

Die Nichtstrukturkohlenhydrate in Gräsern des gemäßigten Klimabereiches, ihre Variationsmöglichkeiten und mikrobielle Verwertung *)

Von W. KÜHBAUCH **)

Eingegangen am 17. 5. 1977

Einleitung

Unter Nichtstrukturkohlenhydraten (NSKH) von Pflanzen verstehen wir die Kohlenhydrate des Zellinhaltes. *Nicht* als Strukturbestandteile in die Zellwand eingebaut, sind sie die stets verfügbare chemische Energie für den Stoffwechsel der Zelle, für Wachstum, Ertrag, Qualität und Regenerationsvermögen der Pflanzen.

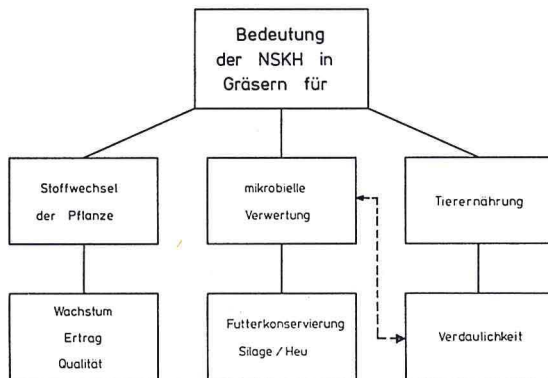


Abb. 1

Bedeutung der Nichtstrukturkohlenhydrate in Wirtschaftsgräsern
Significance of nonstructural carbohydrates in forage grasses

Die außerordentlich hohe Mobilität der NSKH ist besonders für die während einer Vegetationsperiode mehrmals genutzten Gräser des Dauergrünlandes lebenswichtig. NSKH sind aber auch die am leichtesten benutzbaren Energiequellen für Mikroorganismen. Das hat unmittelbare Folgen für die Fütterung der Wiederkäuer und die Futterkonservierung. In beiden Fällen sind NSKH Substrat für Mikroorganismen (Abb. 1).



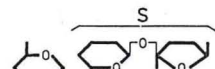
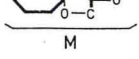
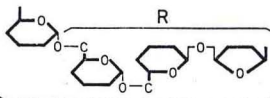
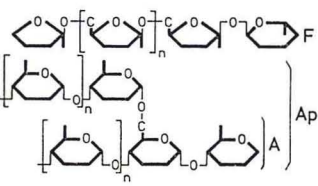
In Silagen sind sie die wichtigste Energiequelle für Laktobazillen. Daneben können aber die Substrateigenschaften zu erheblichen Verlusten in der Pflanzenproduktion, z. B. während der Heubereitung, oder während des Anwelkens von Gräsern führen; mehr als 50 % aller NSKH können dabei verloren gehen (KÜHBAUCH und ZÜCHNER, 24).

Die NSKH in Gräsern des gemäßigten Klimabereiches

In der Tabelle 1 sind die wichtigsten Formen der NSKH in Gräsern des gemäßigten Klimabereiches aufgezeigt. Mit Glucose, Fructose und Saccharose zusammen bilden die Polyfructosane („Fructosane“ oder „Fructane“) die Hauptzuckerformen des Zellinhaltes

*) Seinem hochverehrten Lehrer und Förderer, Prof. Dr. G. VOIGTLÄNDER zum 65. Geburtstag gewidmet von W. KÜHBAUCH.

**) Univ.-Dozent Dr. habil. W. KÜHBAUCH, Lehrstuhl für Grünlandlehre der TU-München, D-8050 Freising-Weihenstephan.

Monosaccharide	DP (n)	Struktur	Literatur
█ Glukose	1		Hansen u. M. (1958)
█ Fruktose	1		Mc Ilroy (1967)
Disaccharide			
█ Saccharose (S)	2		wie oben
Melibiose (M) ¹⁾	2		Laidlaw u. Reid (1952)
Difruktose (anhydr.)	2		Balley (1958) Schlubach (1955)
Oligosaccharide			
Raffinose (R) ^{1),2)}	3		Wylam (1953 u. 1954)
Stachyose (St) ^{1),2)}	4		Laidlaw u. Reid (1952)
█ Oligofruktan ^{3),4)}	3-7		Schlubach u. M. (1955) Kühbauch u. Volgländer (1974)
Polysaccharide			
█ Polyfruktosan (F) ⁴⁾	8-299		Laidlaw u. Reid (1951)
Amylose (A)	50-2000		Schlubach u. M. (1958, 1960, 1961)
Amylopektin (Ap)	→12 000		Grotelueschen u. Smith (1968) Kühbauch (1974)
			Stoddart (1956)
			Smith (1971)
			Römpp (1975)

1) in sehr geringen Mengen nachgewiesen
2) u. U. diakritisches Merkmal zu tropischen Gräsern
3) z. B. Kestose, DP = 3
4) Verzweigungen möglich als 1,2- (= Bifruktose) -
und als 2,2- (= Neobifruktose) - Typ
(SCHLUBACH u. M., 1958, 1960, 1961)
█ = Hauptzucker

Tab. 1

Die Nichtstrukturkohlenhydrate in Gräsern des gemäßigten Klimabereiches (vereinfacht)
The nonstructural carbohydrates in grasse of temperate climate zones (simplified)

der wichtigsten, alle zur Unterfamilie Festucoideae zählenden Gräser des gemäßigten Klimabereiches (Tab. 1, schwarze Balken).

Während jedoch die sogenannten freien Zucker, Glucose, Fructose und Saccharose ebenso in tropischen Gräsern vorkommen, ist Fructosan das weit überwiegende, wenn nicht ausschließliche Reservopolysaccharid in den oberirdischen Pflanzenteilen von Gräsern des gemäßigten Klimabereiches (OJIMA und ISAWA, 29). Es liegt überwiegend als unverzweigte β -2,6-verknüpfte Fructosylpolymere vor, für die sich die Bezeichnung „Phlein“ (nach *Phleum pratense*) eingebürgert hat. Neben dem linearen Phlein-Grundtyp wurden in Gräsern auch verzweigte Fructosanformen nachgewiesen, z. B. die in Weizen reichlich enthaltene Bifruktose ($n = 4$), bei der am C-1 eines Fructosylrestes der β -2,6 Grundkette ein endständiger Fructosylrest am C-2 angebunden ist (SCHLUBACH, 33; JEREMIAS, 11).

Das Phlein der Gräser ist im Gegensatz zum β -1,2-verknüpften Inulin der Kompositen leicht in Wasser löslich und fällt erst in stärker apolaren Lösungsmitteln aus. Die höchsten durchschnittlichen Polymerisationsgrade (DP) von Phlein fand man bisher in Lieschgras mit 299, entsprechend einem Molekulargewicht von ca. 47 000. Am Anfang eines Fructosanmoleküls steht häufig Saccharose*) (ASPINALL und Mitarbeiter, 2; GROTELUESCHEN und SMITH, 6). Kolloidal in der Pflanzenzelle gelöst, stellt Phlein je nach Grasart, Entwicklungsstadium und Witterung bis über 20 % der Trockensubstanz ober-

*) daher auch die Bezeichnung „Glucofructosane“

irdischer Pflanzenteile, z. B. in *Agrostis alba* (OJIMA und ISAWA, 29). In der Stengelbasis, dem Hauptreserveorgan von Gräsern können die Gehalte beträchtlich höher liegen, z. B. 40 % im verdickten Hypokotyl von Lieschgras (KÜHBAUCH und SOBERALSKE, 21).

Stärke und lösliche Amylose, die Hauptreservepolysaccharide tropischer Gräser kommen dagegen in den oberirdischen Pflanzenteilen unserer Gräser nur in sehr geringen Mengen vor (OJIMA und ISAWA, 29). Wir fanden in Knaulgras und Rotschwingel selten mehr als 1 bis 2 % in der Trockensubstanz (KÜHBAUCH, 19).

In *Lolium perenne* und *Dactylis glomerata* wurden neben den bereits genannten Kohlenhydraten auch Spuren von Melibiose, Raffinose und Stachyose gefunden (LAIDLAW und REID, 26; WYLAN, 46). Nach Auffassung von HUNTER und Mitarbeiter (10) könnten Raffinose und Stachyose als diakristisches Merkmal zu tropischen Grasarten angesehen werden.

Methodik

Die genannten Zucker können alle, z. B. mit chromatographischen Verfahren, sehr exakt bestimmt werden. In der analytischen Praxis werden aber Mono- bis Tetrasaccharide häufig unspezifisch mit 80 bis 95 % Äthanol in Wasser extrahiert, oder es wird überhaupt nur ein Wasserextrakt gemacht, in dem meist eine Fülle verschiedenartiger und verschieden polymerer Kohlenhydrate enthalten ist.

Fructosane sind je nach Polymerisation unterschiedlich gut in Äthanol-Wasser-Fractionen löslich. Entsprechend diesem Umstand finden wir z. B. die vergleichsweise kurzkettigen Fructosane von Weidelgras in einer Extraktionsreihe von reinem Äthanol bis Wasser bereits in der Fraktion mit 60 % Äthanol, während der überwiegende Anteil der Lieschgrasfructosane erst im stärker polaren Milieu, also mit Wasser extrahiert werden kann. Auch innerhalb einer Grasart lassen sich so verschieden polymere Fructosanportionen aufgrund ihrer Löslichkeit in mehr oder weniger polaren Lösungen grob voneinander trennen.

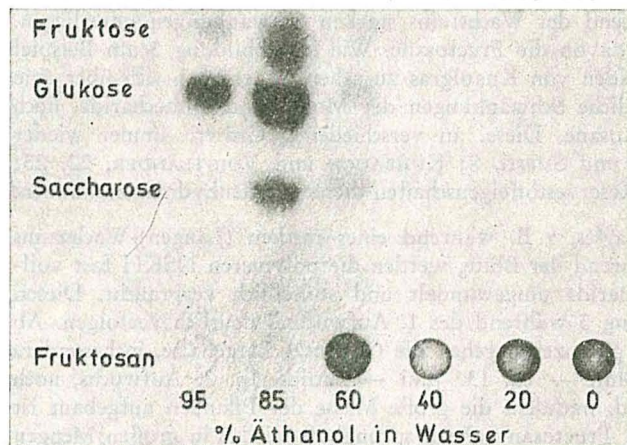


Abb. 2

Kohlenhydrate aus Äthanol-Wasser-Extrakten von Knaulgras nach Trennung an Zellose dünnsschicht

Carbohydrates of ethanol-water extracts of cocksfoot separated on cellulose-TLC

(KÜHBAUCH, 14)

In Abbildung 2 steigen in der Reihenfolge von Fraktionen 95 % — 0 % Äthanol in Wasser die DP's an. In Fraktion 95 und 85 finden sich praktisch nur Mono- und Disaccharide, während in den Fraktionen 60 — 0 zunehmend höherpolymere Fructosane extrahiert wurden (siehe Zahlenbeispiele Tab. 2).

Für die exaktere Ermittlung der DP's gibt es eine Reihe anderer Möglichkeiten: Dazu gehört das klassische Verfahren der Methylierung (SCHLUBACH und HEESCH, 34; ARNT und PERCIVAL, 1; ASPINALL und Mitarb., 2), die Molekularsiebanalyse an Dextrangelen mit linearen Dextranen

Tab. 2

Veränderung des Polymerisationsgrades von Fruktosan in Äthanol-Wasser-Fractionen aus Stengeln und Blattscheiden von Knaulgras im 3. Aufwuchs

(KÜHBAUCH, 14)

Alteration of degree of polymerization of fructosan in stems and sheaths of cocksfoot while 2nd regrowth

(KÜHBAUCH, 14)

Datum	29. 8.	5. 9.	12. 9.	19. 9.	26. 9.	3. 10.	10. 10.
Fraktion							
60	4,2	2,1	*)	5,6	12,6	9,9	11,8
40	5,8	2,2	2,3	9,3	19,9	4,3	22,3
20	6,2	2,3	3,4	13,0	17,7	18,4	49,0
0	9,0	2,2	2,3	24,3	18,2	32,5	30,4

*) Fruktosan unter 0,25 %; DP-Bestimmung unsicher

als Vergleichssubstanz (SUZUKI, 43) und, sofern Saccharose tatsächlich das Startmolekül für Fructosan ist, die Quotientbildung aus den getrennt bestimmten Anteilen von Fructose und Glucose (GROTELUESCHEN und SMITH, 6; KÜHBAUCH, 16, 17). Auch viskosimetrische und kryoskopische Verfahren wurden für die DP-Ermittlung verwendet (SCHLUBACH, 32).

Variationsmöglichkeiten und mikrobielle Verwertung von NSKH in Gräsern

1. Schwankungen der NSKH-Gehalte in Gräsern während der Vegetationszeit

Wachstumseinfluß

Aus der Praxis der Fütterung und Futterkonservierung wissen wir bereits, daß die Zuckergehalte der Gräser während des Wachstums starken Schwankungen unterliegen. Ganz besonders betroffen sind davon die Fructosane. Wie in Abbildung 3 am Beispiel des Stengels bzw. der Blattscheiden von Knaulgras zu sehen ist, ergeben sich über eine Folge von 3 Schnitten beträchtliche Schwankungen der Mono- und Disaccharide, noch weit deutlicher aber der Fructosane. Diese, an verschiedenen Gräsern immer wieder gemachte Beobachtung (HIDEO und SMITH, 8; KÜHBAUCH und VOIGTLÄNDER, 22, 23; HOPF, 9), hängt wohl mit den Reservestoffeigenschaften dieser Kohlenhydrate zusammen.

In Zeiten hohen Energiebedarfes, z. B. während eines raschen (Längen)-Wachstums (Schossen) gelegentlich auch während der Blüte, werden die polymeren NSKH fast vollständig in Mono- und Disaccharide umgewandelt und schließlich verbraucht. Diesen Ablauf können wir in Abbildung 3 während des 1. Aufwuchses deutlich verfolgen. Ab 16. Mai setzt das Schossen ein, gleichzeitig gehen die Gesamtzuckergehalte, insbesondere die Fructosangehalte bis zur Blüte — ca. 13. Juni — zurück. Im 2. Aufwuchs, noch deutlicher im 3. Aufwuchs wird, nachdem die große Masse der Pflanzen aufgebaut ist und kein Schossen mehr erfolgt, Fructosan nahezu sprunghaft wieder in großen Mengen und mit großen Anteilen der höchstpolymeren Formen (Fraktion „0“ oberhalb der gepunkteten Linie) in die Blattscheiden eingelagert; ein echter Stengel wird nicht mehr gebildet. Dasselbe Ereignis wie hier im 3. Aufwuchs mit starker Fructosananreicherung kann ebenso in einem 1. Aufwuchs stattfinden, wenn mangels Jarowisation die Schoßphase ausbleibt. Nach dem warmen Winter 1974 auf 1975 konnten wir das sehr deutlich beobachten (HOPF, 9). Bemerkenswert ist, daß die Entwicklung des Vegetationspunktes an sich überhaupt keinen Einfluß auf die Zusammensetzung der NSKH hat (KÜHBAUCH und VOIGTLÄNDER, 22).

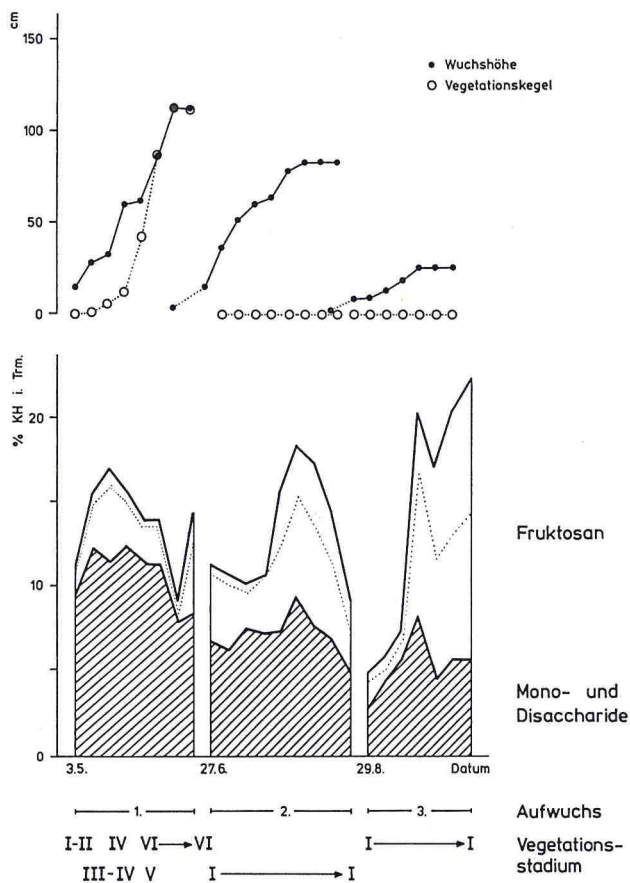


Abb. 3

Wachstum von Knaulgras
und Veränderung der NSKH
(% i. Trm.) 1973

Growth of cocksfoot plants
and variation of nonstruc-
tural carbohydrates
(% dry wt) 1973

(KÜHBAUCH UND VOIGT-
LÄNDER, 22)

Das Schneiden der Pflanze zieht dagegen die Fructosane unverhältnismäßig in Mitleidenschaft. Nicht nur die Menge der Fructosane nimmt ab, wie auf dem Bild gezeigt, sondern auch der DP (Tab. 2). Es handelt sich hier um die Fructosan-Fraktion des vorhin gezeigten 3. Aufwuchses von Knaulgras.

DPs um 2 bis 3 machen deutlich, daß Fructosan in den Stoffwechsel einbezogen wird und keine Reservestoffeigenschaften mehr besitzt. Sobald aber der Wiederaufwuchs vollzogen ist bzw., wie hier im Herbst, nur noch langsam erfolgt und also kein erhöhter Bedarf an Assimilaten existiert, werden die Reservekohlenhydrate rasch wieder zu echten Polymeren aufgebaut. Die DP's nehmen, wie bereits erwähnt, mit zunehmendem H₂O-Gehalt des Lösungsmittels zu.

Offenbar liegen Hydrolasen bzw. Polymerasen vor, die, wie SCHLUBACH und LÜBBERS (36, 37) schon andeuteten, sehr rasch auf die Änderung der Substratkonzentration reagieren können. Tatsächlich finden wir bereits 1 Stunde nach ¹⁴CO₂-Applikation auf Lieschgras ¹⁴C-Aktivität in der Fructosanfraktion, zunächst ohne Bevorzugung eines bestimmten Molekulargewichtsbereiches (Abb. 4).

Die Tatsache, daß sich innerhalb einer Woche die Menge der Fructosane (% i. Trm.) kaum geändert hat (im Bild nicht dargestellt), sich aber die spezifische Aktivität (Imp./2 ml-Fraktion) erheblich verschiebt, spricht für die erwähnte rasche Mobilität dieser Reservekohlenhydrate.

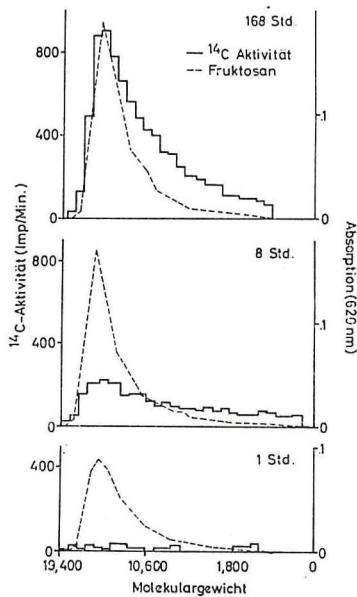


Abb. 4

Verteilung der ^{14}C -Aktivität und Fruktosanmenge aus der Stengelbasis von Lieschgras nach Elution an Sephadex G-75 „superfine“

Distribution of ^{14}C -activity and fructose in timothy stem bases after elution through Sephadex G-75 superfine (KÜHBAUCH u. SOBERALSKE, 21)

Die Pflanzen wurden zur Zeit der Blüte 45 Min. mit $^{14}\text{CO}_2$ begast und 1, 8 und 168 Stunden danach geerntet

Witterungseinfluß

In Abbildung 3 mag aufgefallen sein, daß im Hochsommer der "Zuckerberg" und vor allem wieder die Polymeren abfielen, obwohl die morphologische Veränderung der Gräser weitgehend abgeschlossen war. Es handelt sich hier offenbar um die bekannte Sommerdepression der NSKH, infolge hoher Temperaturen und hoher Veratmung, wie sie DEINUM (4) in Klimakammerversuchen demonstrieren konnte. Wie sehr auch in der Praxis die gesamten NSKH unter hohen Temperaturen sich verändern, haben wir einmal für eine Weidelgrasweißkleeweide mit 92 % Gräsern berechnet (LANG und Mitarbeiter, 27) (Abb. 5).

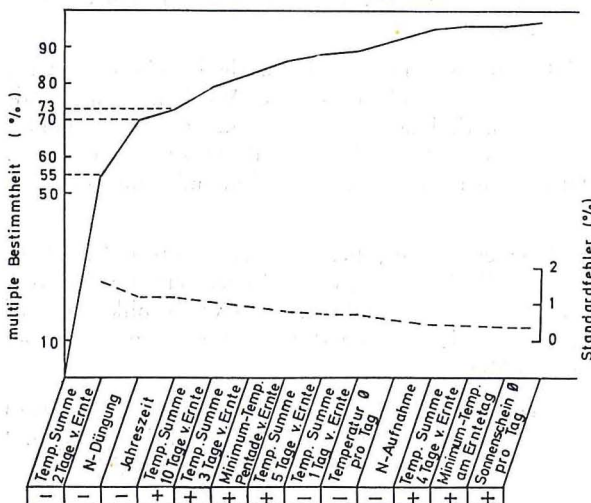


Abb. 5

Vorzeichen und Beitrag zum multiplen B der Variablen, die zur Erklärung der Varianz der Gehalte an löslichen Kohlenhydraten dienen. Höhe und Veränderung des Standardschätzfehlers.

Sign and contribution to the multiple r^2 of the variables that serve to explain the variance in the contents of soluble carbohydrates. Value and alteration of standard error of estimation.

(LANG et al., 27)

Über 50 % der Gesamtvarianz der löslichen Kohlenhydrate wird in diesem Beispiel von der Temperatursumme 2 Tage vor der Ernte bestimmt. Alle übrigen Einflüsse konnten demgegenüber fast vernachlässigt werden. Einen ähnlichen Einfluß konnten wir im vergangenen Jahr auch an einem Höhengradienten von Weihenstephan (465 m ü. NN) bis in die Alpen auf ca. 1500 m Höhe feststellen. Es ergab sich eine positive Beziehung zwischen Höhe und NSKH bzw. eine negative zur Temperatursumme über 5 °C ($r = > 0,75$) (KÜHBAUCH, 19).

In Übereinstimmung mit diesen Beobachtungen an der NSKH-Fraktion von Futterpflanzen stellten DEINUM und DIRVEN (5) fest, daß mit steigenden Temperaturen die Verdaulichkeit der Futterpflanzen abnimmt. Vor allem im Temperaturbereich unterhalb der optimalen Wachstumstemperatur ist dieser negative Einfluß besonders deutlich. Die Blätter und Blattscheiden sind davon weniger betroffen als die Stengel. Ursache dafür ist die raschere Entwicklung und Alterung des Stengels bei hohen Temperaturen, mit stärkerer Anhäufung von Strukturbestandteilen, während die Blattalterung möglicherweise durch eine hohe Blattbildungsrate zum Teil kompensiert wird.

SMITH (39) sowie SMITH und JEWISS (41), die sich um die Bearbeitung der NSKH in jüngerer Zeit besonders verdient gemacht haben, konnten in Klimakammerversuchen zeigen, daß unter dem Einfluß hoher Temperaturen wiederum vor allem polymere NSKH abnehmen. In Abbildung 6 ist das am Beispiel von Lieschgrasfructosan vom Vegetationsbeginn der Pflanze bis zur Blüte gezeigt.

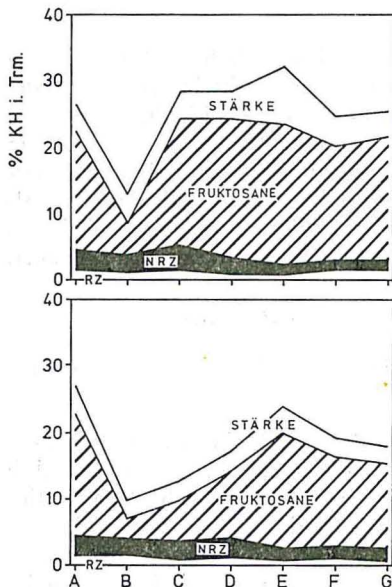


Abb. 6

Gehalt an NSKH (% i. Trm.) in der Stengelbasis von Lieschgras, das unter kühlen, 18,5 °C bei Tag / 10 °C bei Nacht (obere Teilabbildung) und warmen Temperaturen, 29,5 °C bei Tag / 21 °C bei Nacht (untere Teilabbildung) vom Wachstumsanfang (A) bis zum Beginn der Blüte (E) kultiviert wurde. F und G = 7 und 14 Tage nach dem Schnitt z. Zt. der Blüte.

Percentages of nonstructural carbohydrates (% dry wt) in the stem bases of timothy grown under cool temperatures, 18.5 C day / 10 C night (upper graph) and warm temperatures, 29.5 C day / 21 C night (lower graph) from the beginning of growth (A) to early anthesis (E) and at 7 and 14 days after cutting at anthesis (F and G)

NRZ = Nichtreduzierende freie Zucker, RZ = reduzierende freie Zucker

(SMITH, 39)

Nach unseren Untersuchungen hat es den Anschein, daß der DP der NSKH auf deren Labilität gegenüber hohen Temperaturen zusätzlich Einfluß hat. Im 2. und 3. Aufwuchs von Lieschgras sehen wir, wie bereits in Abbildung 3 (Knaulgras), daß Reservekohlenhydrate in größerem Umfang erst wieder gebildet werden, wenn die Pflanzenmasse weitgehend aufgebaut ist bzw. die morphologische Differenzierung unterbleibt (3. Aufwuchs).

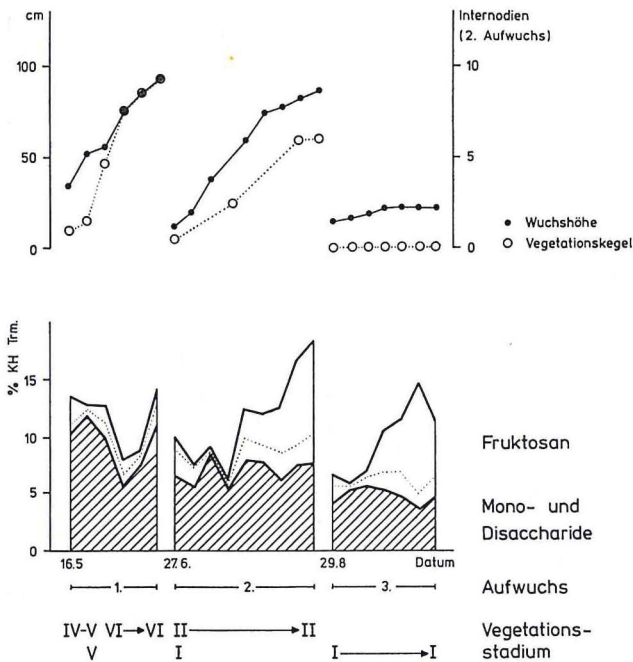


Abb. 7
 Wachstum von Lieschgras und
 Veränderung der NSKH
 (% i. Trm.) 1973
*Growth of timothy and
 variation of the nonstructural
 carbohydrates (% dry wt)
 1973*
 (KÜHBAUCH u. VOIGTLÄNDER,
 23)

Die Fructosane von Lieschgras desselben Erntejahres zeigen jedoch im Gegensatz zu Knaulgras keine Sommerdepression (Abb. 7). Das könnte ein unmittelbarer Einfluß des DP's oder auch Zufall sein. Wie wir wissen, sind jedoch die DP's von Lieschgrasfructosan wesentlich höher als von Knaulgrasfructosan. Dieser Umstand kommt auch darin zum Vorschein, daß im Lieschgrasfructosan die Fraktion mit dem höchsten Polymerisationsgrad (oberhalb der gepunkteten Linie) einen wesentlich höheren Anteil einnimmt als im Knaulgrasfructosan. Vielleicht kommen wir der Kausalerklärung für unterschiedliches Verhalten von mittel- und langkettigem Fructosan im folgenden Abschnitt etwas näher.

2. Mikrobielle Verwertbarkeit von NSKH, speziell der Gras-Fructosane

Verdaulichkeit von NSKH und Verluste bei der Trocknung von Gräsern

Es wird in der Literatur einhellig festgestellt, daß die NSKH in Gräsern wie auch in anderen Pflanzen unabhängig vom Vegetationsstadium stets zu über 98 % verdaulich sind, ganz im Gegensatz zu den Strukturpolymeren der Zellwand (Abb. 8). Im Hinblick auf den Verdauungsquotienten der Futterration sind also NSKH nur positiv zu bewerten. Analog der hohen Verdaulichkeit beobachten wir auch während des Trocknens von Gräsern (und anderen Futterpflanzen) eine große Empfindlichkeit der NSKH. Beide Ereignisse haben als Ursache überwiegend mikrobielle Vorgänge.

Es ist hinlänglich geklärt, daß die wichtigsten Mono- und Disaccharide unserer Pflanzen ohne nennenswerte „Lag“-Phase von Mikroorganismen aufgebraucht werden können. Das Interesse des Pflanzenbauers darf sich also auf die polymeren Formen der NSKH konzentrieren. Bereits in den 50er Jahren machen hierzu SCHLUBACH und GASSMANN (35) eine bemerkenswerte Feststellung. Sie beobachteten an Lieschgras während der Heubereitung geringere Kohlenhydratverluste als an anderen Gräsern. Sie führen

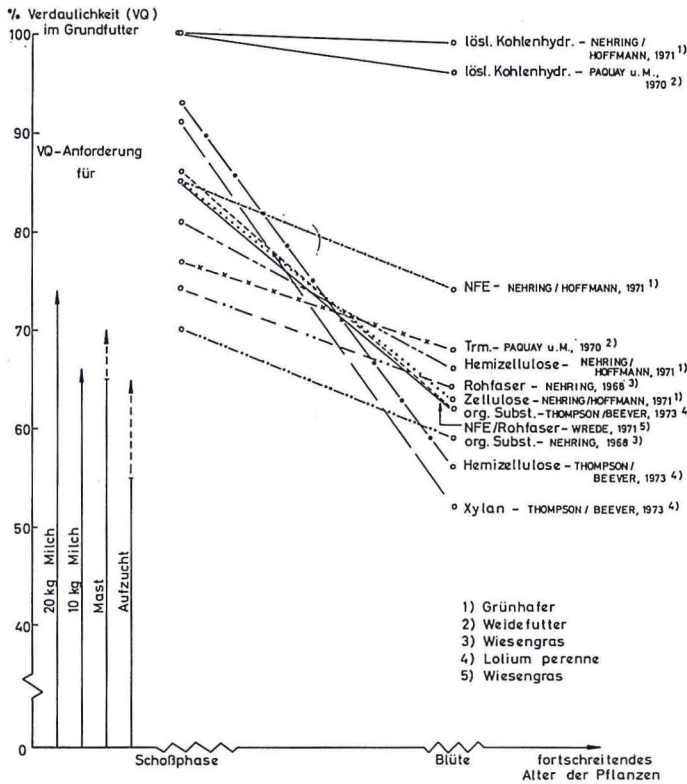


Abb. 8
Veränderung der Verdaulichkeit von Grundfutter und seiner wichtigen Bestandteile im 1. Aufwuchs; Verdaulichkeitsanforderungen verschiedener Produktionsrichtungen in der Rindviehhaltung
Changes in digestibility of forage and its essentials at first cut; requirements in digestibility for dairy production, fattening and breeding of cattle
(KÜHBAUCH, 15)

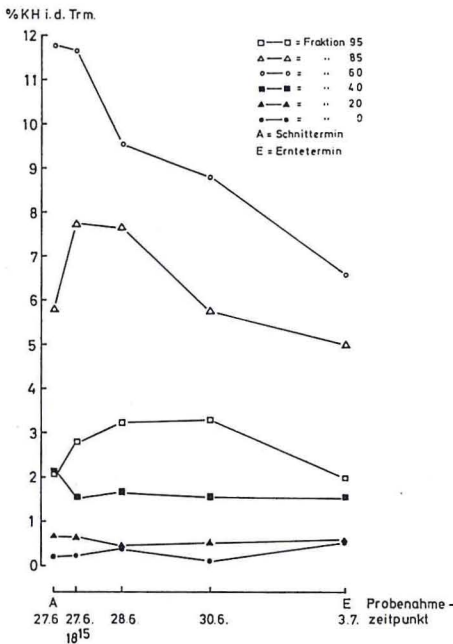


Abb. 9
Veränderungen in den Kohlenhydratfraktionen aus Deutschem Weidelgras während der Heutrocknung. Schnittzeit: Blühbeginn
Changes of the carbohydrate fractions of perennial ryegrass during hay drying. Time of cut: Initiation of anthesis
(KÜHBAUCH u. ZÜCHNER, 24)

die Beobachtung auf die höherpolymeren Fructosane zurück und empfehlen daher, Lieschgras bevorzugt zur Heubereitung zu verwenden.

In eigenen Versuchen haben wir den Abbau verschieden polymerer Fraktionen der NSKH in Gras während der Heutrocknung verfolgt. Dabei gingen kurzkettige Komponenten der Fructosanfraktion im Zeitraum von 6 Tagen weit mehr verloren als langkettige (vergleiche Fraktion „60“ mit „40, 20, 0“, Abb. 9).

Die mikrobielle Verwertbarkeit der polymeren NSKH im Modellversuch

Wir wollten die Ursachen dieses Sachverhaltes und der Beobachtungen von SCHLUBACH und GASSMANN einmal rekonstruieren, indem wir die mikrobielle Verwertbarkeit verschieden polymerer NSKH modellmäßig darstellten. Es mußten also verschieden polymere NSKH isoliert und als einzige Kohlenhydratquelle einem Brutansatz mit Bakterien zugeführt werden.

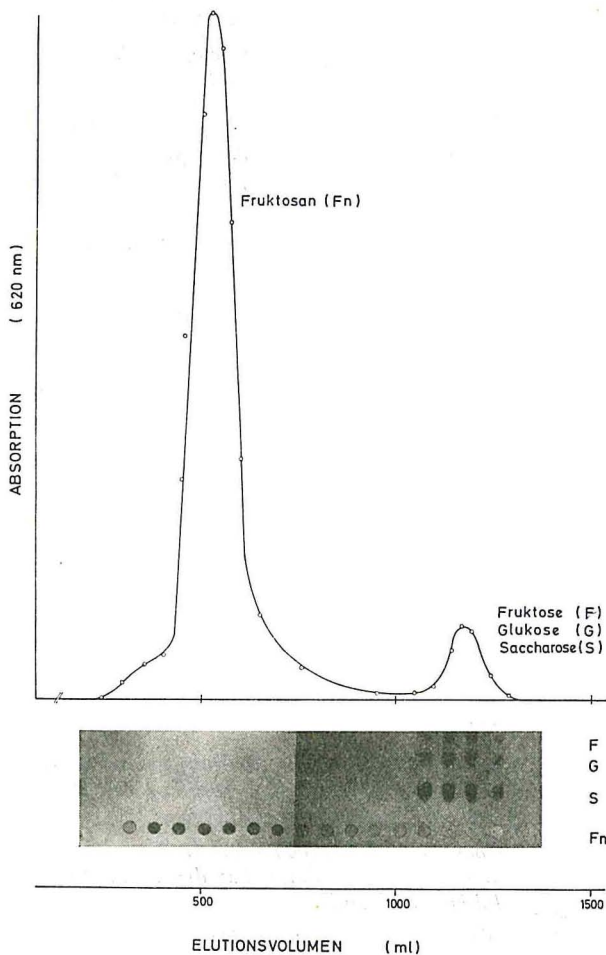


Abb. 10

Trennung des Fructosans von Mono- und Disacchariden eines gereinigten Grasextraktes; Beispiel: Hypocotyl von Lieschgras

Separation of fructosans from mono- and disaccharides of purified grass extracts; example: timothy haplocorm (KÜHBAUCH, 17)

Dazu verwendeten wir Fructosan aus der Stengelbasis von Knaulgras und dem Hypokotyl von Lieschgras, das wir jeweils, wie in Abbildung 10 gezeigt, an Sephadex durch Säulenchromatographie isolierten (KÜHBAUCH, 16, 17; KÜHBAUCH und KLEEBERGER, 20). Zunächst wurde die Identität der Fructosane festgestellt. Es ging dabei in erster Linie um das Molekulargewicht bzw. den Polymerisationsgrad, dann aber auch um Einzelbauteile und Bindungstyp der Polymeren, da nicht auszuschließen ist, daß von daher eine Beeinflussung der mikrobiellen Verwertbarkeit ausgeht.

Abbildung 11 zeigt die Ermittlung der Molekulargewichte des verwendeten Lieschgras- und Knaulgrasfructosans mit Hilfe der Vergleichssubstanzen Dextran 10 und Dextran 20.

Da in der Säulenchromatographie mit Sephadex das Verhältnis des Elutionsvolumens einer Substanz (V_e) zum Volumen des Gelbetts (V_t) aufgetragen gegen den Logarithmus des durchschnittlichen Molekulargewichtes ($\log \bar{M}_n$) linear ist (PHARMACIA, 30), kann das Zahlenmittel des durchschnittlichen Molekulargewichts berechnet werden. Knaulgrasfructosan zeigte eine relativ breite Verteilung des Molekulargewichtes mit größeren Mengenanteilen bei $V_e/V_t = 0,49$ und $0,56$. Die Verteilung des Lieschgrasfructosane im Eluat erstreckte sich dagegen auf einen sehr engen Bereich mit einem deutlichen Maximum bei $V_e/V_t = 0,35$. Daraus errechnet sich ein durchschnittliches Molekulargewicht von 25 500 entsprechend einem DP von 157,3.

Knaulgrasfructosan lag in größeren Anteilen mit Molekulargewichten um 10 600 und 6200 vor bzw. einem DP von 65,3 und 38,2.

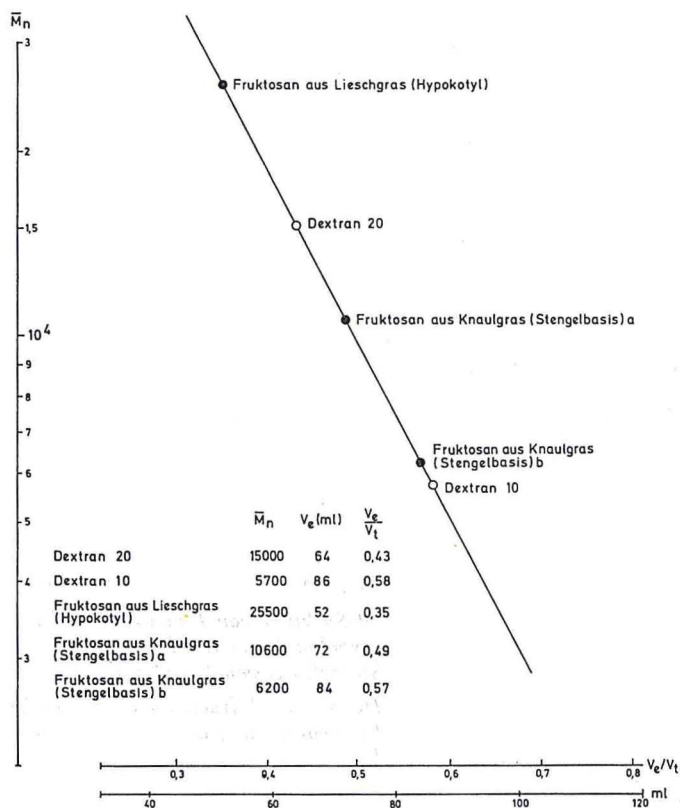


Abb. 11

Ermittlung der Molekulargewichtsbereiche von Lieschgras- und Knaulgrasfructosan an Sephadex G-75. Vergleichssubstanzen: Dextran 20 und Dextran 10

Ascertainment of molecular weight area of timothy and cocksfoot fructosan using sephadex G-75. Reference substance: Dextran 20 and Dextran 10

(KÜHBAUCH, 18)

Tab. 3

Durchschnittliches Molekulargewicht (\overline{M}_n) und Polymerisationsgrad (DP) von Fructosan aus dem Hypokotyl von Lieschgras und der Stengelbasis von Knaulgras. Vergleichssubstanzen: Dextran 20 und Dextran 10

(KÜHBAUCH u. KLEEBERGER, 20)

Average molecular weight (\overline{M}_n) and degree of polymerization (DP) of fructosan of timothy haplocorm and cocksfoot stem bases. Reference substances: Dextran 20 and Dextran 10

(KÜHBAUCH u. KLEEBERGER, 20)

Polysaccharid	nach Gelfiltration		nach Quotient	
	\overline{M}_n	(DP)	Fructose DP	Glukose (\overline{M}_n)
Hypokotyl Lieschgras	25500	(157,3)	155	(25128)
Stengelbasis Knaulgras	10600	(65,3)	52	(8442)
	6200	(38,2)		
Dextran 10	5700	(35,1)	—	—
Dextran 20	15000	(92,5)	—	—

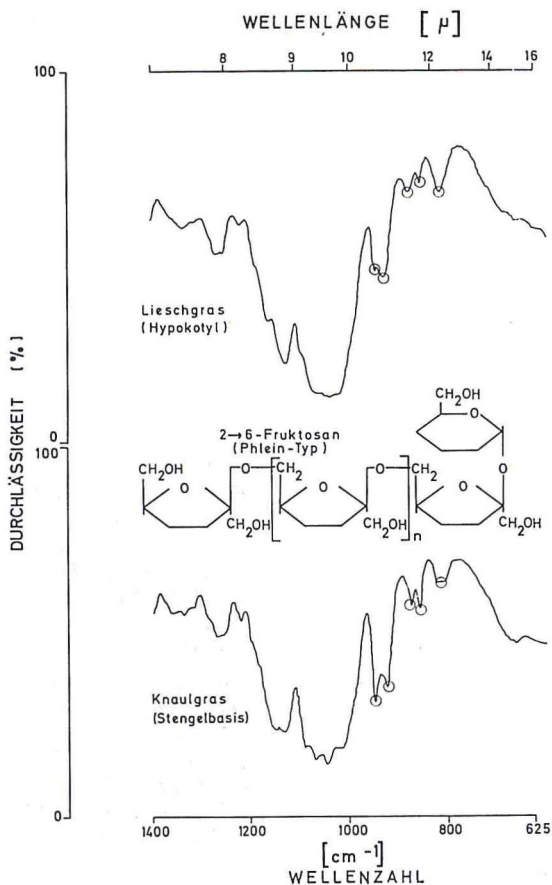


Abb. 12

IR-Spektren von Fructosan aus dem Hypokotyl von Lieschgras und der Stengelbasis von Knaulgras

IR-spectra of fructosan from timothy haplocorm and from cocksfoot stem bases

(KÜHBAUCH, 18)

Beide Fructosane bauten überwiegend auf Saccharose auf, was daraus hervorgeht, daß die Berechnung der Polymerisationsgrade aus den Molekulargewichten nach Trennung an Sephadex G-75 sowie aus dem Quotient Fructose/Glucose zu praktisch übereinstimmenden Ergebnissen führt (Tab. 3). In Abbildung 12 ist das IR-Spektrum beider Fructosane mit dem charakteristischen Bereich für Ketoseverbindungen zwischen 1000 und 700 cm^{-1} gezeigt. Lieschgras- und Knaulgrasfructosan zeigten Absorptionsmaxima bei 822, 856, 875, 924 und 946 cm^{-1} bzw. 822, 856, 875, 924 und 948 cm^{-1} . Sie sind also identisch und entsprechen nach vergleichenden Beobachtungen von SUZUKI (43) und VERSTRAETEN (44) dem typischen Absorptionsbereich der β -2,6-Phleine. Somit blieb als einziger Unterschied der beiden Polymeren ihr DP (Abb. 12).

Bakterien, welche Fructosan abbauen sollten, wurden aus Preßsaft von Grassilage gewonnen und damit auf einem Festmedium mit Fructosan als einziger Kohlenhydratquelle Ausstriche angelegt. Es entwickelten sich dabei Mischkulturen aus sporenlösen, katalase-negativen unbeweglichen Stäbchen (= definitionsgemäß: Lactobazillen). Mit diesen Mikroorganismen wurden Flüssigmedien, in denen wieder Lieschgras- bzw. Knaulgrasfructosan als einzige Kohlenhydratquelle vorlag, beimpft und der Abbau dieser Polymeren verfolgt.

Fructosan mit kürzeren Kettenlängen war bereits nach 4 Stunden zu 30 % abgebaut, während das höherpolymere Lieschgrasfructosan noch nach 20 Stunden praktisch unverändert vorlag. Nach einer langen Anpassungsphase von 28 Stunden wurden nur 10 bis 15 % abgebaut, während Knaulgrasfructosane schon nach 24 Stunden völlig verschwunden waren. Es folgt dann eine logarithmische Abbauphase, während der innerhalb von 4 Stunden sämtliches Lieschgrasfructosan bis auf einen vernachlässigbaren Rest von den Mikroorganismen verbraucht wird (Abb. 13). Der Spezialisierungsgrad der verwendeten Mikroorganismen wird dadurch hervorgehoben, daß das Trisaccharid Raffinose während einer 90stündigen Brutzeit im Gegensatz zu den Fructosanen nur zu etwa einem Drittel verbraucht wird.

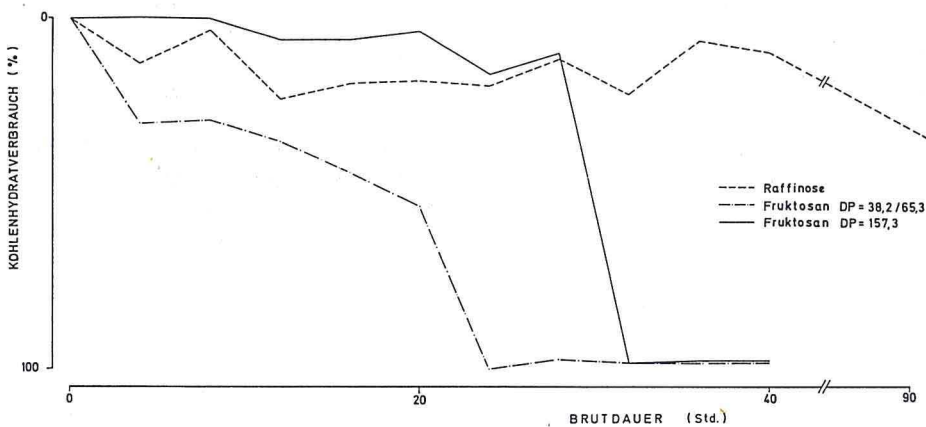


Abb. 13

Abbau von Raffinose und Fructosan von unterschiedlichem Polymerisationsgrad durch Laktobazillen aus Grassilage

Decomposition of raffinose and fructosan of different degree of polymerization by lactobacilli of grass ensilage

(KÜHBAUCH u. KLEEGERGER, 20)

Zur Differenzierung unserer bei 15°C vermehrungsfähigen Lactobazillen (Betabakterien) benutzten wir einen Bestimmungsschlüssel nach SHARPE und Mitarbeiter (38). Dabei erhielten wir 3 Gruppen von Laktobazillen, welche als Vertreter von *Lb. plantarum*, *Lb. casei* und *Lb. brevis* identifiziert werden konnten (KLEEGER und KÜHBAUCH, 12). Alle 3 Gruppen zeigten einheitliches physiologisches Verhalten, unterschieden sich aber sehr deutlich in ihrer Fähigkeit, Grasfructosane abzubauen. Nur *Lb. casei* konnte Fructosane bis auf einen geringen Rest spalten (Abb. 14). Die Fähigkeit bzw. Unfähigkeit zum Fructosanabbau ist dabei innerhalb der 3 Gruppen derart homogen ausgeprägt und zwischen den Gruppen derart scharf abgegrenzt, daß es durchaus zur taxonomischen Unterscheidung von Lactobazillen verwendet werden könnte.

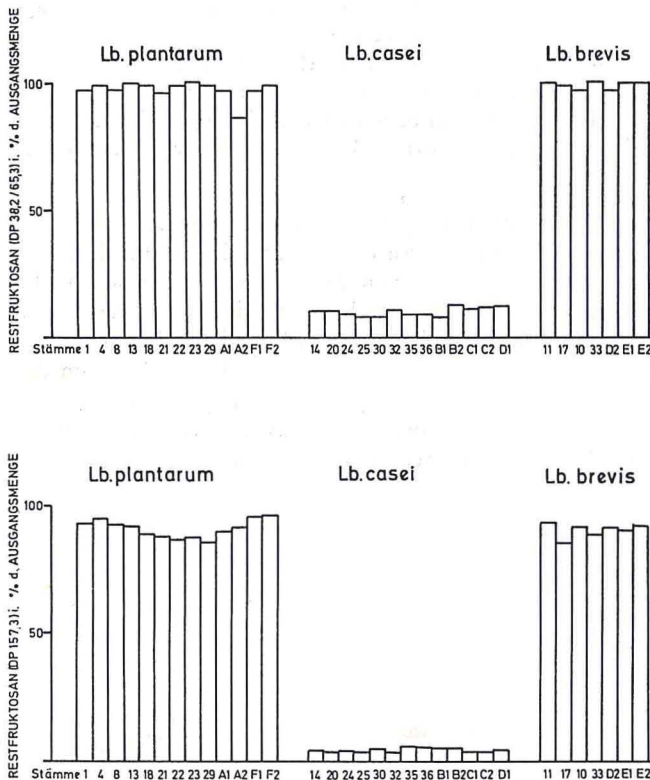


Abb. 14

Bakterieller Abbau von Fructosan aus Knaulgras (obere Teilabbildung) und Lieschgras (untere Teilabbildung)

Bacterial decomposition of fructosan of cocksfoot (upper graph) and timothy (lower graph)

(KLEEGER u. KÜHBAUCH, 12)

Praktische Möglichkeiten

Aus dem zuletzt geschilderten Versuch und den Abbildungen 3 und 6 darf mit Wahrscheinlichkeit angenommen werden, daß langkettige Fructosane einem enzymatischen Abbau durch Mikroorganismen oder pflanzeigene Enzyme länger Widerstand leisten als kurzkettige. Daraus müßten sich praktische Möglichkeiten ergeben.

Beim Anwelken oder längerem Trocknen von Gräsern würden sich hohe Anteile langkettiger NSKH wohl ganz besonders vorteilhaft auswirken, weil damit der enorme Verlust speziell der hochverdaulichen Futterkomponenten vermieden und praktisch Kraffutter eingespart werden könnte. Es ist daher zu fragen, welche Möglichkeiten sich bieten, um die höherpolymeren NSKH in der Pflanze zu fördern?

Bei der Selektion von Sorten waren wir in dieser Richtung nicht erfolgreich. Wachstums- und Witterungseinflüsse hatten in unseren Versuchen stets einen dominierenden Einfluß. Man könnte aber versuchen, wenn schon nicht den DP an sich in einer Art züchterisch zu erhöhen, so doch die Pflanzenteile mit hohem Fructosangehalt zu fördern, also Stengel und vor allem Blattscheiden. Es muß uns zu denken geben, daß die Verdaulichkeit von zweiten und dritten Aufwüchsen stets geringer ist als in den ersten Aufwüchsen. Die Jahreswitterung wird hier eine Rolle spielen, wir wissen aber auch, daß nach Abschneiden des Vegetationspunktes in den folgenden Aufwüchsen fast nur noch Blätter gebildet werden. In Blättern fanden wir aber häufig nur halb soviel NSKH wie in Stengeln und Blattscheiden (Abb. 15 und 16).

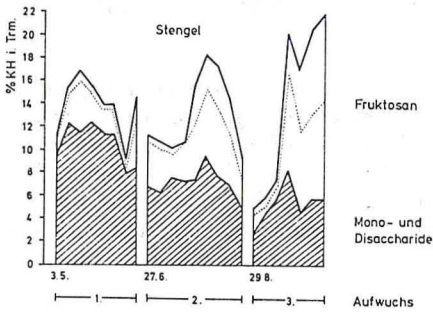
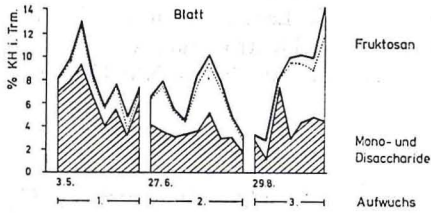


Abb. 15

Veränderung der NSKH (% i. Trm.) in Blättern und Stengeln bzw. Blattscheiden von Knautgras während 3 Aufwüchsen 1973

Variation of the percentage of nonstructural carbohydrates (% dry wt) in leaves and stems and sheaths respectively, first to third growth 1973

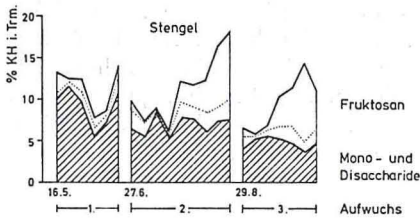
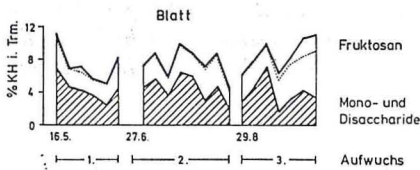


Abb. 16

Veränderung der NSKH (% i. Trm.) in Blättern und Stengeln bzw. Blattscheiden von Lieschgras während 3 Aufwüchsen 1973

Variation of the percentage of nonstructural carbohydrates (% dry wt) in leaves and stems and sheaths respectively, first to third growth 1973

Auch die Beobachtung der Entstehung langkettiger NSKH während der Vegetationszeit könnte hilfreich sein. Es sollte schließlich überdacht werden, inwiefern durch Artenkreuzung die DPs angehoben werden könnten; z. B. hat Lieschgras stets überwiegend hochpolymere Fructosane, und zwar ziemlich unabhängig vom Vegetations- und Witte-

rungsverlauf (nur die Gehalte schwanken stark). Gerade die Kreuzung mit Lieschgras dürfte aber Schwierigkeiten bereiten, zumal bisher keine natürlichen Bastarde von Lieschgras beobachtet worden sind. Einen Denkanstoß können wir auch für die Impfung von Silagen erhalten, bei der besonders auf biotopkonforme Mikroorganismen geachtet werden muß.

Zusammenfassung

Es wurde eine Übersicht über die Menge, die Formen und die Veränderung der wichtigsten Nichtstrukturkohlenhydrate (NSKH) in Gräsern des gemäßigten Klimabereiches gegeben. Im einzelnen wurden an einigen Beispielen Schwankungen der NSKH von Gräsern während der Vegetationszeit mit Berücksichtigung des Einflusses von Wachstum und Witterung gezeigt. Anhand eines Modellversuches mit Lactobazillen wurden die Verdaulichkeit der NSKH sowie deren Verluste während der Heutrocknung von Gräsern erörtert und praktische Möglichkeiten zur Maximierung der nutzbaren NSKH-Menge diskutiert.

Summary

KÜHBAUCH, W.: *Die Nichtstrukturkohlenhydrate in Gräsern des gemäßigten Klimabereiches, ihre Variationsmöglichkeiten und mikrobielle Verwertung (The nonstructural carbohydrates in grasses of temperate climate zones, their variability and microbial use).*

Landwirtsch. Forsch. 31, 1978

A review is given about the amount, quality and variability of the most important nonstructural carbohydrates (NSKH) in grasses of temperate origin. In particular the changes of NSKH contents in grasses were shown by means of a few examples during the vegetation period influenced by growth itself and climate conditions. In connection with a model trial using lactobazilli from grass ensilage, digestibility and losses of NSKH during hay drying is discussed and the possibility to maximize NSKH quantity for practical use.

Résumé

KÜHBAUCH, W.: *Die Nichtstrukturkohlenhydrate in Gräsern des gemäßigten Klimabereiches, ihre Variationsmöglichkeiten und mikrobielle Verwertung (Les hydrates de carbone non structurés dans les graminées des climats tempérés, leur variations et leur utilisation microbienne).*

Landwirtsch. Forsch. 31, 1978

Un aperçu est donné sur la quantité, les différentes formes et les variations des hydrates de carbone non structurés les plus importants dans les graminées des zones tempérées. On démontra en particulier à partir de quelques exemples les changements des teneurs pendant la période de végétation en fonction de la croissance des graminées et du climat. La digestibilité en fut étudiée à partir d'essais avec des lactobacilles ainsi que les pertes survenant pendant la déshydratation du foin de graminées. Des possibilités applicables en vue d'une obtention maximales de glucides utilisables sont démontrées.

Literatur

1. ARNI, P. C., u. PERCIVAL, E. G. V.: Studies on fructosans. J. chem. Soc. 1822 - 1830, 1951
2. ASPINALL, G. O. u. Mitarb.: Studies on fructosans. J. Chem. Soc., 337 - 343, 1953
3. BAILEY, R. W.: J. Sci. Food Agric. 9, 748 - 753, 1958; zit. n. SMITH (40)
4. DEINUM, B.: Influence of some climatological factors on the chemical composition and feeding value of herbage. Proc. 10 th Int. Grassld. Congr., Helsinki, 415 - 418, 1966

5. DEINUM, B., u. DIRVEN, J. G. P.: A model for the description of the effects of different environmental factors on the nutritive value of forages. Preprint XII Int. Grassld Congr. Moscow, 1 - 8, 1974
6. GROTELUESCHEN, R. D., u. SMITH, D.: Carbohydrates in grasses. *Crop Sci.* 8, 210 - 212, 1968
7. HANSEN, R. G., u. Mitarb.: Illinois Agr. Exp. Sta. Bull. 634, 1 - 47, 1958; zit. n. SMITH (40)
8. HIDEO, O., u. SMITH, D.: Available carbohydrate fractions in the stem bases and seed of timothy, smooth brome grass and several other northern grasses. *Crop Sci.* 4, 317 - 320, 1964
9. HOPF, M.: Veränderung von Reservekohlenhydraten in Knaulgras, Lieschgras und Weidelgras während zweier Vegetationsperioden. 20. Jahrestagung Ges. Pflanzenbauwiss. 1976
10. HUNTER, R. A., u. Mitarb.: Water-soluble carbohydrates of tropical pasture grasses and legumes. *J. Sci. Food Agric.* 21, 400 - 405, 1970
11. JEREMIAS, K.: Zur Biochemie der Polyfructosane. *Naturwiss. Rundsch.* 9, 362 - 363, 1965
12. KLEEBERGER, A., u. KÜHBAUCH, W.: Über den Abbau von Grasfructosanen durch Lactobazillen aus Silage. *Zbl. Bakteriol.* II, 131, 398 - 404, 1976
13. KÜHBAUCH, W.: Veränderung der Gehalte an Glucose, Fructose, Saccharose und Fructosan sowie des Polymerisationsgrades von Fructosanmolekülen in Blättern und Stengeln einiger Knaulgrassorten während des Wachstums. *Landwirtsch. Forsch.* 26, 173 - 181, 1973
14. KÜHBAUCH, W.: Veränderung von Kohlenhydratfraktionen in Blättern und Stengeln von Knaulgras während des Wachstums. *Landwirtsch. Forsch.* 26, 213 - 220, 1973
15. KÜHBAUCH, W.: Jahreszeitliche Veränderung des Nährwertes von Grundfutter unter besonderer Berücksichtigung definierter organ. Inhaltsstoffe. *Wirtschaftseig. Futter* 20, 23 - 36, 1974
16. KÜHBAUCH, W.: Fructosangehalt, -polymerisationsgrad und -struktur in verschiedenen Pflanzenteilen von Knaulgras. *Z. Acker- u. Pflanzenbau* 139, 85 - 96, 1974
17. KÜHBAUCH, W.: Fructosangehalt, -polymerisationsgrad und -struktur in verschiedenen Pflanzenteilen von Lieschgras. *Z. Pflanzenphysiol.* 74, 121 - 129, 1974
18. KÜHBAUCH, W.: Kohlenhydratstoffwechsel von Futtergräsern mit besonderer Bearbeitung nichtstrukturbildender Polymerer und ihrer mikrobiellen Verwertbarkeit. Habilitationsschrift, TU-München 1975, Lehrstuhl für Grünlandlehre, Eigenverlag
19. KÜHBAUCH, W.: Carbohydrate content and quality in plants depending on climate conditions in the northern alpine area. *Proc. Int. Hill Land Symp.* 1976 (in press)
20. KÜHBAUCH, W., u. KLEEBERGER, A.: Bacterial decomposition of grass fructosan of different degrees of polymerization. *J. Brit. Grassld. Soc.* 30, 223 - 227, 1975
21. KÜHBAUCH, W., u. SOBERALSKE, R.: Molecular weight and ¹⁴C-distribution of fructosan in timothy stem basis at three stages of development. *Crop Sci.* 17, 239 - 242, 1977
22. KÜHBAUCH, W., u. VOIGTLÄNDER, G.: Vegetationskegentwicklung und Variabilität von Zuckergehalten in Knaulgras. *Z. Acker- u. Pflanzenbau* 140, 85 - 99, 1974
23. KÜHBAUCH, W., u. VOIGTLÄNDER, G.: Morphologische Entwicklung und Kohlehydratstoffwechsel von Lieschgras. *Landwirtsch. Forsch.* 28, 303 - 309, 1975
24. KÜHBAUCH, W., u. ZÜCHNER, S.: Der Einfluß des Polymerisationsgrades von wasserlöslichen Kohlenhydraten in Gräsern auf deren Verluste während der Heutrocknung im Freiland. *Z. Acker- u. Pflanzenbau* 141, 249 - 255, 1975
25. LAIDLAW, R. A., u. REID, S. G.: Studies on fructosans. *J. Chem. Soc.*, 1830 - 1836, 1951
26. LAIDLAW, R. W., u. REID, S. G.: Analytical studies on the carbohydrates of grasses and clovers. *J. Sci. Food Agric.* 3, 19 - 25, 1952
27. LANG, V., u. Mitarb.: Zum Einfluß einiger Faktoren auf den Gehalt an löslichen Kohlenhydraten im Aufwuchs einer Weidelgras-Weißklee weide. *Z. Acker- u. Pflanzenbau* 136, 309 - 319, 1972
28. Mc ILROY, R. J.: Carbohydrates of grassland herbage. *Herbage Abstr.* 37, 79 - 87, 1967
29. OJIMA, K., u. ISAWA, T.: The variations of carbohydrates in various species of grasses and legumes. *Can. J. Bot.* 46, 1507 - 1511, 1968
30. PHARMACIA-Sweden: Gel filtration in theory and practice, 1970
31. RÖMPP, H.: RÖMPPS Chemielexikon. Franckh'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1972
32. SCHLUBACH, H. H.: Der Kohlenhydratstoffwechsel der Gräser. *Fortschr. chem. org. Naturst.* 15, 1 - 30, 1958

33. SCHLUBACH, H. H.: Der Kohlenhydratstoffwechsel im Roggen und Weizen. Fortschr. Chem. org. Naturst. 19, 291 - 315, 1961
34. SCHLUBACH, H. H. u. HEESCH, A.: Quantitative Bestimmung eines Gemisches von Tetramethyl-, Trimethyl- und Dimethyl-fructosen durch Verteilungschromatographie. Liebigs Ann. Chem. 572, 114 - 116, 1951
35. SCHLUBACH, H. H., u. GASSMANN, L.: Untersuchungen über Polyfruktosane. Liebigs Ann. Chem. 594, 33 - 41, 1955
36. SCHLUBACH, H. H., u. LÜBBERS, H.: Enzymatischer Aufbau von Polysacchariden in Gräsern. Angew. Chem. 66, 744 - 745, 1954
37. SCHLUBACH, H. H., u. LÜBBERS, H.: Untersuchungen über Polyfruktosane. Liebigs Ann. Chem. 598, 220 - 233, 1956
38. SHARPE, M. E., u. Mitarb.: Identification of the lactic acid bacteria; in: Identification methods for microbiologists. Part A. London 1966
39. SMITH, D.: Carbohydrates in grasses. Crop Sci. 8, 331 - 334, 1968
40. SMITH, D.: The nonstructural carbohydrates. In: Chemistry and Biochemistry of Herbage, 106 - 155, Kendall & Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, 1975
41. SMITH, D., u. JEWISS, O. R.: Effects of temperature and nitrogen supply on the growth of timothy. Ann. App. Biol. 58, 145 - 157, 1966
42. STODDART, J. L.: Ann. Bot. N. S. 30, 311 - 319, 1966; zit. n. SMITH (40)
43. SUZUKI, M.: Fructosan in the timothy haplocorm. Can. J. Bot. 46, 1201 - 1206, 1968
44. VERSTRAETEN, L. J. J.: Infrared spectra of some L-Ketoses. Anal. Chem. 36, 1040 - 1044, 1964
45. WYLAN, C. B.: Analytical studies on the carbohydrates of grasses and clovers. J. Sci. Food Agric. 4, 527 - 531, 1953
46. WYLAN, C. B.: Analytical studies on the carbohydrates of grasses and clovers. J. Sci. Food Agric. 5, 167 - 172, 1954

Die Zeitschrift „Landwirtschaftliche Forschung“ veröffentlicht Originalarbeiten aus dem Gebiet der landwirtschaftlichen Forschung, insbesondere aus den Arbeitsgebieten der Fachgruppen des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten. Aufgenommen werden Arbeiten in deutscher oder englischer Sprache.

Die Beiträge und Rezensionsexemplare sind an die Schriftleitung Postfach 11 11 44, D-6100 Darmstadt 11, zu senden.

Schriftleitung: Dipl.-Ing. agr. H. Zarges, Bismarckstraße 41 A, D-6100 Darmstadt.

Sonderdrucke: Die Verfasser erhalten auf Wunsch zum Selbstkostenpreis 30 Sonderdrucke. Bei größerem Bedarf sind besondere Vereinbarungen mit dem Verlag zu treffen.

Erscheinungsweise: Die Zeitschrift „Landwirtschaftliche Forschung“ erscheint jeweils in einem Band mit vier Heften, die in vierteljährlichen Abständen herausgegeben werden. Außerdem erscheinen nach Bedarf Sonderhefte, die besonders in Rechnung gestellt werden.

Bezugsmöglichkeiten: Die Zeitschrift „Landwirtschaftliche Forschung“ kann durch den in- und ausländischen Buchhandel oder direkt vom Verlag bezogen werden. Das Abonnement gilt bei Aufgabe der Bestellung für einen Band; es läuft weiter, wenn nicht unmittelbar nach Lieferung des Schlußheftes eines Bandes eine Abbestellung erfolgt.

Bezugspreis: Preis eines Bandes (4 Hefte) DM 116,— (empf. Richtpreis) zuzüglich Versandspesen. Preis der Sonderhefte je nach Umfang verschieden.

Verlag: J. D. Sauerländer's Verlag, Finkenhofstraße 21, 6000 Frankfurt a. M., Bankkonten: Commerzbank A. G., Frankfurt a. M. (Konto-Nr. 5408075); Stadtparkasse Frankfurt a. M. (Girokonto 96958). Postscheckkonto: Frankfurt a. M. Nr. 896-6 07.

ISSN 0023-8 147

© J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 1978

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks,
der photomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung vorbehalten

Herausgeber: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), Bismarckstraße 41 A, D-6100 Darmstadt, Telefon (0 61 51) 2 16 18. Präsident: Prof. Dr. H. Vetter, Mars-la-Tour-Straße 4, D-2900 Oldenburg, Telefon (04 41) 22 53 90. Mit der Herausgabe beauftragt: Prof. Dr. O. Siegel, Hans-Purmann-Allee 25, D-6720 Speyer. Schriftleitung: Dipl.-Ing. agr. H. Zarges, Bismarckstraße 41 A, D-6100 Darmstadt

Verlag: J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main

Satz und Druck: Graphische Kunstanstalt Wilhelm Herr, Gießen

Printed in Germany