

*Aus dem Institut für Landwirtschaftlichen und Gärtnerischen Pflanzenbau,  
Lehrstuhl für Grünlandlehre,  
der Technischen Universität München in Freising-Weihenstephan*

## **Der Einfluß des Polymerisationsgrades von wasserlöslichen Kohlenhydraten in Gräsern auf deren Verluste während der Heutrocknung im Freiland**

Von

W. KÜHBAUCH und S. ZÜCHNER

*Mit 4 Abbildungen*

Eingegangen am 1. August 1975

### **I. Einleitung**

Untersuchungen von SCHLUBACH und GASSMANN (1955) aus den fünfziger Jahren weisen darauf hin, daß die polymeren wasserlöslichen Kohlenhydrate vom Typ der Fruktosane in Gräsern bei der Heubereitung dem mikrobiellen Verbrauch weniger stark ausgesetzt sind als Mono- und Disaccharide. In Modellversuchen mit isolierten Grasfruktosanen unterschiedlichen Polymerisationsgrades konnten KÜHBAUCH und KLEEBERGER (1975) den Einfluß der Polykondensation von Kohlenhydraten auf deren Abbaubarkeit durch Laktobazillen sowie die Sensibilität verschiedener Laktobazillenstämme gegenüber Fruktosanen zeigen (siehe auch KLEEBERGER und KÜHBAUCH 1975). Hierbei stellte sich eine um so längere Anpassungsphase der Mikroorganismen an die Kohlenhydrate heraus, je länger die Fruktosanketten waren. Diese Ergebnisse waren Anlaß, die Verluste in den Kohlenhydratfraktionen mit unterschiedlichem Polymerisationsgrad zu untersuchen, die in verschiedenen Grasarten während des Trocknungsprozesses bei der Heubereitung entstehen.

### **II. Material und Methoden**

#### *1. Pflanzenmaterial*

Untersucht wurden *Dactylis glomerata* der Sorten *N.F.G.*, *Iris* und *Holstenkamp* sowie *Lolium perenne* der Sorten *Verna*, *Barlenna* und *Perma*. Von allen Sorten wurden jeweils zu

Beginn des Rispen- bzw. Ährenschiebens und zu Beginn der Blüte Proben genommen. Zugleich wurden für die Verfolgung des Kohlenhydratabbaues während des Trocknungsprozesses von beiden Schnitten je acht Proben mit jeweils gleichen Mengen Pflanzensubstanz (800 bis 1000 g) in Trockenhürden von 0,5 m<sup>2</sup> Größe eingewogen und im Drahthaus unter Freilandbedingungen getrocknet. Der Verlauf der Abtrocknung konnte durch laufende Wägung der Hürden verfolgt werden. Sobald etwa 40 % bzw. 80 % Trockenmassegehalt erreicht waren, wurde das Material von je vier Hürden einzeln gewogen, kleingeschnitten und in der Gefriertruhe bei -20 °C eingelagert. Vor der Einlagerung des Grüngutes, des angewelkten (40 % Trm) und des getrockneten Materials (80 % Trm) wurde der Trockenmassegehalt bestimmt. Die eingefrorenen Gräser wurden vor der Kohlenhydratanalyse gefriergetrocknet.

Von *Dactylis glomerata*, Sorte *Holstenkamp*, und *Lolium perenne*, Sorte *Barlenna*, wurden daneben über einen 148stündigen Trocknungsablauf zu fünf Zeitpunkten Proben gezogen und wie oben beschrieben aufbereitet.

## 2. Kohlenhydratanalyse

Das Verfahren zur Kohlenhydratanalyse wurde in einer früheren Arbeit beschrieben (KÜHBAUCH 1973). In diesem Verfahren wurden die wasserlöslichen Kohlenhydrate nach der Extrahierbarkeit in Äthanol-Wasser-Fractionen unterschieden. Hierzu wird das Pflanzenmaterial nacheinander mit 95, 85, 60, 40, 20 % Äthanol in Wasser und mit reinem Wasser extrahiert. Entsprechend wurden die in Abbildung 1 bis 4 gezeigten Fractionen mit „95“ bis „0“ bezeichnet.

In den Fractionen 95 und 85 erscheinen nahezu sämtliche Mono- und Disaccharide, hier in der Hauptsache Glukose, Fruktose und Saccharose. In Fraction 60 sind im qualitativen Nachweis mittels Dünnschichtchromatographie nur noch geringe Anteile von Mono- und Disacchariden neben meist größeren Mengen Fruktosan anzutreffen, während in der Reihenfolge der Fractionen 40 bis 0 ausschließlich Fruktosane mit zunehmender Polymerisation extrahiert werden. Da nicht in allen Sorten ausreichende Mengen der Polymeren anzutreffen waren, mußte unter diesem Gesichtspunkt eine entsprechende Auswahl getroffen werden.

## III. Ergebnisse

In den Abbildungen 1 und 2 ist am Beispiel der Weidelgrassorte *Barlenna* sowie der Knaulgrassorten *Iris* und *N. F. G.* der Kohlenhydratverlust in den Fractionen 60, 40, 20 und 0 während des Trocknungsprozesses angegeben. Die Untersuchungen beziehen sich jeweils auf die Wachstumsabschnitte „während des Rispenschiebens“ und „Beginn der Blüte“. Sowohl im Knaulgras als auch im Weidelgras verläuft für beide Entwicklungsstadien der Kohlenhydratverlust über die Trocknungsabschnitte bis 40 % bzw. bis 80 % Trockenmassegehalt insofern völlig übereinstimmend, als Fractionen mit vergleichsweise niedrigpolymeren Fruktosanen einem rapiden Abbau unterworfen sind. An der Fraction 60 wird dieser Sachverhalt in beiden Abbildungen deutlich. Von diesem prinzipiellen Verlauf weicht die Fraction 60 der Sorte *N. F. G.* in dem während der Blüte geernteten Pflanzenmaterial ab. In der Diskussion wird dazu Stellung genommen. Die Fractionen 40 bis 0, welche entsprechend der Polarität des verwendeten Extraktionsmittels zunehmend höherpolymere Fruktosane enthalten, sind dagegen während des genannten Beobachtungszeitraumes von einem wesentlich geringeren Abbau betroffen bzw. sie können ihren relativen Anteil an der Pflanzentrockenmasse unverändert halten oder gar erhöhen. Mögliche Ursachen dafür sind: Ein Konzentrationseffekt, der dadurch entsteht, daß labile Substanzen infolge mikrobieller und pflanzenenzymatischer Ein-

flüsse stärker abgebaut werden. Außerdem kann man annehmen, daß ein Polymerisationsprozeß ausgelöst wird, sobald die Substratkonzentration der monomeren Zucker und der Saccharose eine bestimmte Höhe übersteigt.

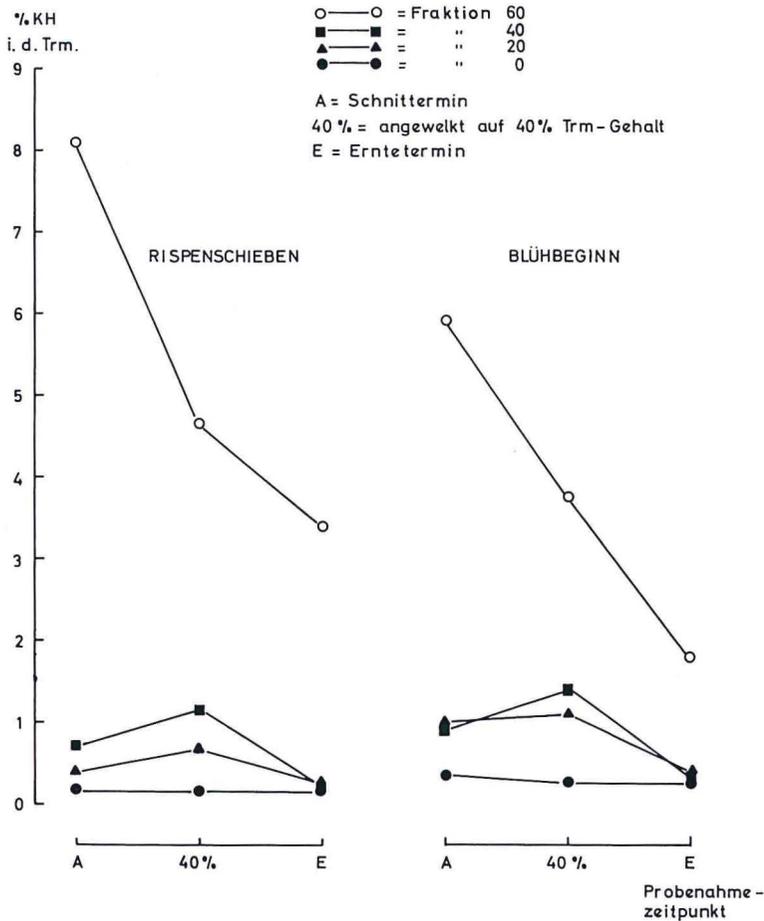


Abb. 1. Veränderungen in den einzelnen Kohlenhydratfraktionen von *Lolium perenne*, Sorte *Barlenna*, während der Heutrocknung

Changes in the individual carbohydrate fractions in *Lolium perenne*, cultivar *Barlenna*, during hay drying

In den Abbildungen 3 und 4 wird am Beispiel von Knaulgras und Weidelgras, unter Einbeziehung der Mono- und Disaccharide, in den Fraktionen 95 und 85 über fünf Trocknungszeitpunkte die Veränderung der verschiedenen nichtstrukturbildenden Kohlenhydratformen gezeigt. Es fällt auf, daß wieder, wie in den Abbildungen 1 und 2, die Fraktion 60 einem raschen Abbau unterliegt, während die Fraktionen 40, 20 und 0 weitgehend in ihrer ursprünglichen Menge erhalten bleiben. Die Fraktionen 95 und 85 verzeichnen zunächst erwart-

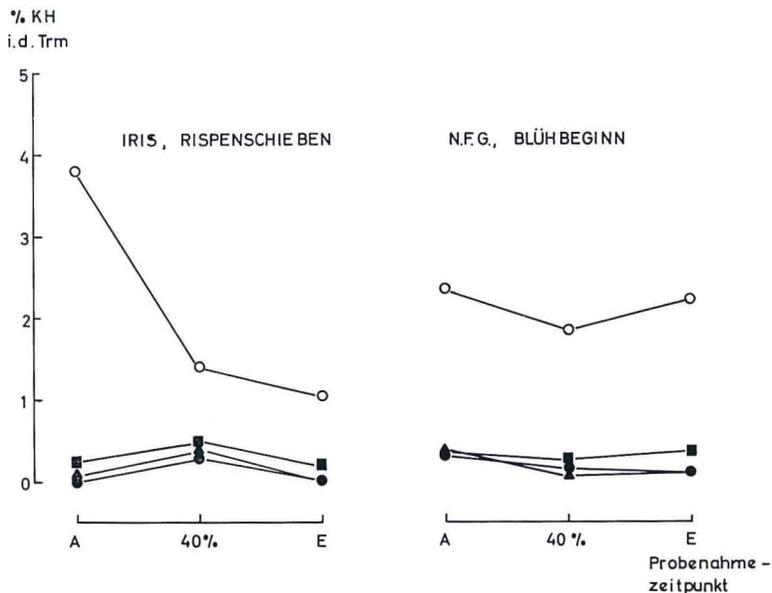


Abb. 2. Veränderungen in den einzelnen Kohlenhydratfraktionen von *Dactylis glomerata*, Sorte *Holstenkamp*, während der Heutrocknung  
 Changes in the individual carbohydrate fractions in *Dactylis glomerata*, cultivar *Holstenkamp*, during hay drying

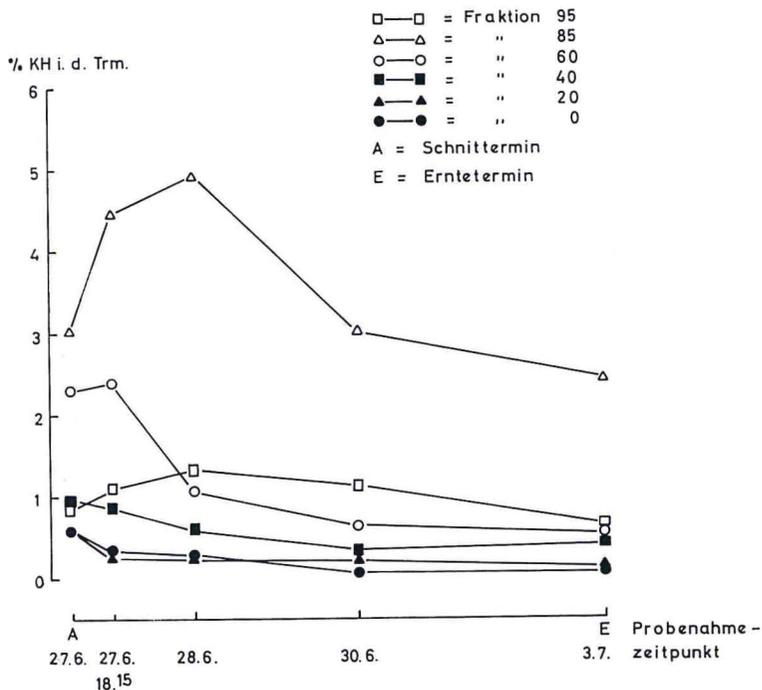


Abb. 3. Veränderungen in den einzelnen Kohlenhydratfraktionen von *Dactylis glomerata* während der Heutrocknung, Sorte *Holstenkamp*; Schnittzeitpunkt: Blühbeginn  
 Changes in the individual carbohydrate fractions in *Dactylis glomerata*, cultivar *Holstenkamp*; time of cutting at the beginning of flowering

tungsgemäß einen Anstieg, der ebenfalls zweierlei Ursachen haben dürfte: Einmal ist bekannt, daß grüne Pflanzen unmittelbar nach dem Schnitt weiter assimilieren können, zum anderen wird die Fraktion der Mono- und Disaccharide zwangsläufig durch den Abbau der höherpolymeren Zucker gespeist. Beide Einflüsse überlagern sich und lassen sich quantitativ mit den hier angewandten Verfahren nicht voneinander trennen. Die relative Anfälligkeit der

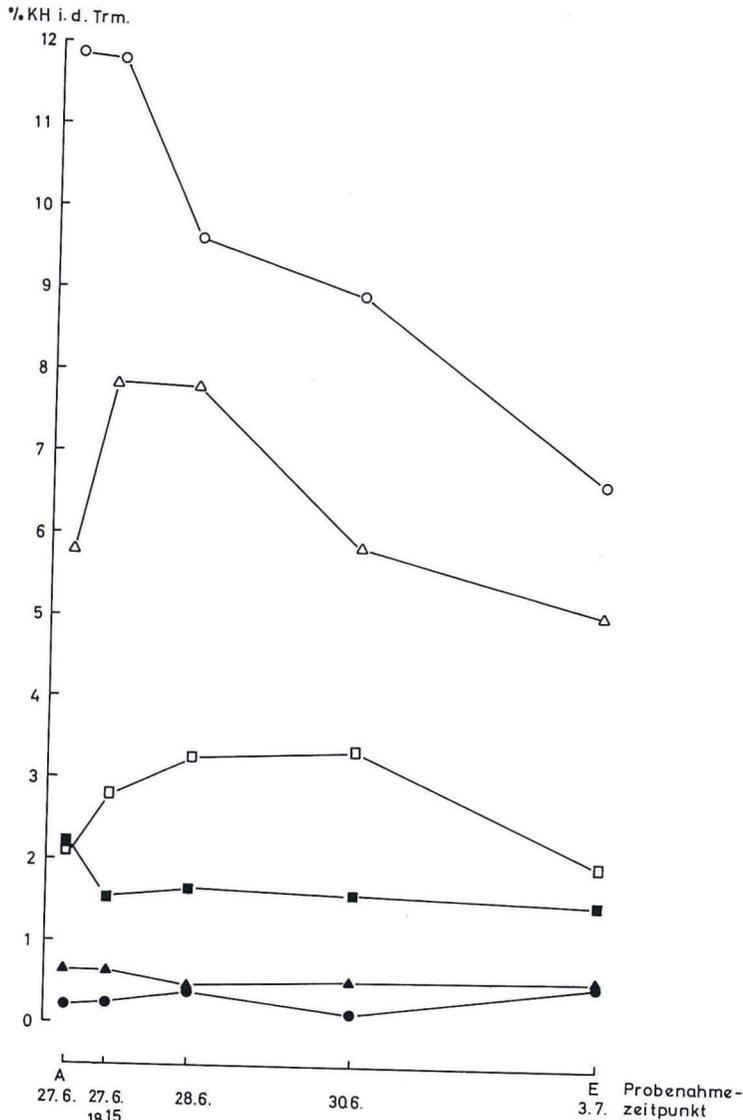


Abb. 4. Veränderungen in den einzelnen Kohlenhydratfraktionen von *Lolium perenne* während der Heutrocknung. Sorte *Barlenna*; Schnittzeitpunkt: Blühbeginn  
Changes in the individual carbohydrate fractions in *Lolium perenne* during hay drying. Cultivar *Barlenna*; time of cutting at the beginning of flowering

Fraktionen 95 und 85 gegenüber mikrobiellen und pflanzenenzymatischen Einflüssen bleibt jedoch auch in diesen Darstellungen nicht verborgen; denn dem Anstieg folgt in beiden Fällen eine Abbauphase, deren Intensität die der höherpolymeren deutlich übertrifft.

#### IV. Diskussion

In den vorliegenden Untersuchungen konnte gezeigt werden, daß der Abbau hochpolymerer, wasserlöslicher Kohlenhydrate während der Heutrocknung nur einen geringen Anteil an den gesamten Energieverlusten während des Trocknungsprozesses hat. Insofern stimmen diese Ergebnisse überein mit früheren modellmäßig durchgeführten Untersuchungen (KÜHBAUCH und KLEEBERGER 1975). Oftmals kommt jedoch im Pflanzenmaterial dieser Sachverhalt überhaupt nicht oder nicht mit der nämlichen Deutlichkeit zum Vorschein. Ein Grund dafür ist die gegenseitige Einflußnahme zwischen verschiedenen Kohlenhydratfraktionen, sei es durch den Abbau der Polymeren, sei es durch die Auslösung eines Polymerisationsprozesses infolge der Veränderung der Zuckerkonzentration im Verlauf der Trocknung (KÜHBAUCH und VOIGTLÄNDER 1975, SCHLUBACH und LÜBBERS 1954).

Erschwert wird in unserem Falle der Einblick auch dadurch, daß nur geringe Mengen an Polymeren im Pflanzenmaterial vorgelegen haben. Außerdem ist das Extraktionsgleichgewicht zwischen den verschiedenen Größenklassen der Kohlenhydrate und den jeweils verwendeten Lösungsmitteln nicht in jedem Falle exakt reproduzierbar. Heute wissen wir, daß mit Polymerisation überwiegend dann in den Gräsern zu rechnen ist, wenn die morphologische Differenzierung weitgehend abgeschlossen ist. In Wachstumsstadien, in denen, wie etwa während des Rispschiebens oder zur Zeit der Blüte, ein hoher Assimilatbedarf entsteht, werden immer wenige der hier untersuchten Fruktosane anzutreffen sein. Als echte, in der Pflanzenzelle kolloidal gelöste Reservekohlenhydrate (RICHTER 1969) stehen sie in solchen Stressituationen kurzfristig für den Verbrauch zur Verfügung; andererseits werden sie aber im zweiten oder dritten Aufwuchs von Gräsern, wenn die morphologische Differenzierung weitgehend abgeschlossen ist und die Veratmung sich in Grenzen hält, ebenso kurzfristig wieder aufgebaut. Im Hinblick auf die Energiemaximierung gewinnt daher nach unserer Auffassung der zweite und dritte Aufwuchs von Gräsern besonderes Interesse. Da Fruktosane in Stengeln und Blattscheiden bevorzugt eingelagert werden, müßten diese Pflanzenorgane in der Züchtung mehr Beachtung finden. Es müßte dann aber auch geklärt werden, ob nicht mit zunehmender Polymerisation der fast zu 100 % verdaulichen Fruktosane eine Veränderung polymerer Strukturkohlenhydrate einhergeht, welche den Vorteil der Fruktosanbildung wieder kompensieren könnte.

#### Zusammenfassung

An je drei Sorten von *Dactylis glomerata* und *Lolium perenne* wurde in verschiedenen Wachstumsstadien der Einfluß des Polymerisationsgrades von

wasserlöslichen Kohlenhydraten auf deren Verluste während der Heutrocknung im Freiland untersucht.

Kohlenhydratfraktionen mit geringem Polymerisationsgrad unterliegen einem vergleichsweise raschen Abbau, während hochpolymere Komponenten nahezu unverändert bleiben. Daraus kann man die Empfehlung ableiten, bei der Züchtung von Gräsern den polymeren Kohlenhydraten und den Pflanzenorganen, in denen diese bevorzugt eingelagert werden, mehr Beachtung zu schenken.

### Summary

#### The influence of the degree of polymerisation of water soluble carbohydrates on their loss during hay drying in the field

The loss of water soluble carbohydrates in hay drying in the field was studied in relation to the degree of polymerisation of water soluble carbohydrates in the plant. Three cultivars of *Dactylis glomerata* and *Lolium perenne* at different stages of growth were investigated.

Carbohydrate fractions characterized by a low degree of polymerisations are broken down comparatively rapidly whereas high polymer components remain almost unaltered. From this follows the recommendation that in grass breeding more attention should be given to polymerised carbohydrates and the plant organs in which these are preferentially stored.

### Literaturverzeichnis

- KLEEBERGER, A., und W. KÜHBAUCH, 1975: Über den Abbau von Grasfruktosan durch Laktobazillen aus Silage. Zbl. Bakt. II (im Druck).
- KÜHBAUCH, W., 1973: Veränderungen von Kohlenhydratfraktionen in Blättern und Stengeln einiger Knaulgrassorten während des Wachstums. Landw. Forschg. 26, 213—220.
- —, und G. VOIGTLÄNDER, 1975: Vegetationskegelentwicklung und Variabilität von Zuckergehalten im Knaulgras (*Dactylis glomerata* L.). Z. Acker- und Pflanzenbau 140, 85—99.
- —, and A. KLEEBERGER, 1975: Bacterial Decomposition of Grass-fructosan of Different Degree of Polymerization. J. Brit. Grassland Soc. 30, 223—227.
- RICHTER, G., 1969: Stoffwechselphysiologie der Pflanzen. Verlag G. Thieme, Stuttgart.
- SCHLUBACH, H. H., und H. LÜBBERS, 1954: Enzymatischer Abbau von Polysacchariden in Gräsern. Untersuchungen über Polyfructosane XL. Angew. Chem. 66, 744.
- —, und L. GASSMANN, 1955: Untersuchungen über Polyfructosane XLI. Über den Kohlenhydratstoffwechsel in *Phleum pratense*. Liebigs Ann. Chem. 594, 33—41.

Anschrift der Verfasser: Dr. W. KÜHBAUCH und Dipl.-Ing. agr. S. ZÜCHNER, Lehrstuhl für Grünlandlehre der Technischen Universität München, 8050 Freising-Weißenstephan.