



# Nicht-strukturbildende Kohlenhydrate im Wiesenfutter

Franz Xaver SCHUBIGER, Hans-Ruedi BOSSHARD und Josef LEHMANN, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Reckenholz (FAL), CH-8046 Zürich

**Der erste Aufwuchs einer Wiese enthält einen höheren Gehalt an «nicht-strukturbildenden Kohlenhydraten» als derjenige im Sommer oder Herbst. Die Düngung mit Stickstoff fördert die Gräser und erhöht somit den Gehalt an Fructosanen im Futter. Ein hoher Zuckergehalt wirkt sich positiv auf die Verdaulichkeit aus. Die Unterschiede in der Verdaulichkeit zwischen Frühling und Sommer können damit weitgehend erklärt werden.**

Eine Futterpflanze besteht grob gesagt aus Zellwänden und Zellinhaltsstoffen. Erstere sind zur Hauptsache aufgebaut aus Hemicellulose, Zellulose, Lignin und Pektin. Diese Stoffgruppe wird «strukturbildende Kohlenhydrate» genannt. Im Gegensatz dazu werden die Kohlenhydrate im Zellinneren zu den «nicht-strukturbildenden Kohlenhydraten» zusammengefasst. Diese Unterteilung ist aus der Sicht der Fütterung sinnvoll, weil die Bestandteile der Zellwände für den Wiederkäuer nur teilweise verwertbar sind, während die «nicht-strukturbildenden Kohlenhydrate» fast vollständig verdaut werden.

Die «nicht-strukturbildenden Kohlenhydrate» der Futterpflanzen bestehen zum grössten Teil aus Glucose, Fructose und Saccharose. Die Gräser der gemässigten Zone bilden zusätzlich in grösseren Mengen Fructosane (ein Polysaccharid, das hauptsächlich aus Fructose aufgebaut ist) und die Kleearten Stärke (Smith 1973). Diese Kohlenhydrate sind für die Pflanze von zentraler Bedeutung, denn sie dienen ihr als rasch verfügbare Energiequelle und als Ausgangsmaterial für die Herstellung aller anderen organischen Substanzen. Einen besonderen Wert haben sie in der Wiederkäuerfütterung (Abb. 1): Sie erhöhen die Futteraufnahme und stehen den Pansenmikroorganismen rasch und vollständig als Energiequelle zur Verfügung. Ausserdem haben sie einen günstigen Einfluss auf den Gärverlauf einer Silage (Lunden Pettersson und Lindgren 1990), indem sie die Vermehrung der Milchsäurebakterien fördern und Ammoniakverluste vermindern.

Die Zusammensetzung und der Gehalt an «nicht-strukturbildenden Kohlenhydraten» der Futterpflanzen verändert sich während des Wachstums (Kühbauch und Voigtländer 1979; Meister und Lehmann

1984). Deren Gehalt wird durch Umweltfaktoren wie Licht und Temperatur (Deinum 1966; Jelmimi und Nösberger 1978; Frey und Nösberger 1980) aber auch durch die Düngung (Fiebig *et al.* 1974) beeinflusst.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, am Beispiel einer unterschiedlich gedüngten und genutzten Ansaatwiese Kenntnisse über den Gehalt an «nicht-strukturbildenden Kohlenhydraten» während der Vegetationsperiode zu gewinnen. Da diese Zucker Bestandteile der verdaulichen organischen Substanz sind, wurde auch deren Einfluss auf die Verdaulichkeit des Futters aufgezeigt.

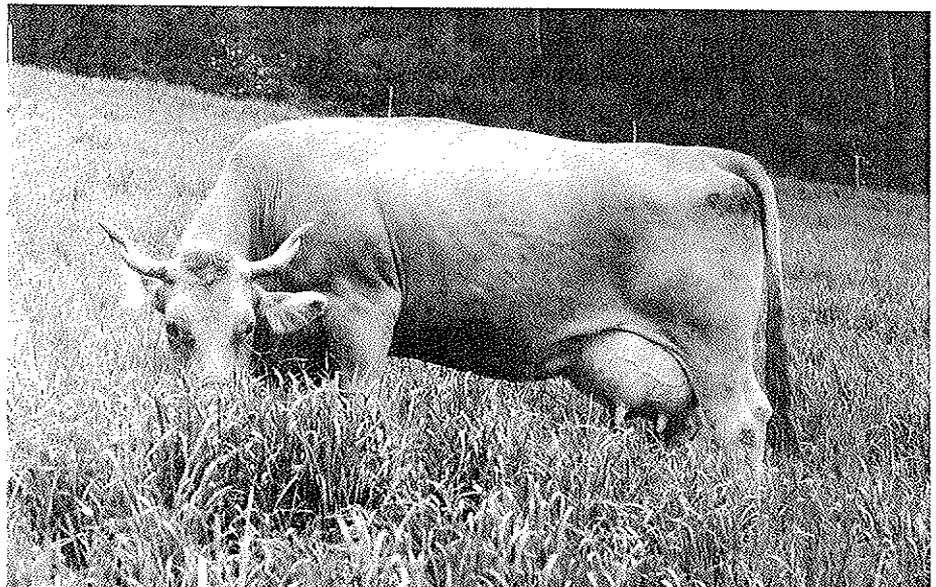
## Bestimmung der Inhaltsstoffe

Die Standardmischung 430 lieferte die Ausgangsbestände, welche von 1990 bis

1992 pro Jahr vier-, fünf- oder sechsmal genutzt wurden (Lehmann *et al.* 1994). Die unterschiedlich häufig geschnittenen Ansaatwiesen wurden mit 0, 20, 40 kg und 60 kg (nur bei sechsmaliger Nutzung) Stickstoff pro Hektare und Aufwuchs gedüngt (in Form von Ammonsalpeter). Die Schnittzeitpunkte für die verschiedenen Nutzungsintensitäten sind in der Tabelle 1 aufgeführt. Während des ersten Aufwuch-

**Tab. 1. Schnittzeitpunkt (Kalenderwoche) für die verschiedenen Nutzungsintensitäten**

Anzahl Schnitte pro Jahr	Schnitt Nr.	Kalenderwoche
vier	1	21
	2	28
	3	34
	4	41
fünf	1	20
	2	25
	3	30
	4	35
	5	42
sechs	1	19
	2	23
	3	27
	4	32
	5	37
	6	42



**Abb. 1. Die «nicht-strukturbildenden Kohlenhydrate» erhöhen die Futteraufnahme und sind eine nahezu vollständig verdauliche Stoffgruppe.**

ses erreichte die Englisch Raigrassorte Bastion das Entwicklungsstadium Beginn Ährenschieben anfangs der 20. Woche, die spätreife Knaulgrassorte Baraula erreichte das gleiche Stadium jedoch erst in der 21. Woche.

Zum Zeitpunkt der Schnitte entnehmen wir am frühen Vormittag von je drei Wiederholungen je zwei Proben. Die erste Probe wurde bei 60 °C getrocknet, mit einer Schneidmühle (0,75 mm Sieb) gemahlen und deren **Gehalt an verdaulicher organischer Substanz (VOS)** mit der Pansensaftmethode nach Tilley und Terry (1963) bestimmt. Von der gleichen Probe wurde auch der **Rohproteingehalt** mit einer modifizierten Kjeldahl-Methode analysiert. Die zweite Probe wurde gefriergetrocknet, wie oben beschrieben gemahlen und der Gehalt an «nicht-struktur-bildenden Kohlenhydraten» erfasst. Die Extraktion der **Glucose, Fructose, Sac-**

**charose und Fructosane** erfolgte mit heissem Wasser. Die Mono- und Disaccharide wurden enzymatisch bestimmt (Boehringer 1977). Die Fructose, welche nach einer Hydrolyse der Fructosane mit Salzsäure entstand, wurde anschließend ebenfalls enzymatisch erfasst und als Fructosane ausgewiesen. Die enzymatische Bestimmung der **Stärke** erfolgte nach einer Extraktion der freien Zucker mit 80 % Ethanol und einer Hydrolyse der Stärke. Mit ausgewählten Proben wurde das Total an nicht-struktur-bildenden Kohlenhydraten (TNC), nach einer Extraktion mit 80 % Ethanol und Wasser, mit Anthronsäure quantifiziert.

### Die Temperatur beeinflusst den Gehalt

Im Frühjahr hatte das Futter unserer Ansaatwiese (SM 430) den höchsten Gehalt

an «nicht-struktur-bildenden Kohlenhydraten» (Abb. 2): Im Mittel von drei Jahren betrug bei allen Nutzungsintensitäten die Summe des Glucose-, Fructose-, Saccharose-, Fructosane- und Stärkegehaltes des ersten Aufwuchses zwischen 153 und 185 g/kg Trockensubstanz (TS). Im Verlaufe des Sommers nahm dieser Wert deutlich ab und blieb auch während des Herbstes tief: Die Gehalte der Sommer- und Herbstaufwüchse lagen zwischen 65 und 103 g/kg TS.

In der Literatur findet man eine Vielzahl von Arbeiten, die den negativen Einfluss einer höheren Temperatur auf den Gehalt an Zuckern nachweisen (Deinum 1966; Jelmini und Nösberger 1978; Kühbauch *et al.* 1978). Damit können die typischen Differenzen des Gehaltes zwischen den Jahreszeiten erklärt werden.

Das Pflanzenmaterial des ersten Aufwuchses war bei den drei Nutzungsinten-

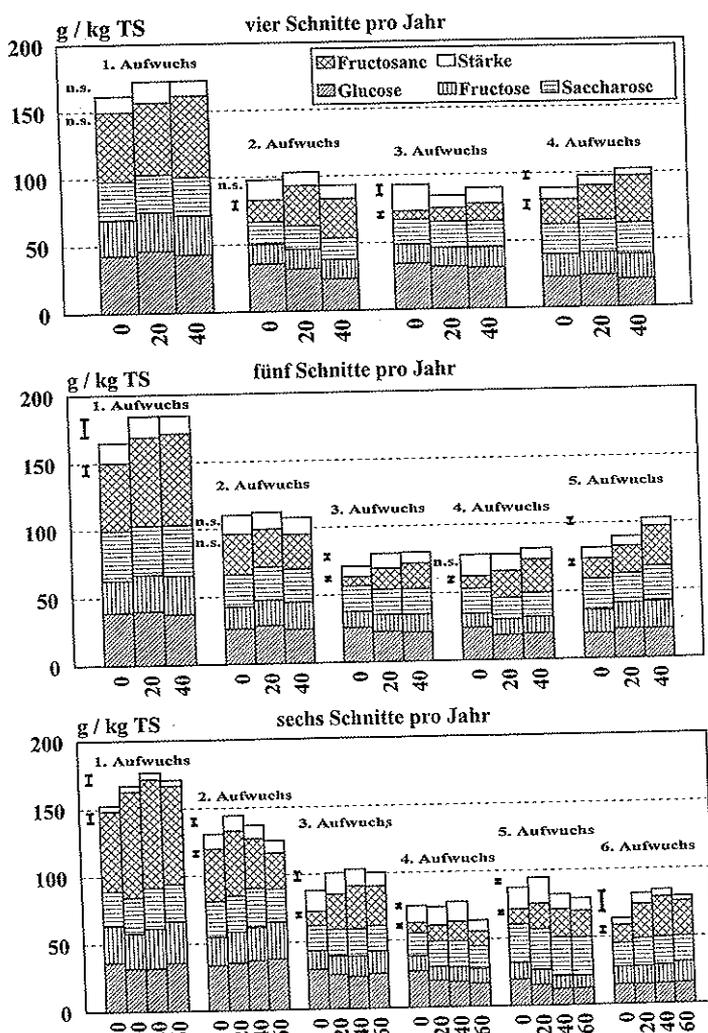


Abb. 2. Glucose-, Fructose-, Saccharose-, Fructosane- und Stärkegehalt des Futters einer unterschiedlich häufig genutzten und verschieden gedüngten Ansaatwiese (Standardmischung 430). Mittelwerte von drei Jahren. 0 = keine Stickstoffdüngung, 20 = 20 kg, 40 = 40 kg, 60 = 60 kg Stickstoff pro Hektare und Aufwuchs. Vertikale Balken: Kleinste gesicherte Differenz ( $p = 0,05$ ) des Totalgehaltes (oben), beziehungsweise des Gehaltes an Fructosanen (unten).

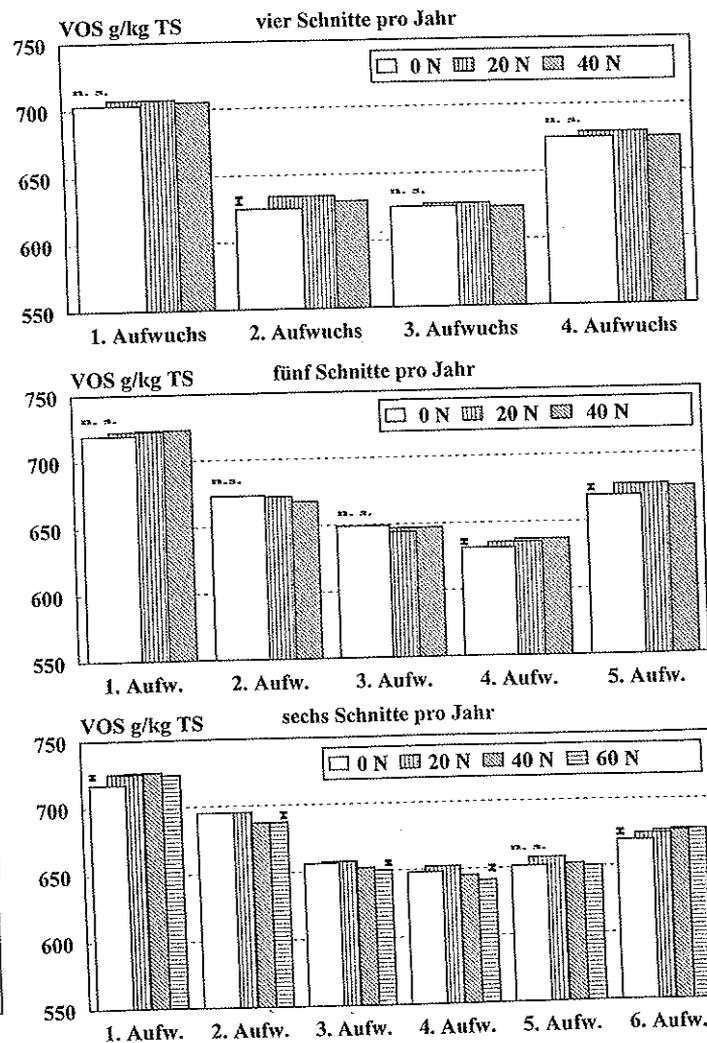


Abb. 3. Gehalt an verdaulicher organischer Substanz (VOS) des Futters einer unterschiedlich häufig genutzten und verschieden gedüngten Ansaatwiese (Standardmischung 430). Mittelwerte von drei Jahren. 0 N = kein Stickstoffdüngung, 20 N = 20 kg, 40 N = 40 kg, 60 N = 60 kg Stickstoff pro Hektare und Aufwuchs. Vertikaler Balken: Kleinste gesicherte Differenz ( $p = 0,05$ ). n.s. = nicht signifikant



sitäten unterschiedlich alt. Bis zum Entwicklungsstadium «Beginn Ähren-/Rispschieben» des Englischen Raigrases (1. Schnitt des 5-Schnittverfahrens) nahm der Gehalt an «nicht-strukturbildenden Kohlenhydraten» zu, nachher ab. Auch Meister und Lehmann (1984) beobachteten in ihren Untersuchungen mit Gräsern, dass der Gehalt an Fructosanen im Stadium «Beginn Ähren-/Rispschieben» ein Maximum erreichte und erst später abnahm. Im Klee blieb der Gehalt an Zuckern hingegen annähernd konstant.

Während des zweiten Aufwuchses wies jüngeres Futter einen deutlich höheren Gehalt an «nicht-strukturbildenden Kohlenhydraten» auf als älteres. Unterschiedliche Halmbildung und Temperaturen können dafür verantwortlich gemacht werden. Die Sommer- und Herbstaufwüchse wiederum besaßen unabhängig vom Alter einen vergleichbaren Gehalt.

## Die Gräser speichern Fructosane

Die Stickstoffdüngung wirkte bei den verschiedenen Aufwüchsen unterschiedlich auf den Gehalt an «nicht-strukturbildenden Kohlenhydraten» (Abb. 2). Sie führte meistens zu einem signifikant höheren Gehalt an Fructosanen. Dies erstaunt nicht, da eine Stickstoffdüngung vor allem die Gräser fördert (Tab. 2), welche verantwortlich sind für das Vorkommen von Fructosanen.

Der Gehalt an Glucose sank im Laufe der Vegetation je nach Nutzungsintensität von 32 bis 46 (erster Schnitt) auf 15 bis 24 g/kg TS (letzter Schnitt). Der Fructose- und der Saccharosegehalt schwankte zwischen 31 und 9, beziehungsweise 37 und 17 g/kg TS, wobei die tiefsten Gehalte vor allem im Sommer gemessen wurden. Der Gehalt an Stärke war meistens gering: 4 bis 20 g/kg TS.

Nach Smith (1973) enthalten Gräser und Klee neben den oben erwähnten Zuckern

und Polysacchariden auch kleine Mengen von Melibiose, Raffinose, Stachyose, Xylose und andere Zucker. In unseren Proben waren diese ebenfalls in Spuren vorhanden. Dies folgerten wir aufgrund der Tatsache, dass die Bestimmung der mit Ethanol und Wasser gelösten Kohlenhydrate mit Anthronsäure (TNC) im Mittel nur gerade 5 % höher lag als die Summe des Glucose-, Fructose-, Saccharose-, Fructosane- und Stärkegehaltes.

## Auswirkung auf die Verdaulichkeit

Zwischen den Aufwüchsen im Frühling und Sommer gab es grosse Unterschiede im Gehalt an verdaulicher organischer Substanz (VOS) (Abb. 3). Zählt man den Gehalt an «nicht-strukturbildenden Kohlenhydraten» vom VOS-Gehalt ab, schwankte die Restmenge an verdauter organischer Substanz zwischen Frühling und Sommer nur noch gering: je nach Nutzungsintensität betrug der Unterschied 16 bis 29 g/kg TS, wobei der erste Aufwuchs die kleinsten Differenzwerte aufwies. Die Unterschiede im VOS-Gehalt zwischen Frühling und Sommer konnten folglich zu einem grossen Teil mit dem Gehalt an «nicht-strukturbildenden Kohlenhydraten» erklärt werden. Die unterschiedliche Verdaulichkeit der Zellwände trug weniger zur Erklärung bei.

Die Aufwüchse im Herbst waren besser verdaulich als die Sommeraufwüchse, obwohl der Gehalt an «nicht-strukturbildenden Kohlenhydraten» nicht wesentlich höher lag. Diese bessere Verdaulichkeit im Herbst muss folglich einen anderen Grund haben, zum Beispiel der höhere Rohproteingehalt (Tab. 3).

## Hoher Proteingehalt im Herbst

Die letzten Aufwüchse im Herbst wiesen die höchsten Rohproteingehalte auf. Das Verhältnis Rohprotein zu Energiegehalt

war zu diesem Zeitpunkt bei allen Verfahren ausserhalb des empfohlenen Bereiches: mehr als 30 g Rohprotein pro Megajoule Nettoenergie Laktation im Futter. Bei der Verfütterung von solchem Futter wird der überschüssige Stickstoff grösstenteils mit dem Harn wieder ausgeschieden und Stickstoff geht für das Tier verloren (dies schadet dem Tier und der Umwelt). Im Verhältnis zum Rohprotein steht den Pansenmikroorganismen mit dem Herbstfutter nicht nur zu wenig Energie zur Verfügung, sondern es besteht auch ein Mangel an rasch verfügbarer Energie in Form von «nicht-strukturbildenden Kohlenhydraten». Darüberhinaus machen tiefe Zucker- und gleichzeitig hohe Rohproteingehalte die Herstellung einer einwandfreien Silage schwieriger.

Bei den anderen Aufwüchsen und Verfahren (mit Ausnahme des fünften von sechs Schnitten und dem Verfahren intensive Nutzung ohne Stickstoffdüngung) war das Verhältnis Rohprotein zur Energie innerhalb des empfohlenen Bereichs.

Die Düngung mit Stickstoff verminderte den Kleeanteil der Wiesen und senkte damit auch den Rohproteingehalt im Futter. Erst bei sehr hohen Gaben und häufiger Nutzung stieg der Gehalt wieder an.

## Einschätzung der Futterqualität

Die Resultate dieser Untersuchung helfen der Praxis, Klee-Gras-Wiesen richtig zu nutzen und deren Futterqualität zu beurteilen. Folgendes muss dabei beachtet werden:

Das Futter des ersten Aufwuchses einer Klee-Gras-Mischung war sehr gut verdaulich und enthielt einen hohen Gehalt an «nicht-strukturbildenden Kohlenhydraten». Nach dem Entwicklungsstadium «Beginn Ährenschieben» des Englischen Raigrases nahm die Verdaulichkeit deutlich ab und etwas weniger ausgeprägt auch der Zuckergehalt. Der optimale Erntezeitpunkt für Silofutter ist demnach in diesem Entwicklungsstadium erreicht.

Die Aufwüchse im Sommer und Herbst enthielten deutlich weniger «nicht-strukturbildende Kohlenhydrate». Dies wirkte sich unmittelbar auf die Verdaulichkeit und den Energiegehalt des Futters aus: Im Sommer enthielt das Futter 0,8 bis 1,0 MJ NEL/kg TS weniger als im Frühjahr.

Für die Schätzung des Gehaltes an «nicht-strukturbildenden Kohlenhydraten» muss nicht nur die Jahreszeit sondern auch die

**Tab. 2. Botanische Zusammensetzung einer Klee-Grasmischung (Standardmischung 430) in Abhängigkeit der Schnitthäufigkeit und der Stickstoffdüngung.** Mittelwerte des zweiten und dritten Hauptnutzungsjahres. 0 N = keine Stickstoffdüngung, 20 N = 20 kg, 40 N = 40 kg, 60 N = 60 kg Stickstoff pro Hektare und Aufwuchs

Stickstoffdüngung	Gras- / Klee- / Kräuteranteil in Prozent		
	vier Schnitte pro Jahr	fünf Schnitte pro Jahr	sechs Schnitte pro Jahr
0 N	43 / 43 / 14	37 / 51 / 12	34 / 55 / 11
20 N	57 / 29 / 14	53 / 35 / 12	58 / 31 / 11
40 N	74 / 16 / 10	67 / 17 / 16	67 / 11 / 22
60 N			76 / 6 / 18

Temperatur mitberücksichtigt werden: Kühle Temperaturen während eines Aufwuchses haben einen positiven Einfluss auf den Zuckergehalt. Dies gilt auch für die Sommeraufwüchse.

Der Aufwuchs im Herbst enthält viel Rohprotein und wenig Zucker. Er eignet sich daher schlechter zum Silieren als derjenige im Frühjahr. Ausserdem hat dieses Futter zuviel Stickstoff pro Energieeinheit. Herbstfutter sollte deshalb mit einem energiereichen aber stickstoffarmen Futter ergänzt werden.

Eine häufige Nutzung der Wiesen verbesserte die Verdaulichkeit der einzelnen Aufwüchse, hatte aber meistens einen geringen Einfluss auf den Gehalt an «nicht-strukturbildenden Kohlenhydraten».

Düngung mit Stickstoff förderte die Gräser. Dies bewirkte einen höheren Gehalt an Fructosanen und häufig auch einen höheren Totalgehalt an «nicht-strukturbildenden Kohlenhydraten».

## LITERATUR

Boehringer 1977. Methoden der enzymatischen Lebensmittelanalytik. Boehringer Mannheim.

Deinum B. 1966. Influence of some climatological factors on the chemical composition and feeding value of herbage. *Proc. 10<sup>th</sup> Int. Grassland Congress*, 415-418.

Fiebig H.J., Rinno G., und Ebert K., 1974. Silierfähigkeit und Futterwert von Gräsern in Abhängigkeit von Stickstoffdüngung und Schnittzeitpunkt. 1. Mitteilung: Wasserlösliche Kohlehydrate, Rohprotein und Silierfähigkeit. *Arch. Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 18, 293-303.

Frey F. und Nösberger J. 1980. Einfluss der Strahlungsintensität und des Pflanzenalters auf den Gehalt an nichtstrukturbildenden Kohlehydraten und Rohprotein von *Trifolium pratense* L. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 149, 367-375.

Jelmini G. und Nösberger J. 1978. Einfluss der Temperatur auf die Ertragsbildung, den Gehalt an nichtstrukturbildenden Kohlehydraten und Stickstoff von *Festuca pratensis* Huds., *Lolium multiflorum* Lam., *Trifolium pratense* L. und *Trifolium repens* L. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 146, 143-153.

Kühbauch W., Voigtländer G. und Spatz G. 1978. Gehalt an Nichtstrukturkohlenhydraten in Futterpflanzen aus verschiedenen Höhenlagen des nördlichen Alpenlandes und ihre Abhängigkeit von Klimabedingungen. *Das wirtschaftseigene Futter* 24 (3/4), 177-186.

Kühbauch W. und Voigtländer G. 1979. Veränderung des Zellinhaltes, der Zellwandzusammensetzung und der Verdaulichkeit von Knautgras (*Dactylis glomerata* L.) und Luzerne (*Medicago x varia* Martyn) während des Wachstums. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 148, 455-466.

**Tab. 3. Gehalt an Rohprotein einer unterschiedlich häufig genutzten und verschieden gedüngten Ansaatwiese (Standardmischung 430).** Mittelwerte von drei Jahren. 0 N = keine Stickstoffdüngung, 20 N = 20 kg, 40 N = 40 kg, 60 N = 60 kg Stickstoff pro Hektare und Aufwuchs.

Anzahl Schnitte pro Jahr	Schnitt Nr.	Rohproteingehalt g/kg TS				KGD *
		0 N	20 N	40 N	60 N	
vier	1	154	142	131		9
	2	145	131	123		10
	3	153	138	139		6
	4	215	200	197		9
fünf	1	190	179	172		11
	2	167	157	151		7
	3	172	152	143		9
	4	169	165	158		9
	5	217	222	212		n.s. **
sechs	1	213	201	191	200	11
	2	181	161	160	174	8
	3	184	158	148	148	7
	4	181	168	163	170	6
	5	195	192	195	211	6
	6	246	239	237	257	12

\* KGD = kleinste gesicherte Differenz ( $p = 0,05$ ), \*\* n.s. = nicht signifikant

Lehmann J., Schubiger F.X., Briner H.U. und Rosenberg E., 1994. Bewirtschaftungsintensität im Kunstfutterbau. *Agrarforschung* 1 (4), 163-166.

Lunden Pettersson K. and Lindgren S. 1990. The influence of the carbohydrate fraction and additives on silage quality. *Grass and forage Science* 45, 223-233.

Meister E. und Lehmann J. 1984. Art- und Sortenunterschiede der wichtigsten Futterleguminosen und Gräser in bezug auf den Gehalt an Rohprotein, Rohfaser und leicht vergärbaren Kohlehydraten. *Mitteilungen für die Schweizerische Landwirtschaft* 32 (11), 210-224.

Smith D. 1973. The Nonstructural Carbohydrates. In: Chemistry and Biochemistry of herbage. Ed. Butler G.W. and Bailey R.W. Vol. 1, 105-153.

Tilley M. and Terry R., 1963. A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Journal of British Grassland Society* 18, 104-111.

## RÉSUMÉ

### Les carbohydrates non structurés du fourrage

On a examiné les effets de la fréquence d'utilisation et de la fumure azotée sur la teneur en carbohydrates non structurés (glucose, fructose, saccharose, polyfructosanes et amidon) d'un mélange fourrager. La teneur en carbohydrates non structurés était la plus élevée dans le fourrage provenant de la première coupe (153 - 185 g/kg MS) et était fortement réduite en été et en automne (65 - 103 g/kg MS). La fumure azotée a peu influencé la teneur en carbohydrates non structurés. Elle a toutefois provoqué une augmentation de la proportion des graminées,

induisant ainsi une teneur en polyfructosanes plus élevée. La digestibilité était la meilleure lors de la première coupe et la plus faible en été. Les différences de digestibilité ont pu être expliquées par les différences de teneur en carbohydrates non structurés.

## SUMMARY

### The non-structural carbohydrates in forage

In a three year trial, the effects of cutting frequency and nitrogen fertilization on the content of non-structural carbohydrates (glucose, fructose, sucrose, fructans and starch) of a grass clover mixture were investigated. The first growth showed the highest content of non-structural carbohydrates with 153 to 185 g/kg DM. This content decreased during summer and autumn to 65 - 103 g/kg DM. Nitrogen fertilization had a small influence on the total amount of non-structural carbohydrates. Fertilization however increased the proportion of grasses and thus the content of fructans. Higher concentrations of sugars plus fructans and starch increased the digestibility of the forage. Differences in digestibility between spring and summer could be explained by different content of non structural carbohydrates.

**KEY WORDS:** non-structural carbohydrates, fructans, digestibility, forage