte über mehrere Jahre hinweg und erstreckte sich auf die gesamte Weideperiode zwischen Mai und Oktober. Von den 33 Futterpartien entfielen 8 auf Jungviehweiden mit überwiegend überständigen Grasbeständen und 25 auf Milchviehweiden mit vorwiegend jungem Weidegras. Das Gras der Milchviehweiden stammte teilweise von Koppeln, die mit 260 kg N/ha gedüngt waren, z. T. aber auch von Weideflächen ohne jede Stickstoffdüngung (Hoppe, 1995, Hoppe et al., 1996). Auf ersteren befanden sich fast reine Grasbestände mit *Lolium perenne* als Hauptbestandsbildner, während auf den nicht mit Stickstoff gedüngten Flächen neben Gras bis zu 25 % Trockenmasseanteil *Trifolium repens* vorkam. Die gemähten Grasproben wurden gehäckselt und in genau eingewogenen Mahlzeitenportionen bis zur Verfütterung an je 4 ausgewachsene Hammel eingefrostet. Die Bilanzversuche mit Schafen sind nach den Richtlinien der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (1991) teils im Institut für Tierernährung und teils im damaligen Institut für Grünland- und Futterpflanzenforschung der FAL durchgeführt worden. Ihre Ergebnisse dienten der Ermittlung von Beziehungen zwischen dem Stickstoffgehalt in der organischen Substanz des Schafkotes und der am Schaf bestimmten Verdaulichkeit der organischen Substanz (DOM) des Weidefutters. Mit Hilfe dieser Beziehungen sind auf der Basis der Hyperbelfunktion Schätzgleichungen zur Schätzung der Verdaulichkeit der organischen Substanz des Weidefutters abgeleitet worden. Darüber hinaus wurde geprüft, ob sich aus der so geschätzten Verdaulichkeit und dem Rohaschegehalt in der Trockenmasse des Kotes auch die Kennwerte des energetischen Futterwertes, die Umsetzbare Energie (ME) und die Nettoenergie Laktation (NEL), schätzen lassen.

Auf den Weiden sind jeweils 3 Tage nach der Ernte der Futterpartien für die Verdauungsversuche bzw. nach dem Auftrieb Kotproben von den weidenden Rindern genommen und ebenfalls auf ihren Stickstoff- und Rohaschegehalt untersucht worden. Damit sollte u. a. festgestellt werden, inwieweit die Stickstoffgehalte der Schaf- und Rinderkotproben bei weitgehend identischem Weidefutter übereinstimmen bzw. inwieweit aus Versuchen mit Schafen abgeleitete Schätzgleichungen auf Rinder übertragbar sind. Voraussetzung für einen solchen Vergleich ist, dass es sich um junges, homogenes Weidefutter handelt, das von den weidenden Rindern nicht selektiert wird. Deshalb konnten in diesen Vergleich nicht alle *in vivo* geprüften Futterpartien einbezogen werden. Mit der dreitägigen Zeitdifferenz zwischen Futter- und Kotprobenahme auf der Weide wurde die Zeit für die Passage des Futters durch den Verdauungstrakt berücksichtigt. Die untersuchten Kotproben von der Weide waren stets Mischproben aus Proben von mehreren Tieren, die bei Kühen aus frisch abgesetzten Kotfladen auf der Koppel und bei Jungrindern meistens beim Wiegen der Tiere rektal entnommen worden sind.

Die anhand aller *in vivo* an Schafen geprüften Weidegrasproben regressiv abgeleiteten Schätzgleichungen wurden zunächst durch Anpassungskontrolle der errechneten Schätzwerte an die *in vivo* experimentell ermittelten Messwerte validiert. Darüber hinaus konnten diese Schätzgleichungen an einem unabhängigen Material von 36 *in vivo* geprüften Feldgrasproben aus dem Forschungsbereich Ernährungsphysiologie "Oskar Kellner" in Rostock validiert werden. Schließlich wurden die nach der Kotstickstoff-Methode erhaltenen Schätzergebnisse auch noch mit entsprechenden Ergebnissen einer enzymatischen *in vitro*-Methode auf der Basis der Cellulase-Methode nach De Boever et al. (1993) und eines Schätzmodells von Weissbach et al. (1999) verglichen. Mit dieser enzymatischen Methode (im folgenden Cellulase-Methode

genannt) sind sowohl die 33 in Trenthorst-Wulmenau gewonnenen Weidegras- als auch die 36 Feldgraspartien aus Rostock untersucht worden.

Die für die Kotstickstoff-Methode abgeleiteten Schätzgleichungen sind in Verbindung mit der Cellulase-Methode für Untersuchungen zur selektiven Futteraufnahme auf der Weide eingesetzt und erprobt worden, wobei davon ausgegangen wurde, dass die Futterwertdifferenzen zwischen dem auf der Weide angebotenen und dem tatsächlich verzehrten Futter als Maßstab für das Ausmaß der Selektion gelten können. Mit Hilfe der Cellulase-Methode wurde der Futterwert des angebotenen und mit der Kotstickstoff-Methode der Futterwert des aufgenommenen Futters geschätzt.

In der vorliegenden Arbeit werden Ergebnisse aus fünfjährigen Jungviehweideversuchen auf extensiv bewirtschafteten Weiden dargestellt, die zwischen 1993 und 1997 durchgeführt wurden. Diese Versuche waren Problemen der Landschaftspflege gewidmet. Ziel der Versuche war die Prüfung der Frage, ob überschüssiges Grünland durch extensive Beweidung bei minimalem Pflege- und Ressourcenaufwand und noch akzeptablen tierischen Leistungen ökonomisch vorteilhaft genutzt werden kann.

Für diese Versuche standen jeweils 4 Koppeln mit einer Gesamtfläche von 12 bis 15 ha zur Verfügung, die in der Regel als Standweiden bewirtschaftet wurden. Lediglich 1995 und 1996 sind je zwei Koppeln auch als Mähstandweide genutzt worden. Die Versuche waren durch vollständigen Verzicht auf mineralische und organische Stickstoffdüngung, niedrigen Tierbesatz (1 bis 2 GV/ha) und stets gleichbleibende Tierzahl über die gesamte Weideperiode hinweg (Verzicht auf Anpassung des Tierbesatzes an den Ertragsverlauf) charakterisiert. Als Weidetiere wurden Färsen und Mastochsen verschiedener Rassen verwendet. Die durchschnittlichen Lebendmassen pro Tier lagen zwischen 370 und 580 kg, je nach Rasse und Alter.

Die Versuchsfrage war, inwieweit der bei gleichbleibendem niedrigen Tierbesatz zwangsläufig im Frühjahr auftretende Futterüberschuss und der evtl. im Spätsommer oder Herbst zu erwartende Futtermangel bewältigt und dabei auch noch eine ausreichende Futterqualität erreicht werden können. Dabei musste außerdem der Tierbesatz unter den Gesichtspunkten der Landschaftspflege so bemessen sein, dass die Koppeln bis zum Abtrieb der Tiere im Herbst weitgehend abgeweidet waren. Infolge des Überangebotes an Futter im Frühjahr war mit der Herausbildung mehr oder weniger großer Anteile an überständigem Gras zu rechnen, was mit hoher Sicherheit eine selektive Futteraufnahme erwarten ließ. Vom Ausmaß der Futterselektion hing wiederum ab, inwieweit sich die Weidetiere bei fortschreitender Verschlechterung des insgesamt auf der Weide angebotenen Futters bedarfsgerecht mit Energie und Nährstoffen versorgen konnten und welche Zunahmen sie erreichen würden.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Ableitung von Schätzgleichungen

Die Beziehung zwischen dem Stickstoffgehalt in der organischen Substanz (OM) des Kotes und der *in vivo*-Verdaulichkeit der organischen Substanz (DOM) des Weidefutters, die zwischen 66,7 und 84,6 % variierte, ist in der **Abbildung 1** dargestellt.

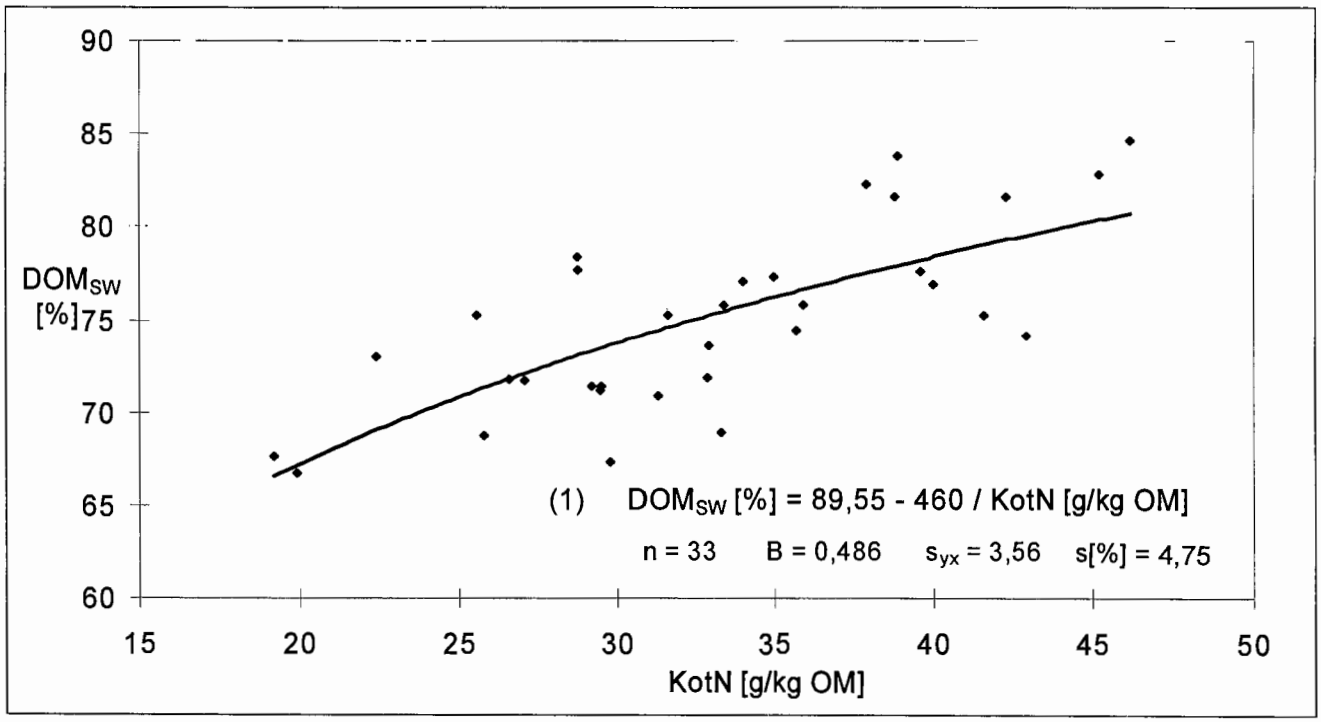

Abbildung 1: Beziehungen zwischen dem Stickstoffgehalt des Kotes und der Verdaulichkeit der organischen Substanz (DOM)

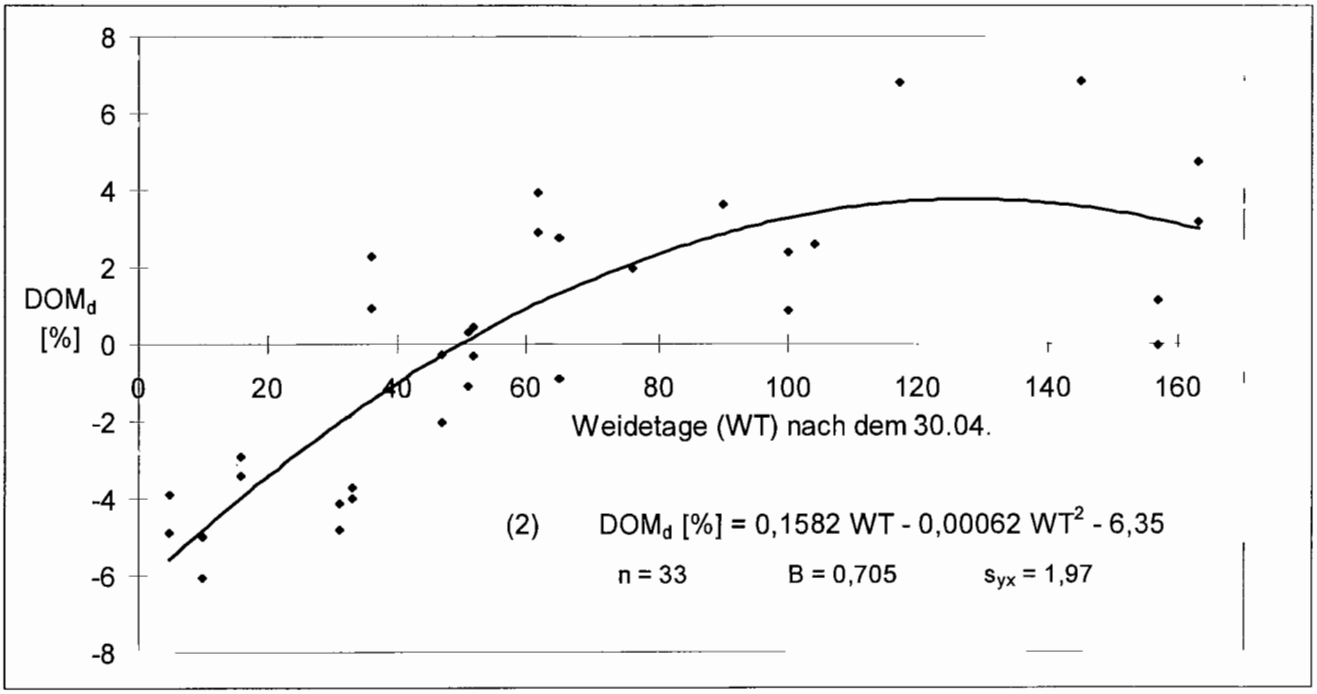

Abbildung 2: Abweichungen der geschätzten von der *in vivo* DOM (DOM_d [%]) in Abhängigkeit von der Anzahl der Weidetage (WT) nach dem 30.04.

Die abgeleitete Schätzgleichung (1) zur Schätzung der Verdaulichkeit der organischen Substanz (DOM_{SW}) mit den statistischen Parametern Bestimmtheitsmaß sowie absoluter (s_{yx}) und relativer (s[%]) Reststreuung der Regression sind in der Abbildung angegeben.

Verglichen mit Schätzgleichungen, die aus früheren Untersuchungen abgeleitet wurden (Schmidt, 1992), ist die Reststandardabweichung (s_{yx}) mit etwa 3,6 Verdaulichkeitseinheiten relativ hoch. Eine Analyse der Schätzfehler zeigte, dass mit Hilfe der Gleichung der Futterwert in den Sommer- und Herbstmonaten tendenziell überschätzt wird. Es wurde deshalb geprüft, ob zwischen den Abweichungen der Schätzwerte von den in Bilanzversuchen mit Schafen gefundenen Messwerten und der Anzahl der Weidetage nach dem 30.04. Beziehungen bestehen. Wie die **Abbildung 2** zeigt, ist das tatsächlich der Fall.

Mit einem Polynom 2. Grades wurde die in der Abbildung 2 dargestellte signifikante Beziehung (Gleichung 2) zwischen den Differenzen (DOM_d) von Schätzwerten und Messwerten (SW - MW) und der Anzahl der Weidetage (WT) gefunden. Zur Erfassung des Einflusses der Jahreszeit ist Gleichung (2) als Korrekturglied in die Gleichung (1) eingefügt worden, was zu der verbesserten Schätzgleichung (3) führte. Durch die Berücksichtigung des jahreszeitlichen Einflusses konnte eine erhebliche Verbesserung der Schätzgenauigkeit erreicht werden, was in dem sehr niedrigen Gesamtschätzfehler (s_G) der Schätzgleichung (3) zum Ausdruck kommt. Dieser ist definiert als die Wurzel aus der durch (n - 1) geteilten Summe der Abweichungsquadrate zwischen Schätz- und Messwerten. Die mit dieser Gleichung erreichte sehr gute Übereinstimmung zwischen Schätzwerten und *in vivo* bestimmten Messwerten zeigt sich auch bei der Gegenüberstellung beider Parameter in einem Validierungsdiagramm (**Abbildung 3,** Gleichung 4).

Damit können auch die in der Literatur mitgeteilten Befunde über jahreszeitliche Einflüsse bestätigt werden (siehe Kapitel 2). In unseren früheren Untersuchungen (Schmidt, 1992) wurde diese Variationsursache nicht erkannt, weil damals fast ausschliesslich Proben aus Feldgrasbeständen vom 1. Aufwuchs untersucht worden waren. Bei den jetzt vorliegenden Versuchen variiert die Anzahl der Weidetage nach dem 30.04. zwischen 5 und 163, mit einem Mittel von 66. Inwieweit dieser jahreszeitliche Einfluss geographischen bzw. klimatischen Besonderheiten unterliegt, müssen weitere Untersuchungen zeigen.

Aus den vorliegenden Ergebnissen liess sich ferner ableiten, dass allein über Untersuchungen am Kot auch die Energiekonzentration in Form der ME und der NEL geschätzt werden kann, und zwar über multiple lineare Regressionsgleichungen mit den beiden unabhängigen Variablen DOM und Rohaschegehalt des Kotes (XA_{Kot} [g/kg TM]).

$$\textbf{(3)} \quad \mathbf{DOM\ [\%] = 95{,}90 - \frac{460}{N_{Kot}\ [g/kg\ OM]} - 0{,}1582\ WT + 0{,}00062\ WT^2}$$

n = 33 s_G = 1,90 s [%] = 2,5

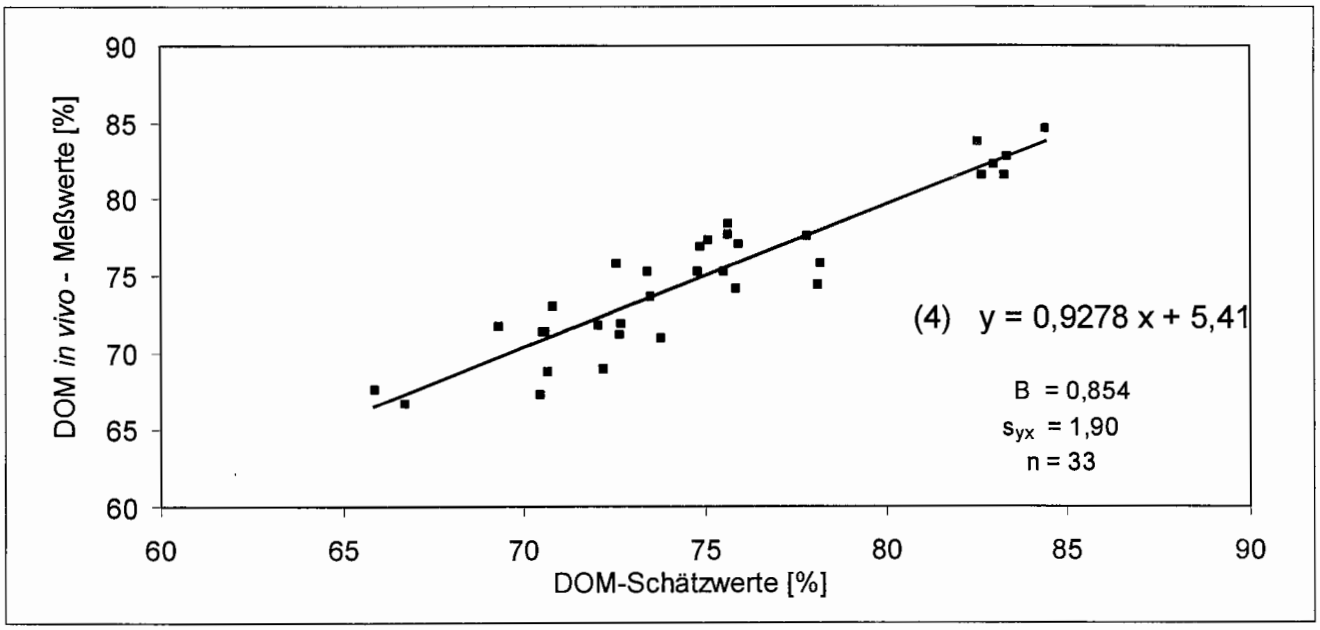

Abbildung 3: Beziehung zwischen der mit der KotN-Methode geschätzten und der *in vivo* bestimmten Verdaulichkeit der organischen Substanz (DOM)

(5) **ME [MJ/kg TM] = 0,1520 DOM [%] - 0,0029 XA_{Kot} [g/kg TM] - 0,46**
n = 33 B = 0,976 s_{yx} = 0,12 s [%] = 1,2

(6) **NEL [MJ/kg TM] = 0,1108 DOM [%] - 0,0018 XA_{Kot} [g/kg TM] - 1,725**
n = 33 B = 0,981 s_{yx} = 0,075 s [%] = 1,2

Zur Ableitung der Gleichungen (5) für ME und (6) für NEL sind die *in vivo* gemessenen DOM-Werte verwendet worden. Die angegebenen Reststandardabweichungen schließen deshalb zunächst den Fehler, der durch die Schätzung von DOM über die Kotstickstoff-Methode entsteht, nicht mit ein. Wie die statistischen Parameter zeigen, bestehen jedoch so enge Beziehungen zwischen der Energiekonzentration und der Verdaulichkeit der organischen Substanz in Verbindung mit dem Rohaschegehalt des Kotes, dass anhand der über den Stickstoffgehalt des Kotes geschätzten Verdaulichkeit und des Rohaschegehaltes im Kot auch die Energiekonzentration des verzehrten Futters mit sehr geringem Schätzfehler ermittelt werden kann. Nach dem Fehlerfortpflanzungsgesetz ist ein Gesamtfehler für ME und NEL von etwa 2,8 % zu erwarten.

4.2 Validierung der Schätzgleichungen

Die Validierung der Schätzgleichungen (3), (5) und (6) erfolgte zunächst anhand der 33 *in vivo* an Schafen geprüften Weidegrasproben. Für die Anwendung der Kotstickstoff-Methode wurden die in den Verdauungsversuchen mit Schafen bestimmten Rohasche- und Stickstoffgehalte des Kotes verwendet. Damit ist sichergestellt, dass sich die aus den Bilanzversuchen und die nach der Kotstickstoff-Methode erhaltenen Ergebnisse zum Futterwert auf dieselben Analysendaten beziehen und damit voll vergleichbar sind. In den Methodenvergleich wurde darüber hinaus auch die Cellulase-Methode einbezogen, mit der das in den Verdauungsversuchen eingesetzte Futter ebenfalls untersucht worden war. Nach dieser Methode wird die Verdaulichkeit der organischen Substanz anhand des Gehaltes der Futtermittel an enzymunlöslicher organischer Substanz (EULOS) und Rohasche (XA) geschätzt. Zur Schätzung des Gehaltes an Umsetzbarer Energie (ME) wird dazu noch der Rohproteingehalt (XP) benötigt (Weissbach et al., 1999), während sich der Gehalt an Nettoenergie Laktation nach einem vereinfachten Berechnungsverfahren (Weissbach et al., 1996) aus der geschätzten Umsetzbaren Energie und dem Rohaschegehalt des Futters ergibt.

Wie aus **Tabelle 1** hervorgeht, stimmen sowohl die aus der Untersuchung des Kotes mittels Kotstickstoff-Methode erhaltenen Schätzwerte als auch die Ergebnisse der Futteruntersuchung nach der Cellulase-Methode gut mit den *in vivo*-Werten überein. Das ist für die Kotstickstoff-Methode nicht unerwartet, da die geprüften Schätzgleichungen in diesem Falle nur einer abhängigen Validierung (Anpassungskontrolle) unterzogen wurden, d. h. sie wurden an dem gleichen Probenmaterial getestet, aus dem sie abgeleitet worden waren. Unabhängige Weidegrasproben standen für diese Validierung nicht zur Verfügung. Demgegenüber handelt es sich bei der Untersuchung des Futters nach der Cellulase-Methode um eine unabhängige Validierung der verwendeten Schätzgleichungen.

Tabelle 1: Schätzung des Futterwertes von 33 Weidegrasproben anhand von Futter- oder Kotuntersuchungen Schätzwerte im Vergleich zu den im Verdauungsversuch an Schafen gewonnenen Messwerten

Futterwert - parameter	Untersuchte Proben	Mittelwerte			Schätzfehler	
		Meßwerte (MW) *in vivo*	Schätzwerte (SW)	Differenzen (SW - MW)	s_G bzw. s_{yx}	s [%]
DOM [%]	Futter 1)	75,0	75,6	0,6	2,2	**3,0**
	Kot 2)	75,0	75,0	0	1,9	**2,5**
ME [MJ/kg TM]	Futter 1)	10,35	10,36	0,01	0,28	**2,7**
	Kot 2)	10,35	10,35	0	0,27	**2,6**
NEL [MJ/kg TM]	Futter 1)	6,22	6,25	0,03	0,22	**3,5**
	Kot 2)	6,22	6,22	0	0,19	**3,1**

1) Futter nach Cellulase-Methode untersucht, unabhängige Validierung, Schätzfehler (s_G) als Gesamtschätzfehler
2) Kot nach KotN-Methode untersucht, abhängige Validierung, Schätzfehler (s_{yx}) als Reststreuung der Regression

Die ermittelten absoluten und relativen Schätzfehler sind bei beiden Methoden gering. Der etwas kleinere Fehler der Kotstickstoff-Methode dürfte auf die nur abhängige Validierung zurückzuführen sein. Aber selbst unter Berücksichtigung dieses Umstandes kann man sowohl der Cellulase-Methode als auch der Kotstickstoff-Methode eine hohe Schätzgenauigkeit bescheinigen und schlussfolgern, dass die Untersuchung des Weidefutters nach beiden Methoden zum gleichen Ergebnis führt. Letzteres ist für die Ermittlung der selektiven Futteraufnahme auf der Weide von entscheidender Bedeutung (siehe Kapitel 4.3.).

Die Möglichkeit einer vergleichbaren unabhängigen Validierung beider Methoden ergab sich durch die Untersuchung von 36 in vivo geprüften Feldggrasproben aus Rostock. Neben dem direkten Methodenvergleich interessierte dabei die Frage, ob diese Methoden für Feldgras in gleicher Weise geeignet sind wie für Weidefutter. Die *in vivo*-Verdaulichkeit der organischen Substanz lag bei diesen Proben zwischen 60,7 und 82,7 %, die Anzahl der Tage zwischen dem 30.04. und der Mahd des Futters zwischen 13 und 188, im Mittel bei 47. Die Ergebnisse zeigt **Tabelle 2**.

Bei der Kotstickstoff-Methode waren die mittleren Differenzen zwischen Schätzwerten und *in vivo*-Messwerten etwas geringer als bei der Futteruntersuchung nach der Cellulase-Methode, während sich die Gesamtschätzfehler, ausgenommen der der DOM, umgekehrt verhielten. Insgesamt kann aber auch für diese Validierung eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse beider Methoden mit den *in vivo*-Werten und damit auch untereinander festgestellt werden. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass sich beide Schätzmethoden sowohl für Weide- als auch für Feldgras eignen.

Zur Beantwortung der Frage, inwieweit die aus den Versuchen mit Schafen abgeleiteten Schätzgleichungen der Kotstickstoff-Methode auf Rinder übertragbar sind, werden

Tabelle 2: Schätzung des Futterwertes von 36 Feldgrasproben anhand von Futter- oder Kotuntersuchungen Schätzwerte im Vergleich zu den im Verdauungsversuch an Schafen gewonnenen Messwerten

Futterwert-parameter	Untersuchte Proben	Mittelwerte			Gesamtschätzfehler 1)	
		Meßwerte (MW) *in vivo*	Schätzwerte (SW)	Differenzen (SW - MW)	s_G	s %
DOM [%]	Futter	73,5	72,5	1,0	2,7	**3,7**
	Kot	73,5	73,2	0,3	2,7	**3,7**
ME [MJ/kg TM]	Futter	10,08	9,92	-0,16	0,37	**3,7**
	Kot	10,08	10,13	0,05	0,45	**4,5**
NEL [MJ/kg TM]	Futter	6,03	5,92	-0,11	0,28	**4,6**
	Kot	6,03	6,05	0,02	0,32	**5,3**

1) Unabhängige Validierung für Futter- und Kotuntersuchung

Tabelle 3: Anwendung der Kotstickstoff-Methode zur Futterwertschätzung für Schafe und Rinder - Vergleich der Schätzergebnisse zwischen Schaf und Rind sowie mit *in vivo*-Werten aus Bilanzversuchen mit Schafen (n = 27)

Methoden	DOM [%]				ME [MJ/kg TM]				NEL [MJ/kg TM]			
			Gesamtschätzfehler				Gesamtschätzfehler				Gesamtschätzfehler	
	$\bar{x}$	$\bar{d}$	s_G	s [%]	$\bar{x}$	$\bar{d}$	s_G	s [%]	$\bar{x}$	$\bar{d}$	s_G	s [%]
1. Bilanzversuche mit Schafen (*in vivo*)	76,0	-	-	-	10,49	-	-	-	6,32	-	-	-
2. KotN-Methode Untersuchung von:												
- *Schafkot* aus Bilanzversuchen	76,0	0,0	1,9	**2,5**	10,49	0	0,28	**2,7**	6,32	0	0,20	**3,2**
- *Rinderkot* von der Weide	76,2	0,2	2,3	**3,0**	10,58	0,09	0,33	**3,2**	6,38	0,06	0,24	**3,8**

in **Tabelle 3** Ergebnisse aus 27 Versuchen dargestellt, bei denen für die Futterwertschätzung sowohl Rinderkot von der Weide als auch Schafkot aus Bilanzversuchen verwendet wurde. Das von Rindern und Schafen aufgenommene Weidefutter kann als weitgehend identisch angesehen werden, da es aus jungen, homogenen Pflanzenbeständen stammte, die von den Weidetieren offensichtlich nicht selektiert worden sind. Über das methodische Vorgehen bei diesem Vergleich ist bereits in Kapitel 3 berichtet worden.

Die Stickstoffgehalte von Rinder- und Schafkotproben stimmten weitgehend überein, so dass dementsprechend auch die Ergebnisse der Futterwertschätzung nur wenig differierten. Lediglich die auf die mittleren Futterwertkenndaten der Bilanzversuche mit Schafen bezogenen Gesamtschätzfehler waren bei Verwendung der Rinderkotproben von der Weide etwas höher. Das kann möglicherweise schon darauf zurückzuführen sein, dass die Schafkote und ihre Analysenergebnisse aus den Bilanzversuchen stammen, so dass sich *in vivo*-Messwerte und Schätzwerte in diesem Falle auf dieselben Versuchstiere und Analysendaten beziehen, während die Rinderkote völlig unabhängig davon sind. Zu berücksichtigen ist allerdings auch, dass es sich bei den Rindern vorwiegend um Milchkühe handelte, die neben dem Weidefutter täglich noch 2 kg Getreide im Melkstand bekamen. Diese geringe Kraftfuttermenge kann aber in Verbindung mit dem hochverdaulichen Weidefutter den Futterwert der Gesamtration nur unwesentlich und im Rahmen des üblichen Schätzfehlers beeinflusst haben. Das zugefütterte Kraftfutter bestand je zur Hälfte aus Hafer und Gerste und enthielt noch 5 % Mineralstoffgemisch. Wenn man einen Trockenmasseverzehr aus Weidefutter von etwa 15 kg und eine Verdaulichkeit der organischen Substanz des Weidefutters von 76 % (vgl. Tabelle 3) unterstellt, dann kann die Verdaulichkeit der organischen Substanz in der Gesamtration durch die Kraftfuttergabe nur um etwa 0,4 Einheiten erhöht worden sein. Gefunden wurde eine Erhöhung um 0,2 Verdaulichkeitseinheiten. Damit dürfte der hier vorgenommene Vergleich zwischen Schaf und Rind, wenn auch mit Einschränkungen, zulässig sein und den Schluss erlauben, dass die aus Versuchen mit Schafen abgeleiteten Schätzgleichungen der Kotstickstoff-Methode auf Rinder übertragbar sind.

4.3 Ergebnisse zum selektiven Futterverzehr

Die Art und Weise des selektiven Fressens konnte bei extensiver Weideführung in allen Versuchsjahren und auf allen Koppeln gut beobachtet werden. Das Verhalten der Tiere war immer gleich. An bevorzugten Stellen der Weide sind mehr oder weniger große Teilflächen vollständig abgeweidet und dabei sehr stark verbissen worden. Nur gelegentlich wurde auch an anderen Stellen mit z. T. weniger beliebten Pflanzen und schon überständigem Futter gefressen. An die völlig abgeweideten Stellen kehrten die Tiere zurück, sobald wieder etwas Futter nachgewachsen war. Auf diese Weise verschafften sie sich immer wieder junges energiereiches Futter. Dabei entstanden überweidete Teilflächen neben solchen mit hoch gewachsenem Futter von schlechterer Qualität. Im Verlaufe der Weideperiode wurden aber auch diese weniger bevorzugten Stellen mehr und mehr verbissen. Dafür gibt es zwei Erklärungen. Zum einen ging das Futterangebot, das Mitte Juni bis Anfang Juli in der Regel ein Maximum erreichte, je nach Witterung ab Ende Juli wieder zurück, so dass sich die Möglichkeiten zur Auswahl des Futters verschlechterten. Zum anderen könnte aber auch der Bedarf an Strukturfutter durch die Bevorzugung extrem jungen Futters die Tiere zur Aufnahme von älterem faserreicheren Futter veranlasst haben. Dadurch wurden die Weidereste bis zum Herbst immer geringer. Bei richtig bemessenem Tierbesatz waren die Weiden dann im Oktober oder November bis auf geringe Reste an zumeist vertrockneten Pflanzen ganz abgeweidet. Die Nachmahd nach dem Abtrieb der Tiere erbrachte nur noch wenig Restfutter, das als Mulch über Winter auf der Weide verbleiben konnte.

Die Beobachtungen zum selektiven Fressen werden durch die Ergebnisse der Futterwertschätzung für das angebotene und das verzehrte Futter bestätigt. In den einzelnen Versuchsjahren sind in regelmäßigen Abständen über die gesamte Weideperiode hinweg Proben vom stehenden Pflanzenbestand zur Ermittlung des Trockenmasseangebotes [dt/ha] und zur Untersuchung nach der Cellulase-Methode genommen worden. Dazu wurde auf möglichst vielen, in den einzelnen Koppeln gelenkt zufällig verteilten 1 m² großen Parzellen der Aufwuchs gemäht, gewogen und dann zu einer Sammelprobe zusammengefasst. Jeweils 3 Tage später erfolgte beim Wiegen der Tiere die rektale Kotprobenahme für die Futterwertschätzung nach der Kotstickstoff-Methode. In der **Abbildung 4** sind die nach

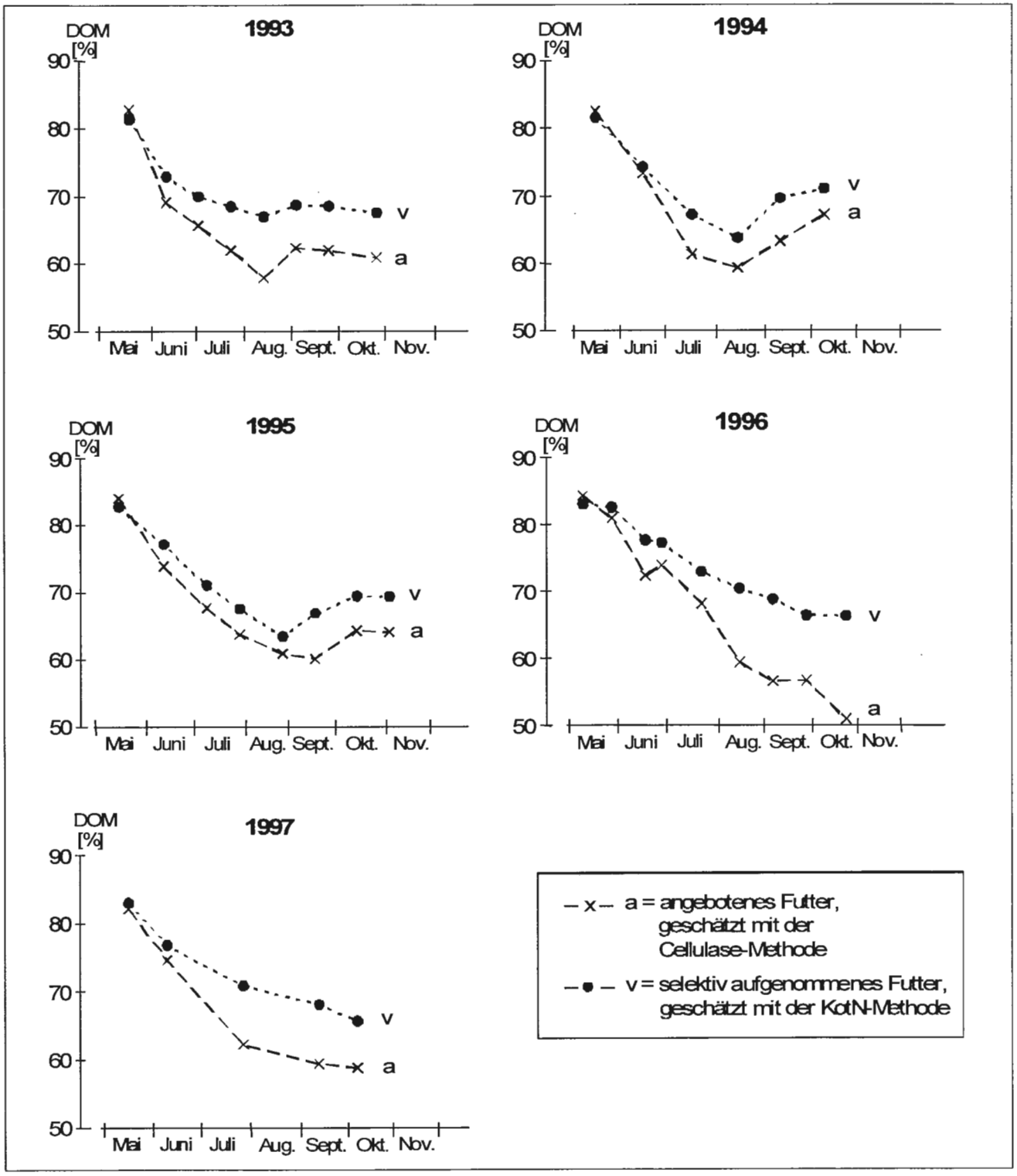

Abbildung 4: Entwicklung der Verdaulichkeit der OM im angebotenen und im verzehrten Futter bei extensiver Weide mit wachsenden Rindern während der Weideperioden 1993 bis 1997

Tabelle 4: Verdaulichkeit der organischen Substanz (DOM) und Gehalt an Umsetzbarer Energie (ME) des angebotenen (a) und des verzehrten (v) Futters im Mittel der Weideperioden

Futterwert-parameter	Weidefutter	Versuchsjahre					
		1993 (n = 8)	1994 (n = 6)	1995 (n = 8)	1996 (n = 9)	1997 (n = 5)	1993 - 1997 (n = 36)
DOM [%]	angeboten (a)	65,4	67,8	67,4	67,0	67,5	**67,0**
	verzehrt (v)	70,6	71,2	71,0	73,9	72,9	**71,9**
	d (v - a)	5,2**	3,4*	3,6**	6,9**	5,4*	**4,9**
ME [MJ/kg TM]	angeboten (a)	8,89	9,30	8,86	8,77	9,06	**8,98**
	verzehrt (v)	9,63	9,76	9,70	10,04	9,89	**9,80**
	d (v - a)	0,74**	0,46	0,84***	1,27***	0,83*	**0,82**

(a) = mit der Cellulase-Methode geschätzt
(v) = mit der KotN-Methode geschätzt
n = Anzahl der Vergleiche
d = Differenzen *P = 0,05 **P = 0,01 ***P = 0,001

der Cellulase-Methode für das angebotene und nach der Kotstickstoff-Methode für das selektiv verzehrte Futter ermittelten DOM-Schätzwerte aller Versuchsjahre im Verlaufe der Weideperioden grafisch dargestellt.

Wie die Abbildung 4 zeigt, ähneln sich die Kurvenverläufe der verschiedenen Versuchsjahre. Typisch sind hohe Verdaulichkeitswerte am Beginn der Weideperioden im Mai mit geringen Unterschieden zwischen angebotenem und verzehrten Futter, ein mehr oder weniger steiler Abfall der Verdaulichkeit in den folgenden Monaten mit Tiefpunkten im August und mit fortschreitender Jahreszeit größer werdende Verdaulichkeitsdifferenzen zwischen angebotenem und verzehrten, d. h. selektierten Futter, zugunsten des letzteren. In den Jahren 1993, 1994 und 1995 stieg die Verdaulichkeit nach dem Ende der Sommertrockenheit ab September noch einmal an.

Durchschnittswerte für die Verdaulichkeit der organischen Substanz und den Gehalt an Umsetzbarer Energie für das angebotene und verzehrte Futter sowie die Differenzen zwischen beiden enthält die **Tabelle 4**.

Im Mittel aller Versuchsjahre und Weideperioden war das selektierte Futter um 5 Verdaulichkeitseinheiten und 0,8 MJ ME/kg TM besser als das angebotene. Gegen Ende der Weideperioden sind die Unterschiede aber stets erheblich größer gewesen. Mittelt man z. B. die maximalen Futterwertdifferenzen aller Versuchsjahre, so ergeben sich bei der Verdaulichkeit um 9 Verdaulichkeitseinheiten und bei der Umsetzbaren Energie um 1,5 MJ ME/kg TM höhere Werte für das selektierte Futter. Der selektive Futterverzehr ist sicherlich die Ursache dafür, dass trotz der z. T. mäßigen bis schlechten Qualität des angebotenen Weidefutters in den beschriebenen Weideversuchen mit wachsenden Rindern ohne jede Beifütterung von Konzentraten immerhin noch tägliche Lebendmassezunahmen zwischen 500 und 800 g/Tier erzielt wurden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Konzept der extensiven Beweidung überschüssiger Grünlandflächen mit Rindern unter landschaftspflegerischen Gesichtspunkten im Hinblick auf die Freihaltung der Flächen und die erreichbaren tierischen Leistungen offenbar aufgeht, wozu das selektive Fressverhalten der Weidetiere wesentlich beiträgt. Inwieweit dabei auf längere Sicht die botanische Zusammensetzung der Weidefutterbestände durch fleckenweise sehr unterschiedlich intensiven Verbiss nicht nur aus landwirtschaftlicher, sondern auch landschaftsästhetischer Sicht in unerwünschtem Maße beeinflußt wird, ist eine Frage, die hier nicht erörtert werden konnte, bei der extensiven Beweidung solcher Grünlandflächen aber nicht außer Acht gelassen werden darf.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Für die Schätzung des Futterwertes anhand der Zusammensetzung des Kotes der Tiere wurden neue verbesserte Gleichungen zur Schätzung der Verdaulichkeit der organischen Substanz (DOM) und des energetischen Futterwertes von Weidegras abgeleitet. Als interner Marker ist der Stickstoffgehalt in der organischen Substanz des Kotes von Schafen und Rindern und als mathematisches Modell zur Schätzung der DOM eine Hyperbelfunktion verwendet worden. Es wurde nachgewiesen, dass mit dieser Methode ("Kotstickstoff-Methode") bei selektiv fressenden Weidetieren der Futterwert des tatsächlich von den Tieren verzehrten Futters zuverlässig geschätzt werden kann.

Für die Kalibrierung standen 33 *in vivo* an Schafen geprüfte Weidegraspartien, die über die gesamte Weide-

periode hinweg geerntet wurden, zur Verfügung. Dabei wurde u. a. gefunden, dass die Schätzgenauigkeit durch jahreszeitliche Einflüsse beeinträchtigt wird. Diese können aber über die Anzahl der Tage nach dem 30.04. erfasst und mit Hilfe eines Korrekturgliedes in der Schätzgleichung berücksichtigt werden, was zu einer erheblichen Verbesserung der Schätzgenauigkeit führt. Die abgeleiteten Schätzgleichungen ohne bzw. mit Korrekturglied sind die Gleichungen (1) bzw. (3).

der selektive Futterverzehr nachweisen. Im Mittel aller Weideperioden betrug die Futterwertdifferenz zwischen angebotenem und verzehrten Futter 5 Einheiten bei der DOM und 0,8 MJ/kg TM bei der ME zugunsten des verzehrten Futters. Dadurch wurden höhere Lebendmassezunahmen erreicht als nach der Qualität des angebotenen Weidefutters erwartet werden konnten.

$$(1)\ DOM_{SW}\ [\%] = 89{,}55 - \frac{460}{N_{Kot}\ [g/kg\ OM]} \qquad s\ [\%] = 4{,}7$$

$$(3)\ DOM_{SW}\ [\%] = 95{,}90 - \frac{460}{N_{Kot}\ [g/kg\ OM]} - 0{,}1582\ WT + 0{,}00062\ WT^2 \qquad s\ [\%] = 2{,}5$$

$$(5)\ ME\ [MJ/kg\ TM] = 0{,}1520\ DOM_{SW}\ [\%] - 0{,}0029\ XA_{Kot}\ [g/kg\ TM] - 0{,}46 \qquad s\ [\%] = 2{,}6$$

$$(6)\ NEL\ [MJ/kg\ TM] = 0{,}1108\ DOM_{SW}\ [\%] - 0{,}0018\ XA_{Kot}\ [g/kg\ TM] - 1{,}725 \qquad s\ [\%] = 3{,}1$$

Darin bedeuten DOM_{SW} [%] den DOM-Schätzwert und WT die Anzahl der Tage nach dem 30.04.

Der energetische Futterwert hängt nicht nur von der Verdaulichkeit, sondern auch vom Rohaschegehalt des Futters ab, der sich im Rohaschegehalt des Kotes widerspiegelt. Es wurden deshalb enge Beziehungen zwischen der DOM und dem Rohaschegehalt des Kotes (XA_{Kot} [g/kg TM]) einerseits und den Kennwerten des energetischen Futterwertes (ME und NEL) andererseits gefunden, so dass auch diese Kennwerte mit Hilfe der über den Kotstickstoffgehalt geschätzten DOM und des Rohaschegehaltes im Kot anhand der Gleichungen (5) und (6) geschätzt werden können.

Ein Vergleich der nach den oben genannten Gleichungen erhaltenen Ergebnisse sowohl mit den Ergebnissen der *in vivo*-Versuche als auch mit *in vitro*-Werten aus der Futteruntersuchung, die mit der Cellulase-Methode nach De Boever et al. (1993) und einem Schätzmodell von Weissbach et al. (1999) ermittelt wurden, zeigte gute Übereinstimmung. Das eröffnet die Möglichkeit zum Nachweis der selektiven Futteraufnahme auf Weiden, wobei mit der Cellulase-Methode der Futterwert des angebotenen und mit der Kotstickstoff-Methode der Futterwert des tatsächlich verzehrten und möglicherweise selektierten Futters geschätzt werden kann. Die Futterwertdifferenz zwischen angebotenem und verzehrten Futter lässt Rückschlüsse auf das Ausmaß der Selektion zu.

Die für Weidegras abgeleiteten Schätzgleichungen der Kotstickstoff-Methode sind auch für Feldgras gültig, wie eine unabhängige Validierung anhand von 36 *in vivo* geprüften Feldgrasproben zeigte, wenn auch die relativen Gesamtschätzfehler für DOM, ME und NEL mit 3,7; 4,5 bzw. 5,3 % etwas höher waren. Es konnte außerdem gezeigt werden, dass die an Versuchen mit Schafen kalibrierte Methode auch bei Rindern anwendbar ist.

Am Beispiel von fünfjährigen Weideversuchen mit Jungrindern auf extensiv bewirtschafteten Standweiden ließ sich

Investigations into the use of the faecal nitrogen method to estimate the energetic feeding value of pasture and to prove the selective feed intake of grazing animals

Improved equations for estimating the digestibility and the energetic feeding value by means of the composition of the animal's faeces were developed. The nitrogen content of the organic matter of faeces from sheep and cattle was used as an internal marker ("faecal nitrogen method") and a hyperbolic function was applied as a mathematical model to describe the relationship between faecal nitrogen and organic matter digestibility. Evidence was provided that the feeding value of the forage which is really ingested by selectively grazing animals can be reliably estimated in this way.

In order to derive the equations, 33 samples from pasture taken during the whole grazing season and tested *in vivo* by sheep were used. It was found that the accuracy of estimation is influenced by the season. This effect can be taken into account by using the number of days after April 30th as an additional term. By integration of this correction term into the equation, a substantial improvement in precision was achieved. Equations for estimating the digestibility without (1) or with (3) this correction term were derived, wherein DOM_{est} [%] means the estimated percentage of organic matter digestibility and figure WT the number of days after April 30th.

The energetic feeding value also depends on the ash content of the feed which is reflected in the ash content in the faeces (XA_{faeces} [g/kg DM]). It proved to be possible to estimate the parameters ME or NEL via DOM, estimated by the faecal nitrogen method, and the crude ash content of faeces using the equations (5) and (6).

A comparison of the results obtained by application of these equations with the *in vivo*-parameters and with the results of an *in vitro*-method, based on testing the forage with cellulase according to De Boever et al. (1993)

$$(1)\ DOM_{est}\ [\%] = 89.55 - \frac{460}{N_{faeces}\ [g/kg\ OM]} \qquad s\ [\%] = 4.7$$

$$(3)\ DOM_{est}\ [\%] = 95.90 - \frac{460}{N_{faeces}\ [g/kg\ OM]} - 0.1582\ WT + 0.00062\ WT^2 \qquad s\ [\%] = 2.5$$

$$(5)\ ME\ [MJ/kg\ DM] = 0.1520\ DOM_{est}\ [\%] - 0.0029\ XA_{faeces}\ [g/kg\ DM] - 0.46 \qquad s\ [\%] = 2.6$$

$$(6)\ NEL\ [MJ/kg\ DM] = 0.1108\ DOM_{est}\ [\%] - 0.0018\ XA_{faeces}\ [g/kg\ DM] - 1.725 \qquad s\ [\%] = 3.1$$

and a mathematical model published by Weissbach et al. (1999), showed good agreement. This enables to prove the effect of the selective feed intake by grazing animals. The cellulase method can be taken for estimating the feeding value of the offered forage and the faecal nitrogen method of the ingested forage. The difference between these both issues indicates the intensity of selection by the animals. An independent validation of these equations for estimating DOM, ME and NEL by means of 36 other *in vivo* tested grass samples resulted in only slightly higher standard errors of prediction (3.7 ; 4.5 and 5.3 % respectively). Further evaluations clearly indicated that the equations derived from the results of trials with sheep are valid also for cattle.

The effect of selective feed intake during grazing on the feeding value of ingested pasture was further studied by grazing experiments over 5 years with growing cattle on extensively managed grassland. On average of the whole season and all experimental years a 5 units higher DOM and a 0.8 MJ/kg DM higher ME for the ingested compared to the offered pasture was recorded. This animal behaviour enabled a better body weight gain as could be expected from the pasture quality offered.

Literatur

Armstrong, R. H.; Common, T.G. and Davies, G .J. (1989): The prediction of the in vivo digestibility of the diet of sheep and cattle grazing indigenous hill plant communities by in vitro digestion, faecal nitrogen concentration or indigestible acid-detergent fiber. - Grass and Forage Sci. 44, 303 - 313.

Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (1991): Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Rohnährstoffen an Wiederkäuern. - Anim. Physiol. a. Anim. Nutr. 65, 229 - 234.

Bartiaux-Thill, N. and Oger, R. (1986): The indirect estimation of the digestibility of herbage from Belgian permanent pasture. - Grass and Forage Sci. 41, 269 - 272.

Corbett, J. L. (1960): Faecal index techniques for estimation herbage consumption by grazing animals. - Proc. VIII. Int. Grassld. Congr., 438 - 442.

De Boever et al. in: Naumann, K. und Bassler, R. (1993): Methodenbuch III. 3. Erg., Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. - Verlag J. Neumann - Neudann, Melsungen.

Greenhalgh, J. F. D. and Corbett, J. L. (1960): The indirect estimation of the digestibility of pasture herbage, I. Nitrogen and chromogen as faecal index substances. - J. Agric. Sci. 55, 371 - 376.

Greenhalgh, J. F. D., Corbett, J. L. and Mc Donald, I. (1960): The indirect estimation of the digestibility of pasture herbage, II. Regressions of digestibility on faecal nitrogen concentration; their determination in continious digestibility trials and the effect of various factors on their accuracy. - J. Agric. Sci. 55, 377 - 385.

Greenhalgh, J. F. D., Reid, G. W. and Mc Donald, I. (1966): The indirect estimation of the digestibility of pasture herbage, IV. Regressions of digestibility on faecal nitrogen concentration: effects of different fractions of the herbage upon within- and between - period regressions. - J. Agric. Sci. 66, 277 - 283.

Hobbs, N. T. (1987): Fecal indices to dietary quality : a critique. - J. Wildl. Manage. 51 (2), 317 - 320.

Homb, T. and Breirem, K. (1952): The use of fecal nitrogen as a measure of dry matter intake and of digestibility of organic matter in forage. - J. Anim. Sci. 11, 496 - 500.

Hoppe, T. (1995): Untersuchungen zur Weidewirtschaft mit Milchkühen bei Verzicht auf Stickstoffdüngung. - Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 161.

Hoppe, T., Weissbach, F., Schlichting, M. C., Schmidt, L. und Smidt, D. (1996): Milchviehweidewirtschaft bei Verzicht auf Stickstoffdüngung. - Züchtungskunde 68 (2), 131 - 146.

Hutton, J. B. and Jury, K. E. (1964): Studies of the nutritive value of New Zealand dairy pastures, III. The comparative value of various feed - faeces relationships in herbage intake studies with dairy cattle. - N. Z. J. Agric. Res. 7, 583 - 595.

Kennedy, W. K., Carter, A. H. and Lancaster, R. J. (1959): Comparison of faecal pigments and faecal nitrogen as digestibility indicators in grazing cattle studies. - N. Z. J. Agric. Res. 2, 627 - 637.

Lambourne, L. J. and Reardon, T. F. (1962): Use of seasonal regressions in measuring feed intake of grazing animals. - Nature 196, 961 - 962.

Lancaster, R. J. (1949a): Estimation of digestibility of grazed pasture from faeces nitrogen. - Nature 163, 330 - 331.

Lancaster, R. J. (1949b): The measurement of feed intake by grazing cattle and sheep, I. A method of calculating the digestibility of pasture based on the nitrogen con-

tent of faeces derived from the pasture. - N. Z. J. Sci. Techn., 31 - 38.
Lancaster, R. J. (1954): Measurement of feed intake of grazing cattle and sheep, V. Estimation of the feed to faeces ratio from the nitrogen content of the faeces of pasture fed cattle. - N. Z. J. Sci. Techn. 36, 15 - 20.
Langlands, J. P., Corbett, J. L. and Mc Donald, I. (1963): The indirect estimation of the digestibility of pasture herbage, III. Regression of digestibility on faecal nitrogen concentration: effects of species and individuality of animal and of the method of determining digestibility upon the relationships. - J. Agric. Sci. 61, 221 - 226.
Langlands, J. P. (1967): Studies on the nutritive value of the diet selected by grazing sheep, III. A comparison of oesophageal fistula and faecal index techniques for the indirect estimation of digestibility. - Anim. Prod. 9, 325 - 331.
Langlands, J. P. (1969): Studies of the nutritive value of the diet selected by grazing sheep, V. Further studies of the relationship between digestibility estimated in vitro from oesophageal fistula samples and from faecal and dietary composition. - Anim. Prod. 11, 379 - 387.
Lukas, M., Südekum, K. H. und Susenbeth, A. (1999): Untersuchungen zur Eignung der Kotstickstoff-Methode für die Schätzung der Verdaulichkeit von Futterrationen beim Rind. - Proc. Soc. Nutr. Physiol. 8, 61.
Meijs, J. A. C. (1981): Herbage intake by grazing dairy cows. - Institute for Livestock feeding and Nutrition Research Hoorn, Lelystad. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 28 - 31.
Minson, D. J. and Raymond, W. F. (1958): Sources of error in the use of faecal relationships. - A. Rep. Grassld. Res. Inst. Hurley 1956 - 1957, 92 - 96.
Minsen, D. J. and Kemp, C. D. (1961): Studies in the digestibility of herbage, IX. Herbage and faecal nitrogen as indicators of herbage organic matter digestibility. - J. Br. Grassld. Soc. 16, 76 - 79.
Pearce, G. R., Vercoe, J. E. and Freer, M. (1962): The establishment of faecal nitrogen - digestibility regressions for animals grazing irrigated pasture. - J. Agric. Sci. 59, 397 - 402.
Peyraud, J. L. (1998): Techniques for measuring faecal flow, digestibility and intake of herbage in grazing ruminants. - In: Proceedings of the IXth European Intake Workshop, North Wyke, 18. - 20. Nov. 1998, 39 - 43.
Raymond, W. F., Kemp, C. D., Kemp, A. W. and Harris, C. E. (1954): Studies in the digestibility of herbage, IV. The use of faecal collection and chemical analysis in pasture studies (b) faecal index methods. - J. Br. Grassld. Soc. 9, 69 - 81.
Schmidt, L. (1992): Eine Möglichkeit zur Schätzung der Verdaulichkeit von selektiv aufgenommenem Weidefutter. - AG Grünland und Futterbau in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Jahrestagung 29. - 31. 8. 1991, Bad Hersfeld, Referate und Poster, 91 - 106.
Schmidt, L. (1993): Die Schätzung des Futterwertes nach der Kotstickstoff-Methode (methodische Aspekte). - VDLUFA Kongressband 1993, 105. VDLUFA-Kongress, 20. - 25. 9. 1993, Hamburg, 681 - 684.
Schmidt, L. und Jentsch, W. (1994): Die Schätzung der Verdaulichkeit von Konservatfutterrationen für Rinder anhand des Stickstoffgehaltes im Rinderkot. - Schriftenreihe des Forschungsinstitutes für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere (FBN), Dummerstorf, Heft 7, 179 - 185.
Schmidt, L., Weissbach, F., Hoppe, T. and Klan, A. (1999): Low-input grassland use and pasture management. - Internationales Symposium "Beiträge der Grünland - und Futterpflanzenforschung zur Entwicklung von Systemen nachhaltiger Landnutzung. - FAL Braunschweig, 6. 5. 1999, Landbauforschung Völkenrode (in Vorbereitung).
Thomas, S. and Campling, R. C. (1976): Relationship between digestibility and faecal nitrogen in sheep and cows offered herbage ad libitum. - J. Br. Grassld. Soc. 31, 69 - 72.
Torell, D. T. (1954): An esophageal fistula for animal nutrition studies. - J. Anim. Sci. 13, 878 - 884.
Wallace, J. D. and van Dyne, G. M. (1970): Precision of indirect methods for estimating digestibility of forage consumed by grazing cattle. - J. Range Mangmt. 23, 424 - 430.
Wehausen, J. D. (1995): Fecal measures of diet quality in wild and domestic ruminants. - J. Wildl. Manage. 59 (4), 816 - 823.
Weissbach, F., Kuhla, S., Prym, R. and Block, H. J. (1991): Estimation of nutritive value by analytical parameters. - Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 123, 218 - 234.
Weissbach, F., Schmidt, L. und Kuhla, S. (1996): Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der NEL aus der Umsetzbaren Energie. - Proc. Soc. Nutr. Physiol. 5, 117.
Weissbach, F., Kuhla, S., Schmidt, L. und Henkels, A. (1999): Schätzung der Verdaulichkeit und der Umsetzbaren Energie von Gras und Grasprodukten. - Proc. Soc. Nutr. Physiol. 8, 72.

Verfasser: Schmidt, Ludwig, Dr. agr. habil.; Weissbach, Friedrich, Prof. Dr. agr. habil.; Hoppe, Tatjana, Dr. agr.; Institut für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig (FAL), Leiter: Dir. u. Prof. Dr. agr. habil. Jörg Michael Greef;
Kuhla, Siegfried, Dr. rer. nat.; Forschungsbereich Ernährungsphysiologie "Oskar Kellner" des Forschungsinstitutes für die Biologie landwirtschaftlicher Nutztiere (FBN) Dummerstorf, Leiter: Prof. Dr. agr. habil. Hans Hagemeister.