

Messung des Nährwerts von Gras durch Nahinfrarotspektroskopie

Geert Kleijer¹, Carine Oberson², Eric Mosimann³, Marco Meisser³ und Cécile Brabant²

¹Chemin de la Croisette 44, 1260 Nyon

²Agroscope, Institut für Pflanzenbauwissenschaften IPB, 1260 Nyon, Schweiz

³Agroscope, Institut für Nutztierwissenschaften INT, 1260 Nyon, Schweiz

Auskünfte: Cécile Brabant, E-Mail: cecile.brabant@agroscope.admin.ch



Den Nährwert von Gras zu kennen, ist für Optimierungen in den betroffenen landwirtschaftlichen Produktionszweigen entscheidend.

Der Nährwert von Wiederkäuerfutter spielt eine entscheidende Rolle in der Milch- und Fleischproduktion. Die für die Bestimmung dieses Nährwerts erforderlichen chemischen Analysen sind arbeitsintensiv. Die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) ist eine schnelle und nicht destruktive Möglichkeit zur Bestimmung der wichtigsten Parameter des Futternährwerts. Diese Studie vergleicht die Ergebnisse von chemischen Analysen mit NIRS-Messungen, die bei 169 Futterproben von Dauer- und Kunstwiesen durchgeführt wurden.

Einleitung

Die Schweiz ist ein Wiesen- und Viehzuchtland und das Vieh wird grösstenteils mit Gras ernährt. Für eine qualitativ einwandfreie Milchproduktion ist es wichtig, den Nährwert von Wiederkäuerfutter zu kennen. Die

Bestimmung dieses Nährwerts ist komplex. Der Nährwert kann ausgehend vom Gehalt an verschiedenen Stoffen oder Stoffgruppen geschätzt werden, wie zum Beispiel Gesamtstickstoff, Trockensubstanz, Lignocellulose, Lignin, Cellulose und unlösliche Phenolverbindungen. Scephovic (1975, 1976, 1979, 1990, 1995 und 1999) hat chemische Analysemethoden erarbeitet, mit denen die meisten dieser Parameter gemessen werden können. Ausserdem entwickelte er die beiden Indizes IANP und IAFP, welche die mögliche negative beziehungsweise fermentative Wirkung bei Futtermitteln beschreiben (Scephovic 1999). Die Verdaulichkeit der organischen Substanz (VOSL), das heisst der Grad, zu dem organische Substanzen vom Tier verdaut werden, ist der aussagekräftigste Parameter zur Futterqualität. Dieser Parameter beruht auf dem Gehalt des Futters an Lignocellulose, Lignin, Cellulose und Phenolsäuren der Zellwände (Sce-

Kasten | Glossar

C – Cellulose

IAFP – Index der möglichen fermentativen Aktivität

IANP – Index der möglichen negativen Aktivität

KW – Kunstwiese

L – Lignin

LC – Lignocellulose

NIRS – Nahinfrarotspektroskopie

NW – Naturwiese

OS – organische Substanz

SEC – Standardabweichung der Kalibrierung

SEL – Standardabweichung der Referenzmethode

SEP – Standardabweichung der Schätzung

TN – Gesamtstickstoff

TS – Trockensubstanz

UPV – unlösliche Phenolverbindungen

VOS – Verdaulichkeit der organischen Substanz

VOSiafp – Verdaulichkeit der organischen Substanz basierend auf dem Index der möglichen fermentativen Aktivität

VOSianp – Verdaulichkeit der organischen Substanz basierend auf dem Index der möglichen negativen Aktivität

VOSL – Verdaulichkeit der organischen Substanz basierend auf dem Gehalt an Lignin, Lignocellulose, Cellulose und unlöslichen Phenolverbindungen

hovic 1991). Die Berücksichtigung der IANP-Werte (VOSianp, berechnet aus VOSL und IANP) und der IAFP-Werte (VOSiafp, berechnet aus LC, IANP und IAFP) verbessert die Korrelation zwischen den geschätzten und den *in vivo* gemessenen VOS-Werten erheblich (Scehovic 1995 und 2001).

Seit 2001 wird die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) vom IPB-Labor bei Agroscope erfolgreich zur Gesamtstickstoffmessung von Pflanzen eingesetzt (Validierung: $r=0,96$, SEP 1,7). Diese schnelle und nicht destruktive Methode kann mit relativ geringen Materialmengen (mindestens 100 ml) bei getrockneten und gemahlten Proben angewendet werden. In zahlreichen Ländern wird der Nährwert von Futterpflanzen immer häufiger mit NIRS analysiert (Givens und Deaville 1999; Andrès *et al.* 2005a und 2005b). Agroscope setzt

diese Methode ein, um den Nährwert von Futter aus Dauer- und Kunstwiesen mit verschiedenen Pflanzenarten zu prüfen. In der vorliegenden Studie werden die Korrelationen zwischen den arbeitsintensiven chemischen Analysen und den mit NIRS durchgeführten Analysen untersucht. Das Ziel besteht darin, die Parameter zu identifizieren, die sich mit NIRS analysieren lassen, insbesondere im Hinblick auf eine zuverlässige Schätzung des VOS-Wertes.

Material und Methoden

Das in dieser Studie untersuchte Material stammt aus Versuchen bei artenreichen Naturwiesen (NW, $n=84$) und Kunstwiesen mit einer geringeren botanischen Vielfalt (KW, $n=85$). Es wurden folgende Parameter gemessen: UPV, C, IANP, L, LC, TS und OS für Naturwiesen, UPV, IAFP, IANP, LC, TS und OS für Kunstwiesen. Mit diesen Parametern konnten die VOSianp- und VOSL-Werte für die Naturwiesen und die NW- und VOSiafp-Werte für die Kunstwiesen berechnet werden. Die chemischen Analysen wurden gemäss den von Scehovic (1975, 1976, 1979, 1990, 1995 und 1999) entwickelten Methoden vorgenommen. Die NIRS-Analysen wurden mit dem Spektrometer Nirflex N500 von Büchi durchgeführt. Ampuero und Wyss (2014) haben das Spektrometer Nirflex N500 und die Kriterien beschrieben, mit denen sich die Qualität der Kalibrierung prüfen lässt. Die Kalibrierungen für alle Parameter wurden vom IPB bei Agroscope entwickelt und regelmässig verbessert, indem neue, durch chemische Analysen gewonnene Referenzdaten in die Modelle eingeführt wurden. ➤

Tab. 1 | Determinationskoeffizient (r^2) zwischen chemischen Analysen und NIRS-Messungen und Wiederholbarkeit der Referenzanalysen (SEC, SEP, SEL) für die verschiedenen Parameter

Parameter	r^2	SEC	SEP	SEL
UPV	0,64	0,1	0,1	0,0
C	0,87	0,8	0,9	0,1
VOSianp	0,95	1	1	0,8
VOSiafp	0,94	2	2	1
VOSL	0,94	2	2	0,7
IAFP	0,77	5	6	7
IANP	0,91	10	14	5
L	0,87	0,7	0,7	0,4
LC	0,93	1	1	0,3
OS	0,66	0,9	1	0,2
TS	0,68	0,2	0,3	0,1

SEC: Standardabweichung der Kalibrierung

SEL: Standardabweichung der Referenzmethode

SEP: Standardabweichung der Schätzung

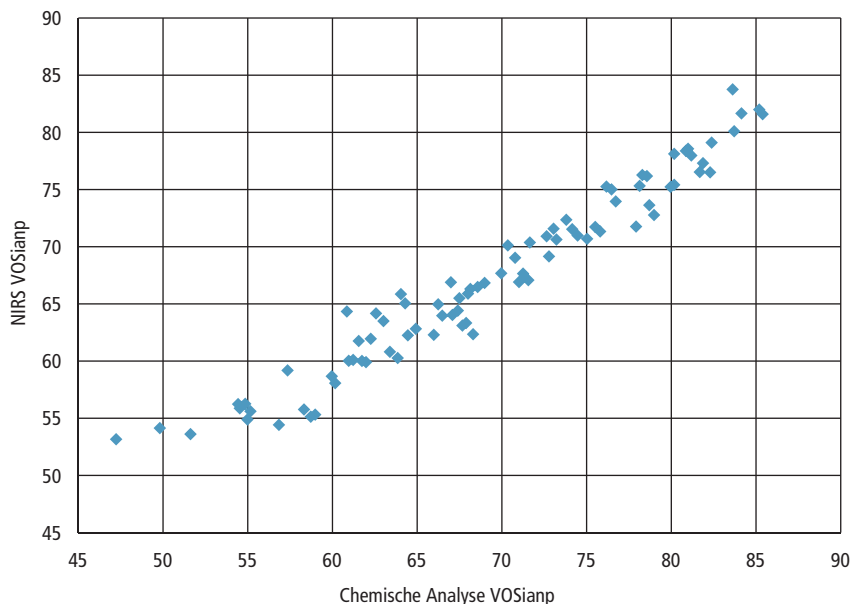


Abb. 1 | Determinationskoeffizient ($r^2=0,95$) zwischen berechneter und mit NIRS gemessener VOSianp.

Die Standardabweichung der Referenzmethode ($SEL = [\text{Summe}(y_1 - y_2)^2 / 2M]^{1/2}$, wobei M die Anzahl doppelt analysierter Proben ist) wurde bestimmt, indem die Analyse bei 35 Proben zweimal durchgeführt wurde. Auf diese Weise konnte die Genauigkeit der NIRS-Analysen für die verschiedenen Parameter geprüft werden.

Resultate und Diskussion

Die Ergebnisse der Determinationskoeffizienten und die verschiedenen NIRS-Standardabweichungen (SEC, SEP und SEL) sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Werte für die Determinationskoeffizienten schwanken stark zwischen den einzelnen Parametern. Die höchsten Werte werden erreicht für Lignocellulose (0,93), den Index der möglichen negativen Aktivität (0,91), Lignin (0,87) sowie Cellulose (0,87). Der Determinationskoeffizient (r^2) für die Trockensubstanz ist tief (0,68). Gemäss Corroliano und Labandera (2002) ist die NIRS eine effiziente Methode zur Messung der Trockensubstanz bei frischem Material, unsere Analysen erfolgten jedoch bei getrockneten Proben. Der Determinationskoeffizient ist auch für die organische Substanz ($r^2 = 0,66$) und die Phenolverbindungen ($r^2 = 0,64$) niedrig. Die berechneten Indizes für die Verdaulichkeit (VOSiafp, VOSianp und VOSL) ergeben sehr hohe Werte für r^2 von 0,94, 0,95 bzw. 0,94 (Tab. 1 und Abb. 1).

In Tabelle 1 sind auch die Ergebnisse zur Wiederholbarkeit der Referenzanalysen dargestellt. Es ist allgemein anerkannt, dass eine Kalibrierung eine gute Vor-

aussage liefert, wenn der Standardfehler der NIRS-Analysen (SEP) nicht höher ist als die doppelte Standardabweichung der Referenzmethode (SEL). Tabelle 1 zeigt, dass dies auf VOSianp, VOSiafp, IAFP und L zutrifft. Für die anderen Parameter muss die Kalibrierung noch verbessert werden. Der Korrelationskoeffizient (r , Tab. 2) zwischen den NIRS-Vorhersagen und den Referenzdaten ist im Allgemeinen sehr gut, das heisst er liegt bei 0,90 oder darüber, ausser für UPV und TS. Bei den drei Parametern zur Verdaulichkeit der organischen

Tab. 2 | Korrelationskoeffizient (r) zwischen den NIRS-Vorhersagen und den Referenzdaten für die verschiedenen Parameter

Parameter	r	Anzahl Spektren oder Kalibrierungspunkte	Anzahl Proben der Kalibrierung
UPV	0,89	443	111
C	0,99	1044	849
VOSianp	0,98	1079	837
VOSiafp	0,97	881	673
VOSL	0,97	949	745
IAFP	0,90	386	103
IANP	0,96	513	126
L	0,97	1049	828
LC	0,98	1059	765
OS	0,90	795	232
TS	0,89	669	209

Substanz (VOSiafp, VOSianp und VOSL) beträgt die Abweichung 0,14, -0,03 und 0,26. Dabei handelt es sich um die mittlere Abweichung zwischen der NIRS-Vorhersage und dem Referenzwert. Diese Abweichung ist damit ein Mass für die Qualität der Kalibrierung. Je näher der Wert bei 0 liegt, desto besser ist die Kalibrierung.

Die gute Vorhersage der Verdaulichkeit durch die NIRS wurde bereits von anderen Autoren festgestellt. Andrès *et al.* (2005a) haben für die *In-vitro*-Verdaulichkeit der Trockensubstanz von Naturwiesen-Futtergras einen Determinationskoeffizienten von $r^2 = 0,89$ festgestellt. Derselbe Wert für r^2 wurde von DeBoever *et al.* (1996) für die Vorhersage der *In-vivo*-Verdaulichkeit der organischen Substanz aus Grünsilage gefunden. Bei diesen beiden Forschungsarbeiten kamen unterschiedliche Methoden zur Bestimmung der Verdaulichkeit zum Einsatz. Die in unserem Labor entwickelte und angewendete Methode ist spezifisch und auf unsere Anforderungen abgestimmt (Scehovic 1979, 1994, 1995, 2001). Mika *et al.* (1998) haben auf der Grundlage von 69 Proben von drei verschiedenen Arten für IANP einen Determinationskoeffizienten von 0,92 errechnet, was mit unseren Ergebnissen zu Proben aus einer Mischung verschiedener Arten übereinstimmt.

Schlussfolgerungen

- Die auf der Grundlage mehrerer Parameter berechnete Verdaulichkeit der organischen Substanz (VOSianp, VOSiafp und VOSL) kann ebenfalls durch NIRS bestimmt werden. Die NIRS-Modelle zeigen eine gute Prognosequalität, was die r^2 -Werte über 0,95 bestätigen.
- Auch die Schätzung des Gehalts an Lignocellulose, Lignin und Cellulose ist gut (r^2 über 0,86) und der Gehalt lässt sich für diese Parameter durch NIRS messen.
- Für die anderen Parameter müssen die NIRS-Kalibrierungen noch verbessert werden, damit sich die chemischen Analysen durch NIRS-Messungen ersetzen lassen.

Literatur

- Ampuero Kragten S. & Wyss U., 2014. Futtermittel im Nah-Infrarotlicht (NIRS). *Agrarforschung Schweiz* **5**, 204–211
- Andrès S., Giraldez, F. J., Lopez S., Mantecon A. R. & Calleja A., 2005a. Nutritive evaluation of herbage from permanent meadows by near-infrared reflectance spectroscopy: 1. Prediction of chemical composition and in vitro digestibility. *J. Sci. Food Agric.* **85**, 1564–1571.
- Andrès S., Calleja A., Lopez S., Mantecon A. R. & Giraldez F. J., 2005b. Nutritive evaluation of herbage from permanent meadows by near-infrared reflectance spectroscopy: 2. Prediction of crude protein and dry matter degradability. *J. Sci. Food Agric.* **85**, 1572–1579
- Corrolino D. & Labandera M., 2002. Determination of dry matter and crude protein contents of undried forages by near infrared spectroscopy. *J. Sci. Food Agric.* **82**, 380–384.
- DeBoever J. L., Cottyn B. G., DeBrabander D. L., Vanacker J. M. & Boucque C. V., 1996. Prediction of the feeding value of grass silages by chemical parameters, in vitro digestibility and near-infrared reflectance spectroscopy. *Animal Feed Sci and Techn.* **60**, 103–115.
- Givens D. I. & Deaville E. R. 1999. The current and future role of near infrared reflectance spectroscopy in animal nutrition: a review. *Aust. J. Agric. Res.* **50**, 1131–1145.
- Mika V., Kohoutek A., Pozdisek J., Smital F. & Nerusil P., 1998. Index of negative action of phenols (IANP) and its prediction in meadow plants using spectroscopy in near infrared region (NIRS). *Rostlinna Vyroba* **44**, 561-564
- Scehovic J., 1975. Evaluation de la qualité des fourrages sur la base de leur composition chimique. *Rech. Agron. en Suisse* **14**, 137–152.
- Scehovic J., 1976. Prévion de la quantité de matière sèche ingérée des fourrages sur la base de leur composition chimique. *Rech. Agron. en Suisse* **15**, 113–127.
- Scehovic J., 1979. Prévion de la digestibilité de la matière organique et de la qualité de matière sèche volontairement ingérée des graminées, sur la base de leur composition chimique. *Fourrages* **79**, 57–79.
- Scehovic J., 1990. Tanins et autres polymères phénoliques dans les plantes de prairies: détermination de leur teneur et de leur activité biologique. *Revue suisse Agric.* **23**, 305–310.
- Scehovic J., 1991. Considération sur la composition chimique dans l'évaluation de la qualité des fourrages des prairies naturelles. *Revue suisse Agric.* **23**, 305–310.
- Scehovic J., 1995. Etude de l'effet de diverses espèces de plantes des prairies permanentes sur l'hydrolyse enzymatique des constituants pariétaux. *Ann. Zootech.* **44**, 87–96.
- Scehovic J., 1999. Evaluation in vitro de l'activité de la population microbienne du rumen en présence d'extraits végétaux. *Revue suisse Agric.* **31**, 89–93.
- Scehovic J., 2001. Mesure in vitro de l'activité microbienne du rumen pour mieux estimer la qualité des fourrages. *Revue suisse Agric.* **33**, 239–244.