

*Aus dem Institut für Grünlandlehre der Technischen Universität München,
Freising-Weihenstephan*

Vegetationskegelentwicklung und Variabilität von Zuckergehalten im Knaulgras (*Dactylis glomerata* L.)

Von

W. KÜHBAUCH und G. VOIGTLÄNDER¹

Mit 12 Abbildungen und 2 Tabellen

Eingegangen am 17. Oktober 1974

I. Einleitung

In Wirtschaftsgräsern beobachtet man während des Wachstums häufig eine deutliche Veränderung der Menge und der Qualität von Kohlenhydraten (SCHLUBACH und LÜBBERS 1956, WAITE 1958, SMITH und GROTELUESCHEN 1966). Der Polymerisationsgrad von Kohlenhydraten verdient dabei besondere Beachtung, weil damit die mikrobielle Verwertbarkeit eng korreliert zu sein scheint (SCHLUBACH und GASSMANN 1955). WAITE und BOYD (1953) stellten in Gräsern mit dem Eintritt des Vegetationspunktes in das reproduktive Stadium eine Umstimmung im Kohlenhydratstoffwechsel fest (BOMMER 1959). Darüber hinaus wird grundsätzlich ein Zusammenhang vermutet zwischen dem Entwicklungsstadium und der Qualität, d. h. den Inhaltsstoffen von Futterpflanzen. In der Praxis der Futterproduktion orientiert man sich daher zur Ermittlung des optimalen Nutzungszeitpunktes nach groben Erfahrungswerten am Entwicklungsstadium bzw. an der Wuchshöhe der Pflanzen. Exakte und langfristige Beobachtungen der Morphologie von Gräsern, die den Zusammenhang mit der Pflanzenqualität herstellen könnten, sind jedoch noch nicht erarbeitet. Das Ziel der vorliegenden Untersuchungen ist es daher, während einer ganzen Vegetationsperiode Menge und Qualität der wasserlöslichen Kohlenhydrate zusammen mit Wachstum und Entwicklung von Kraulgras zu untersuchen.

¹ Herrn Professor Dr. Dr. h. c. W. BROUWER zur Vollendung des 80. Lebensjahres gewidmet von W. KÜHBAUCH.
Seinem hochverehrten Lehrer und Förderer, Professor Dr. Dr. h. c. W. BROUWER, in Dankbarkeit gewidmet von G. VOIGTLÄNDER.

II. Material und Methoden

a) Pflanzenmaterial

Aus dreijährigen Reinbeständen im Versuchsfeld Grünschwaige des hiesigen Instituts wurde Knautgras der Sorten *Holstenkamp* und *Baraula* im Zeitraum vom 3. Mai bis 10. Oktober 1973, auf drei Aufwüchse verteilt (erster Schnittzeitpunkt am 13. Juni, zweiter Schnittzeitpunkt am 20. August), wöchentlich geerntet. Zur Ausschaltung von Nachwirkungen aus der Vornutzung wurden für jeden Aufwuchs getrennte Parzellen angelegt. Um tagesperiodische Schwankungen weitgehend zu vermeiden, wurde stets von 9 Uhr bis etwa 10.30 Uhr geerntet, die Pflanzensubstanz in Blatt- und Stengelanteile (= Stengel + Blattscheide) getrennt, mit Flüssigstickstoff eingefroren und bis zur Gefriertrocknung bei -20°C aufbewahrt. Das getrocknete Material wurde anschließend pulverisiert und in braunen Probengläsern erneut bei -20°C bis zur Untersuchung gelagert.

b) Analysenmethoden

Die Extraktion des Pflanzenmaterials erfolgte in wäßrigen Lösungen mit fallender Alkoholkonzentration und in Wasser. Es wurden 500 mg Pflanzensubstanz in jeweils 100 ml mit 95, 85, 60, 40 und 20 % Äthanol und mit Wasser 45 Minuten im Schüttelapparat extrahiert. Wie in früheren Arbeiten gezeigt, ist damit eine Trennung der Mono- und Disaccharide einerseits und von Fruktosanen unterschiedlichen Polymerisationsgrades andererseits möglich (GROTE-LUESCHEN und SMITH 1968, KÜHBAUCH 1973a). Als direkt reduzierende Zucker konnten auf Zellose dünnsschicht ausschließlich Glukose und Fruktose festgestellt werden. Glukose, Fruktose und Saccharose erscheinen, von vernachlässigbaren Spuren abgesehen, nur in den Fraktionen 95, 85 und 60 % Äthanol. Fruktosan taucht in quantitativ meßbaren Mengen erst ab Fraktion 60 auf.

Die Glukosebestimmung erfolgte enzymatisch mit Hilfe der Glukoseoxidase nach BERNDT und BERGMAYER (1970) in den Fraktionen 95 bis 60. Fruktose wurde als Differenz zwischen der Gesamtmenge der direkt reduzierenden Zucker und der enzymatisch bestimmten Glukose ermittelt, Saccharose in den Fraktionen 95 und 85 aus der Differenz der nach Hydrolyse bestimmbar Glukose abzüglich der freien Glukose. In der Fraktion 60 wurde dieser Wert noch um den mit Hilfe präparativer Dünnschicht ermittelten Glukoseanteil der hier vorkommenden Fruktosane korrigiert. In den mono- und disaccharidfreien Fraktionen 40, 20 und 0 wurden Fruktosane als Gesamtzucker nach vorhergehender Hydrolyse bestimmt. In Fraktion 60 mußten von der Gesamtzucker Menge die direkt reduzierenden Zucker und Saccharose abgezogen werden, um den Fruktosangehalt zu ermitteln. Die Bestimmung der Reduktionsäquivalente der freien Zucker bzw. von Hydrolysaten aus Saccharose und oligo- bis polymeren Fruktosanen erfolgte mit einem kolorimetrischen Verfahren nach NELSON (1944) und SOMOGYI (1952). Der Polymerisationsgrad der Fruktosane wurde nach Präparation auf Dünnschicht (VOMHOFF et al. 1966) bestimmt. Die Verfahren sind an anderer Stelle beschrieben (KÜHBAUCH 1973b).

c) Präparation der Vegetationskegel

Aus Pflanzen, die in ihrer Entwicklung dem durchschnittlichen Wachstumsfortschritt des Bestandes entsprachen, wurden die Vegetationskegel freigelegt und sofort auf AGFAPAN 25 über ein Leitz-Mikroskop, Marke „Laborlux“ mit Auflichtilluminator, bei einer Belichtungszeit von 1 bis 2 Sekunden fotografiert. Schon kurze Aufbewahrung der freigelegten Vegetationskegel an der Luft führt zur Schrumpfung und Unkenntlichkeit der Präparate. Aufbewahrung unter Alkohol ist für längere Zeit ohne Formveränderung möglich. Die Entwicklungsstufen des Vegetationspunktes wurden nach einem Vorschlag von BOMMER (1959) mit sechs Vegetationsstadien unterschieden, ausgehend von einem halbkugelförmigen Vegetationspunkt im Stadium I bis zur sichtbaren Ausbildung sämtlicher morphologischer Einzelheiten der Blütenanlage im Stadium VI.

III. Ergebnisse

a) Morphologische Feststellungen
der Entwicklung der untersuchten beiden Knaulgrassorten

In Abbildung 1 und 2 sind die Wuchshöhe und die Position des Vegetationskegels über dem Wurzelhals der beiden Knaulgrassorten *Holstenkamp* und *Baraula* dargestellt. Das Entwicklungsstadium des Vegetationskegels ist mit römischen Ziffern vermerkt; sie verweisen auf die Abbildungen 3 bis 8.

Ausgehend vom 3. Mai ist während des ersten Aufwuchses bis zum 13. Juni ein rascher Fortschritt im Längenwachstum der Pflanzen zu beobachten. Die Sorte *Holstenkamp* übertrifft in der Wuchshöhe des Durchschnittsbestandes die Sorte *Baraula* schon zu Beginn des Beobachtungszeitraumes und behält diesen Vorsprung bei. Er beträgt im ausgewachsenen Stadium etwa 15 cm.

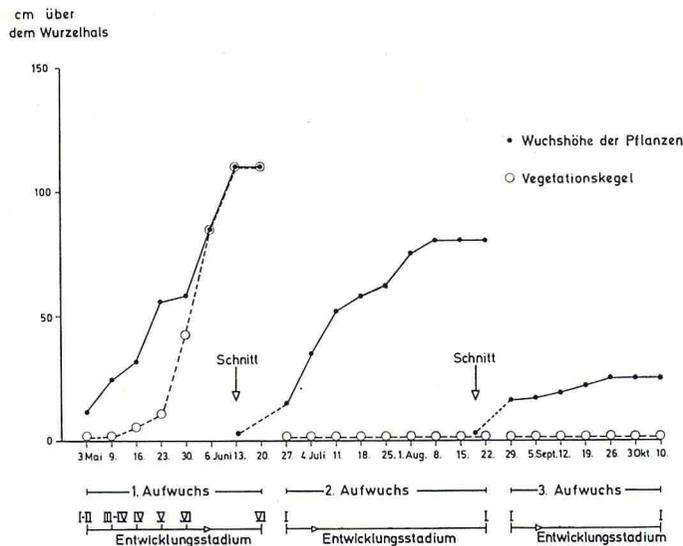


Abb. 1. Entwicklungsstadium und Lage des Vegetationskegels der Knaulgrassorte *Holstenkamp* während drei Aufwüchsen (1973)

Stage of development and position of the growing point of the cocksfoot cultivar *Holstenkamp* during three cuts (1973)

Die Position des Vegetationskegels, ein Maß für die Schoßgeschwindigkeit der Pflanzen, fällt in beiden Sorten vom 6. Juni an mit der maximalen Wuchshöhe der Pflanzen zusammen. Im vorhergehenden Wachstumsabschnitt ergeben sich hinsichtlich der Entfernung des Vegetationskegels vom Wurzelhals ebenfalls keine wesentlichen Unterschiede. Im Entwicklungsstadium des Vegetationskegels ist jedoch die Sorte *Baraula* weiter fortgeschritten als die Sorte *Holstenkamp*.

Schon zu Beginn des Beobachtungszeitraums befindet sich der Vegetationskegel der Sorte *Baraula* in Stadium III (siehe Abb. 5). In diesem Stadium

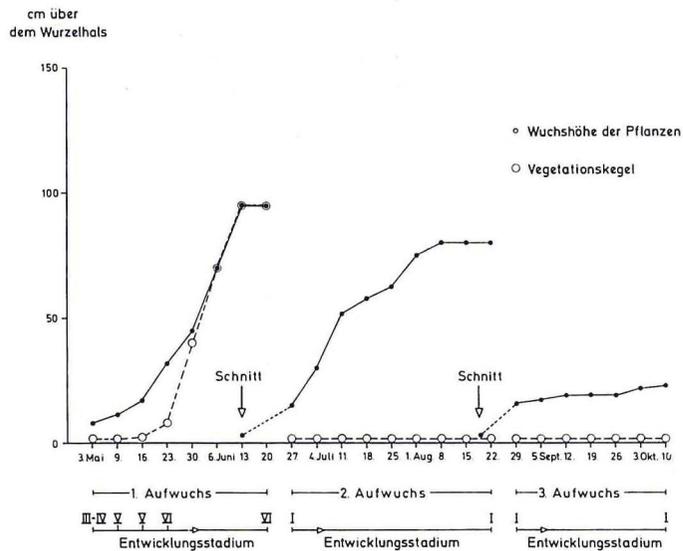


Abb. 2. Entwicklungsstadium und Lage des Vegetationskegels der Knaulgrassorte *Baraula* während drei Aufwüchsen (1973)

Stage of development and position of the growing point of the cocksfoot cultivar *Baraula* during three cuts (1973)

wachsen aus den Achseln der Blattprimordien seitlich sekundäre Vegetationspunkte (BOMMER 1959) bzw. aus den sekundären, geringfügig verlängerten Vegetationspunkten bereits wieder tertiäre heraus (Stadium IV; siehe Abb. 6).

Die überwiegende Anzahl der Individuen der Sorte *Holstenkamp* befindet sich zum selben Zeitpunkt erst in einem Entwicklungsabschnitt, in dem der Vegetationspunkt als halbkugelförmiges Organ erscheint, das von maximal drei wulstförmigen Blattprimordien umgeben ist (Stadium I; siehe Abb. 3), oder es hat eine apikale kegelförmige Verlängerung des Vegetationspunktes stattgefunden

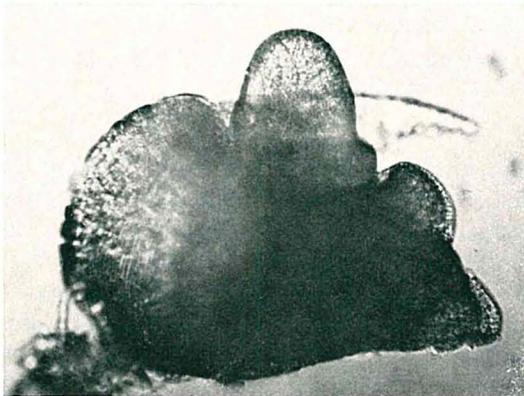


Abb. 3. Stadium I: Ein Blattprimordium, wulstförmig den Vegetationspunkt umfassend, an der Basis verlängerte Blattanlagen, natürliche Größe 0,2 mm

Stage I: one leaf primordium, enclosing the growing point in a roll, elongated leaf initials at the base, natural size 0.2 mm

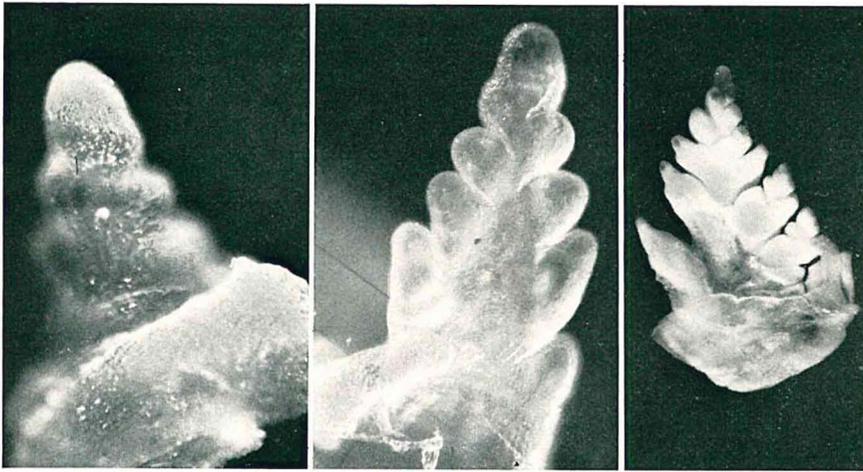


Abb. 4 (links). Stadium II: Sechs bis sieben Primordien an verlängertem Vegetationspunkt, Übergangsstadium zu III, natürliche Größe 0,5 mm

Stage II: six or seven primordia on the elongated growing cone, transitional phase towards stage III, natural size 0.5 mm

Abb. 5 (Mitte). Stadium III: Aus dem Vegetationskegel sekundäre Vegetationspunkte hervorstehend, natürliche Größe < 1 mm

Stage III: secondary growing points emerging from the growing cone, natural size < 1 mm

Abb. 6 (rechts). Stadium IV: Verzweigung der Rispenäste mit sekundären und tertiären Vegetationspunkten, natürliche Größe 1 bis 2 mm

Stage IV: ramification of the lateral panicles with secondary and tertiary growing points, natural size 1—2 mm

den, an dem dann mehr als drei Blattprimordien Platz haben (Stadium II; siehe Abb. 4). In Stadium V (Abb. 7) werden die ersten Antherenanlagen sichtbar. Die Ausformung der vollständigen Blüten und Ährchen beginnt und endet schließlich mit Stadium VI (Abb. 8), in dem alle morphologischen Einzelheiten der Blütenanlage einschließlich der Hüll- und Deckspelzen zu erkennen sind. Der Blühbeginn wurde bei *Baraula* am 9., bei *Holstenkamp* am 13. Juni notiert, die volle Blüte am 13. bzw. 16. Juni.

In den beiden folgenden Aufwüchsen verlaufen Wuchshöhe, Position und Entwicklungsstadium des Vegetationskegels in beiden Knaulgrassorten praktisch deckungsgleich. Bemerkenswert dabei ist, daß sowohl im zweiten als auch im dritten Aufwuchs eine Differenzierung des Vegetationskegels über das Stadium I hinaus nicht stattfindet. Auch die Position des Vegetationskegels bleibt in beiden Aufwüchsen unverändert unmittelbar über dem Wurzelhals.

Diese Beobachtungen beziehen sich auf die Masse des Bestandes und schließen nicht aus, daß einzelne Individuen im Bestand des zweiten Aufwuchses die generative Phase erreichen. Es dürfte sich jedoch dabei nicht um einen echten, zweiten Aufwuchs handeln, sondern um einen Nachwuchs von Bestockungstrieben, die beim ersten Schnitt verschont geblieben waren.

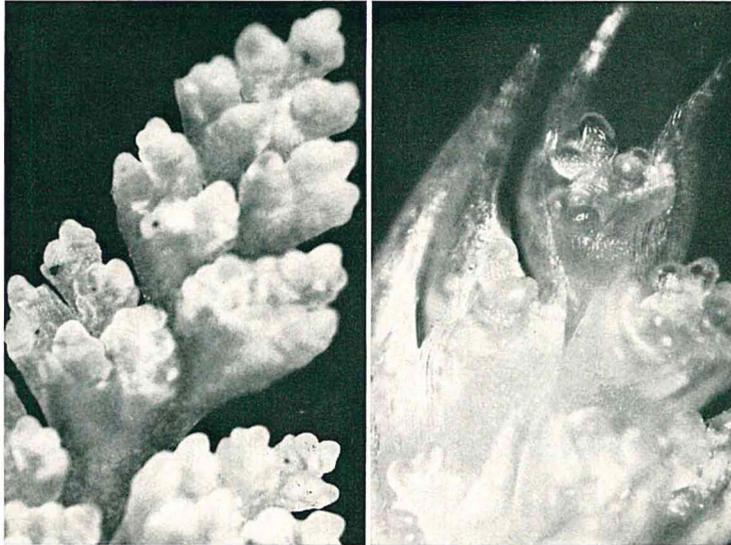


Abb. 7 (links). Stadium V: Sämtliche Rispenäste ausgebildet, Antherenanlagen sichtbar, natürliche Größe der ganzen Rispe 3 bis 7 mm

Stage V: all panicles formed, anther initials visible, natural size of the whole panicle 3—7 mm

Abb. 8 (rechts). Stadium VI: Alle morphologischen Einzelheiten der Blütenanlage erkennbar, natürliche Größe der ganzen Rispe 50 bis 60 mm

Stage VI: all morphological units of the flower initial visible, natural size of the whole panicle 50—60 mm

b) Veränderung der Kohlenhydratfraktionen

Im Verlaufe des ersten Aufwuchses erreicht die Sorte *Holstenkamp* am 16. Mai mit über 16 % Gesamtzucker in den Stengeln und Blattscheiden ein erstes Maximum (siehe Abb. 9). Die Wuchshöhe beträgt zu diesem Zeitpunkt 30 cm. Der Vegetationskegel befindet sich etwa 6 cm über dem Wurzelhals und hat in der überwiegenden Mehrzahl der untersuchten Einzelpflanzen das Entwicklungsstadium IV erreicht. Den Hauptanteil der Zucker bilden zu diesem Zeitpunkt, wie überhaupt im ersten Aufwuchs, Glukose, Fruktose und Saccharose. Der relativ geringe Fruktosananteil besteht wesentlich aus Kondensaten, deren Polymerisationsgrad einen DP^1 von 14 nicht übersteigt (vgl. Abb. 9; Tab. 1, Fraktion 60). Die anschließende Verringerung der Gesamtkohlenhydrate bis zum 13. Juni fällt zusammen mit dem beschleunigten Längenwachstum, also dem Schossen der Pflanzen (siehe Abb. 1), bis hin zur Blüten- und Samenbildung. Der Blühbeginn am 13. Juni verursacht offenbar eine gravierende Verringerung der Gesamtzuckergehalte in der ganzen Pflanze (siehe Abb. 9 und 10), die aber bis zum 20. Juli wieder aufgeholt wird. Ab 20. Juli entstehen in den Stengeln und Blattscheiden der Sorte *Holstenkamp* wieder höhere Zuckergehalte mit beachtlichen Fruktosanmengen.

¹ DP = durchschnittlicher Polymerisationsgrad.

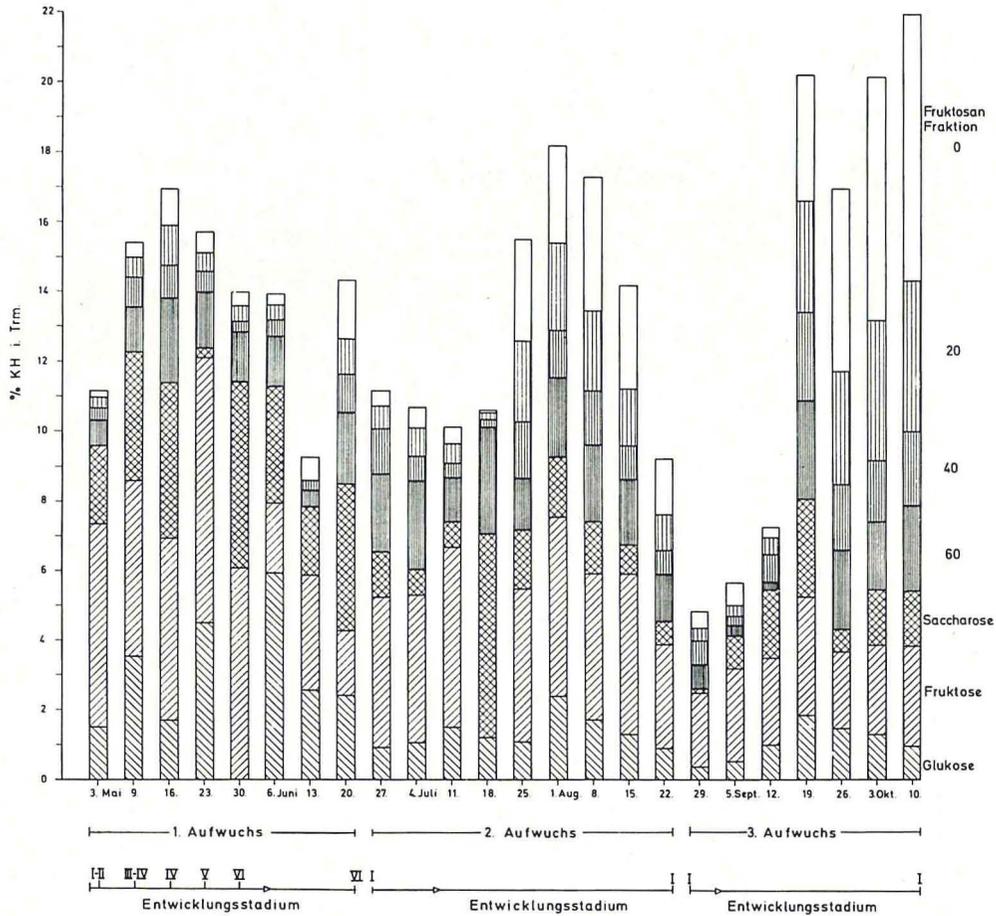


Abb. 9. Veränderung von Menge und Qualität nicht strukturbildender Kohlenhydrate in Stengeln bzw. Blattscheiden der Knaulgrassorte *Holstenkamp* während drei Aufwüchsen (1973)

Alteration in the amount and quality of the carbohydrates not connected with structure formation in stems or sheaths of the cocksfoot cultivar *Holstenkamp* during three cuts (1973)

Die Blätter (siehe Abb. 10) zeigen ähnliche Schwankungen des Zuckergehaltes wie die Stengel und Blattscheiden, bewegen sich aber damit, wie bereits früher gezeigt (KÜHBAUCH 1973 b), auf einem deutlich niedrigeren Niveau. Auch hier finden wir das Kohlenhydratmaximum am 16. Mai, das Minimum am 13. Juni. Bis zum 20. Juni kann auch in den Blättern wieder eine Anreicherung der wasserlöslichen Kohlenhydrate erfolgen. Aus Tabelle 1 geht hervor, daß die Menge der höherpolymeren Fruktosane in den Fraktionen 40, 20 und 0 in den Stengeln in größeren Anteilen vertreten ist als in den Blättern. Außerdem liegt dort der maximale DP stets um zehn Einheiten (mit nur einer Ausnahme am 9. Mai) in den Stengeln höher als in den Blättern. Auch diese Beobachtung stimmt mit früheren Untersuchungen überein. Insgesamt wird also die Variabilität der

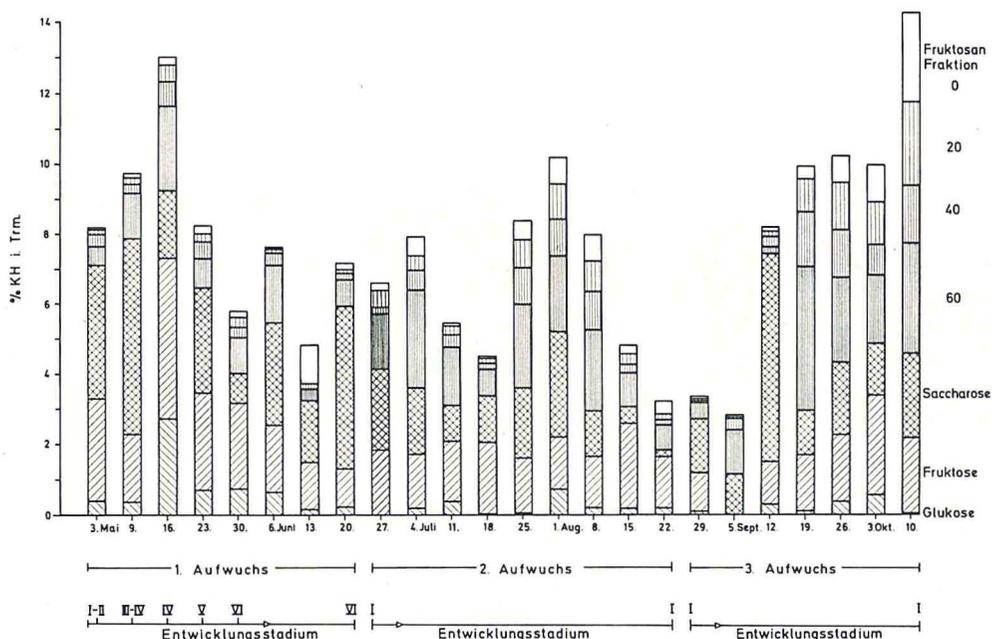


Abb. 10. Veränderung von Menge und Qualität nicht strukturbildender Kohlenhydrate in Blättern der Knaulgrassorte *Holstenkamp* während drei Aufwüchsen (1973)

Alteration in the amount and quality of the carbohydrates not connected with structure formation in leaves of the cocksfoot cultivar *Holstenkamp* during three cuts (1973)

Gesamtzucker im ersten Aufwuchs in Blättern und Stengeln von den Mono- und Disacchariden bestimmt.

Dieser Eindruck setzt sich im zweiten Aufwuchs bis zum 18. Juli fort. Während dieser Zeit verläuft der Neuzuwachs der am 13. Juni geschnittenen Pflanzen, gemessen in cm Wuchshöhe, am schnellsten (siehe Abb. 1). Wie aus Tabelle 1 zu ersehen ist, werden in dieser Phase des raschen Substanzzuwachses neben den offenbar im Baustoffwechsel fungierenden Mono- und Disacchariden überwiegend Fruktosane beobachtet, die definitionsgemäß (bis DP 7, vgl. BROCKHAUS 1969) zu den Oligosacchariden zu zählen sind. Es erscheint in diesem Zusammenhang einleuchtend, daß die kurzketigen Fruktosepolymeren eine Transportfunktion übernehmen. SCHLUBACH et al. (1955) nehmen aus ihren Beobachtungen an Gräsern eine weite Verbreitung solcher Verbindungen im Stoffwechsel der Pflanzen an. Mit der Verlangsamung des Längenwachstums setzt jedoch ab dem 25. Juli eine Anreicherung höherpolymerer Fruktosane ein, die dann zum großen Teil in Fraktion 20 und 0 mit Molekulargewichten zwischen etwa 3000 und 8000 erscheinen und einem DP von 20 bis 50 entsprechen (vgl. Tab. 1). Der Rückgang der Gesamtzucker vom 25. Juli bis 22. August betrifft Fruktosane sowie Mono- und Disaccharide gleichermaßen und wird wohl mit der bekannten Temperaturabhängigkeit (SMITH 1968, DEINUM 1969) der Zuckergehalte in Futterpflanzen zu erklären sein. Wie bereits im ersten Aufwuchs beobachtet, stellt sich der Zuckerberg in den Blättern während des zweiten Auf-

Tabelle 1 Veränderungen des Polymerisationsgrades von Fruktosan in Äthanol-Wasser-Fractionen aus Blättern und Stengeln (Stengel und Blattscheiden) der Knaulgrassorte Holstenkamp (1973)

Alterations in the degree of polymerization of fructosan in ethanol-water fractions from leaves and stems (stem and sheaths) of the cocksfoot cultivar Holstenkamp (1973)

Datum	Blätter - Polymerisationsgrad											
	3. 5.	9. 5.	16. 5.	23. 5.	30. 5.	6. 6.	13. 6.	20. 6.	27. 6.	4. 7.	11. 7.	18. 7.
Fraktion												
60	5,8	5,8	11,6	7,1	2,6	15,8	12,1	14,0	+	12,0	5,7	2,2
40	11,9	12,3	19,7	9,6	8,5	14,6	+	+	+	10,1	9,9	+
20	+	+	20,4	4,9	12,0	+	+	+	+	15,7	+	+
0	+	+	+	+	+	+	10,2	+	+	31,0	+	+
Datum	25. 7.	1. 8.	8. 8.	15. 8.	22. 8.	29. 8.	5. 9.	12. 9.	19. 9.	26. 9.	3. 10.	10. 10.
Fraktion												
60	14,0	15,4	25,4	14,0	20,4	3,5	1,5	+	7,7	11,9	9,9	16,3
40	18,3	16,6	27,1	12,3	+	+	+	4,5	14,6	25,0	2,1	22,5
20	13,0	24,4	27,7	9,2	+	+	+	+	6,9	21,6	7,1	25,1
0	12,1	20,0	28,3	9,4	9,0	+	+	+	9,3	5,1	11,7	32,8
Datum	Stengel - Polymerisationsgrad											
Datum	3. 5.	9. 5.	16. 5.	23. 5.	30. 5.	6. 6.	13. 6.	20. 6.	27. 6.	4. 7.	11. 7.	18. 7.
Fraktion												
60	10,8	9,0	11,4	8,2	3,4	12,8	12,9	2,9	14,4	17,5	4,4	5,8
40	14,9	10,1	14,0	10,6	7,8	13,5	12,2	18,4	22,0	27,0	10,1	+
20	9,5	11,4	21,7	15,2	9,3	19,7	+	16,2	+	14,6	11,8	+
0	+	8,6	24,5	21,6	15,4	6,7	11,9	30,3	+	54,6	5,8	+
Datum	25. 7.	1. 8.	8. 8.	15. 8.	22. 8.	29. 8.	5. 9.	12. 9.	19. 9.	26. 9.	3. 10.	10. 10.
Fraktion												
60	14,2	14,3	21,4	10,3	11,6	4,2	2,1	+	5,6	12,6	9,4	11,8
40	21,6	9,5	30,7	9,8	12,5	5,8	2,2	2,3	9,3	19,9	4,3	22,3
20	26,1	18,1	36,1	12,5	17,3	6,2	2,3	3,4	13,0	17,7	18,4	49,0
0	19,9	36,2	50,7	19,0	48,3	9,0	2,2	2,3	24,3	18,2	32,5	30,4

+ Fruktosan unter 0,25 %; DP-Bestimmung unsicher.

wuchses ähnlich dar wie in den Stengeln und Blattscheiden. Abweichend vom ersten Aufwuchs liegen jedoch die Gesamtzuckermengen mit deutlichem Abstand in den Blättern niedriger. Außerdem sind sowohl die Fruktosangehalte als auch die maximalen Polymerisationsgrade, diese um über 20 DP-Einheiten, geringer als in den Stengeln (vgl. Abb. 10 und Tab. 1).

Während des dritten Aufwuchses finden wir erwartungsgemäß zunächst geringe Zuckermengen in den Blättern und Stengeln der Pflanzen. Der Wiederaufwuchs nach dem Schnitt am 20. August verbraucht also die Masse der Assimilate und verhindert zugleich eine Reservestoffbildung in Form von Fruktosan. Tatsächlich tauchen in diesem Wachstumsabschnitt überwiegend Fruktosane mit zwei bis drei Fruktoseresten auf, die in dieser Form kaum als Reservekohlenhydrate anzusprechen sind, sondern wohl eine Transportfunktion ähnlich der Saccharose übernehmen. Am 19. September setzt jedoch ein sprunghafter Anstieg der Reservestoffbildung ein, der zu einer Fruktosananreicherung bis zu 75 % der im Stengel bestimmten Gesamtzucker führt. Davon stellen die höherpoly-

meren Verbindungen der Fraktionen 20 und 0 mit Molekulargewichten über 3000 im Sinne einer echten Reservestoffbildung den größten Anteil. Auch in den Blättern ist die Fruktosaneinlagerung erstaunlich hoch. Diese Fruktosane bestehen jedoch überwiegend aus den weniger polymeren Verbindungen der Fraktionen 60 und 40 (vgl. Abb. 10 und Tab. 1).

Tabelle 2 Veränderungen des Polymerisationsgrades von Fruktosan in Äthanol-Wasser-Fractionen aus Blättern und Stengeln (Stengel und Blattscheiden) der Knaulgrassorte Baraula (1973)
Alterations in the degree of polymerization of fructosan in ethanol-water fractions from leaves and stems (stem and sheaths) of the cocksfoot cultivar Baraula (1973)

		Blätter - Polymerisationsgrad											
Datum		3. 5.	9. 5.	16. 5.	23. 5.	30. 5.	6. 6.	13. 6.	20. 6.	27. 6.	4. 7.	11. 7.	18. 7.
Fraktion													
60		5,0	0,6	12,9	10,3	12,4	17,3	9,8	18,8	13,0	6,8	8,2	3,9
40		+	11,1	15,1	26,9	17,5	33,0	5,7	4,7	+	32,3	12,8	7,8
20		+	4,8	12,9	23,9	19,5	24,3	+	1,8	+	13,0	+	9,3
0		+	+	16,3	23,9	22,8	28,3	+	+	+	13,0	+	+
Datum		25. 7.	1. 8.	8. 8.	15. 8.	22. 8.	29. 8.	5. 9.	12. 9.	19. 9.	26. 9.	3. 10.	10. 10.
Fraktion													
60		18,3	16,3	25,1	12,9	42,6	4,9	+	3,1	10,6	15,3	8,1	11,8
40		22,0	15,2	19,7	15,4	+	+	+	+	6,8	13,3	2,9	33,9
20		19,5	16,8	42,2	+	+	+	+	+	10,4	17,6	10,6	20,3
0		11,5	16,6	+	+	+	+	+	+	11,7	8,3	22,0	
		Stengel - Polymerisationsgrad											
Datum		3. 5.	9. 5.	16. 5.	23. 5.	30. 5.	6. 6.	13. 6.	20. 6.	27. 6.	4. 7.	11. 7.	18. 7.
Fraktion													
60		6,1	4,3	13,4	10,3	10,3	17,7	12,5	8,5	44,6	9,6	5,9	5,4
40		14,1	7,3	15,8	14,1	4,9	16,1	8,2	19,0	+	14,1	5,4	10,7
20		9,4	8,3	15,5	19,7	20,8	21,0	+	13,8	+	15,3	7,1	5,7
0		+	12,5	35,4	33,3	23,4	26,1	19,5	24,9	+	22,3	8,6	9,6
Datum		25. 7.	1. 8.	8. 8.	15. 8.	22. 8.	29. 8.	5. 9.	12. 9.	19. 9.	26. 9.	3. 10.	10. 10.
Fraktion													
60		9,5	16,6	16,5	5,9	16,9	7,7	3,5	3,4	5,2	11,2	9,6	11,1
40		12,3	17,9	20,7	11,7	20,5	6,0	3,6	4,4	7,1	20,8	8,4	18,9
20		13,3	30,3	41,6	13,8	16,1	7,3	5,2	2,8	12,2	23,5	14,8	29,9
0		39,5	37,0	49,4	38,4	10,0	10,3	8,3	8,2	11,8	28,3	29,8	37,5

+ Fruktosan unter 0,25 %; DP-Bestimmung unsicher.

In früheren Untersuchungen haben wir beobachtet, daß sich die Sorte *Baraula* trotz Zugehörigkeit zur selben Reifegruppe bei *Dactylis glomerata* in der Anreicherung von polymerem Fruktosan von der Sorte *Holstenkamp* durch verspätete Einlagerung höherpolymerer Zucker unterschied. In dieser Arbeit wollten wir deshalb über einen längeren Zeitraum verfolgen, ob diese Eigenschaft als ein konstantes Sortenmerkmal anzusehen ist.

In Tabelle 2 sowie Abbildung 11 und 12 zeigt sich, daß die Veränderung der Gesamtzucker in beiden Sorten nahezu gleichsinnig abläuft. In Übereinstimmung mit den an der Sorte *Holstenkamp* gewonnenen Beobachtungen ist der Kondensationssprung zur Bildung von polymeren Reservekohlenhydraten auch in der

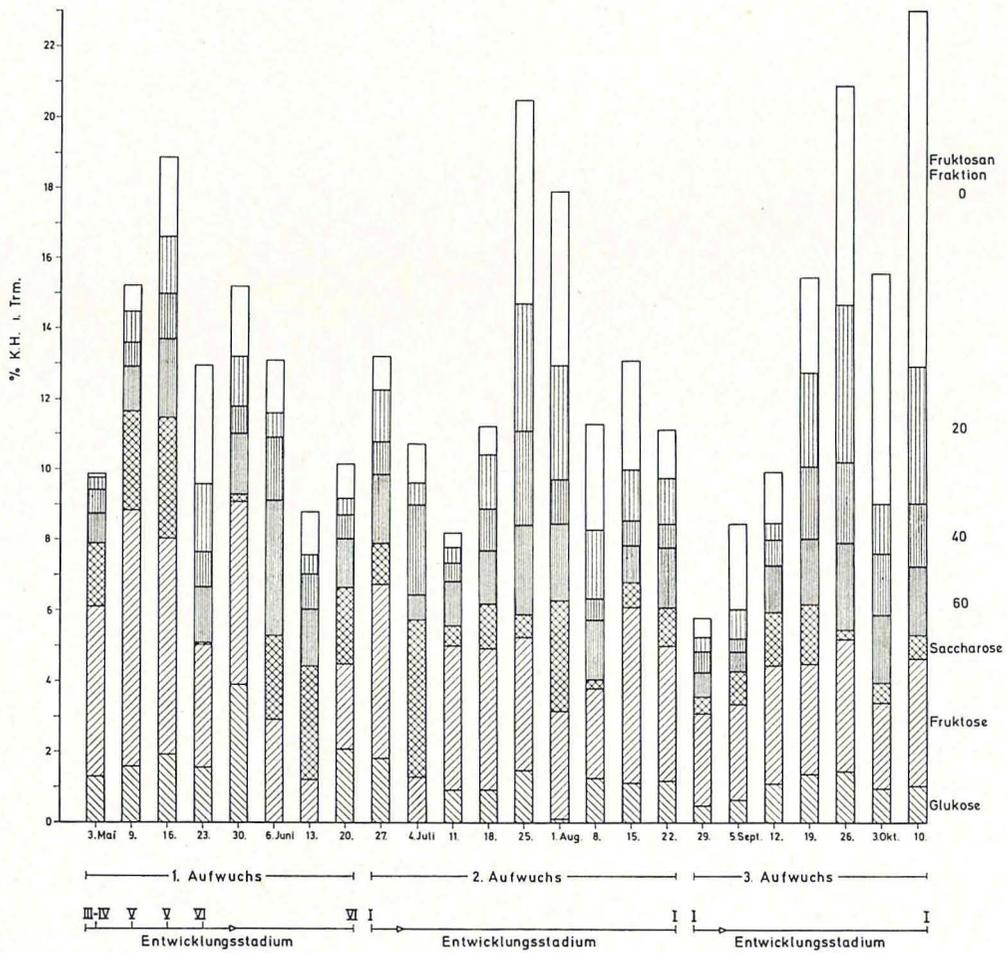


Abb. 11. Veränderung von Menge und Qualität nicht strukturbildender Kohlenhydrate in Stengeln bzw. Blattscheiden der Knaulgrassorte *Baraula* während drei Aufwüchsen (1973)

Alteration in the amount and quality of the carbohydrates not connected with structure formation in stems or sheaths of the cocksfoot cultivar *Baraula* during 3 cuts (1973)

Sorte *Baraula* im zweiten Aufwuchs am 25. Juli und im dritten Aufwuchs am 19. September zu verzeichnen. Abweichendes Verhalten in der Reservestoffbildung von Gräsern der gleichen Reifegruppe, wie es früher von uns beobachtet wurde, dürfte also kein beständiges Sortenmerkmal sein.

IV. Diskussion

Futtergräser werden hinsichtlich ihrer Qualität in der Praxis des Pflanzenbaus nach dem Entwicklungsstadium oder einfach nach der Wuchshöhe beurteilt. Als

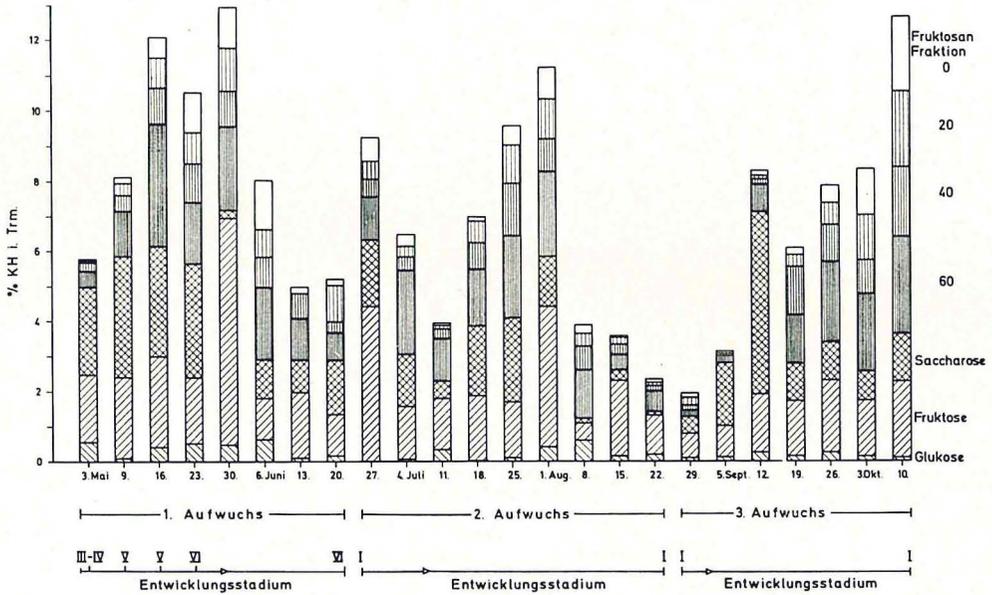


Abb. 12. Veränderung von Menge und Qualität nicht strukturbildender Kohlenhydrate in Blättern der Knaulgrassorte *Baraula* während drei Aufwüchsen (1973)
Alteration in the amount and quality of the carbohydrates not connected with structure formation in leaves of the cocksfoot cultivar *Baraula* during three cuts (1973)

Orientierungsmerkmale, meist zur Maximierung hochverdaulicher Kohlenhydrate, verwendet man dabei verschiedene Stadien in der Schoßphase bis zur Blüte (WALTERS et al. 1967, DENT und ALDRICH 1970, LAMPETER und RÖTSCHKE 1970). Tatsächlich beobachtet man im ersten Aufwuchs von Gräsern, mit der vegetativen und generativen Entwicklung einhergehend, eine Veränderung der Qualität bzw. Verdaulichkeit und Menge von Inhaltsstoffen besonders im Bereich der Kohlenhydrate (KÜHBAUCH 1974). Diese augenfällige Verknüpfung von Pflanzenhabitus und Inhaltsstoffen hat wohl dazu geführt, daß in der vegetativ-generativen Entwicklung der Pflanzen, ersatzweise in der Wuchshöhe, der ausschlaggebende Faktor für die Variabilität der Inhaltsstoffe gesehen wurde. Wie unsere Ergebnisse zeigen, erfolgt jedoch in Gräsern bei den nicht strukturbildenden Kohlenhydraten vor allem dann eine Qualitätsveränderung von Mono- und Disacchariden zu polymeren Fruktosanen, wenn in den Pflanzen keine Umstimmung von der vegetativen zur generativen Entwicklung erfolgt und auch im übrigen die Morphologie der Pflanzen im wesentlichen unverändert bleibt. Die Qualitätsveränderung der Inhaltsstoffe wird aber gerade hier am deutlichsten. Innerhalb einer Woche erscheint der überwiegende Teil der nicht strukturbildenden Kohlenhydrate in Form von polymeren Fruktosanen im Stengel, dem bevorzugten Organ zur Reservestoffbildung in Gräsern. Erstaunlich ist, daß diese Polykondensation nahezu sprunghaft erfolgt, was mit früheren Untersuchungsbefunden (KÜHBAUCH 1973 a) übereinstimmt. Zwar beobachten WAITE und BOYD (1953) mit dem Eintritt des Vegetationspunktes in das

reproduktive Stadium eine Umstimmung im Kohlenhydratstoffwechsel, sie äußerten aber schon seinerzeit die Vermutung, daß der erhöhte Assimilateverbrauch infolge des gleichzeitigen, beschleunigten Längenwachstums der Pflanzen die weitere Anreicherung polymerer nicht strukturierter Kohlenhydrate vom Typ der Fruktosane verhindert.

Diese Beobachtung läßt sich in Übereinstimmung bringen mit Ergebnissen von SCHLUBACH und LÜBBERS (1956). Sie gestattet die allgemeine Formulierung, daß in Entwicklungsabschnitten, in denen die Pflanzen einen hohen Assimilateverbrauch haben, die Bildung polymerer Verbindungen stets unterbleibt oder sogar, je nach dem Umfang des akuten Bedarfs, vorhandene polymere Kohlenhydrate zusätzlich aufgebraucht werden. Hoher Assimilateverbrauch ist in unseren Versuchen zu beobachten während des stärksten Längenwachstums im ersten Aufwuchs ab 16. Mai sowie um den 13. Juni zur Zeit der Blüte. Auch die Zeit der Stärkeeinlagerung in die Samen gehört zu den Situationen, in denen die aktuelle Photosynthese nicht ausreicht, den Kohlenhydratbedarf zu decken (WAITE und BOYD 1953). Eine besondere Streßsituation scheint für die Pflanzen während des Wiederaufwuchses nach einem Schnitt zu existieren; denn die hier gebildeten, ohnehin sehr geringen Fruktosanmengen erwiesen sich in unseren Untersuchungen als oligomere Verbindungen, die, nach ihrem durchschnittlichen Polymerisationsgrad zu schließen, der von SCHLUBACH et al. (1955) in Gräsern identifizierten Kestose, einem Trisaccharid, ähnlich waren. Mit einem Polymerisationsgrad von zwei bis vier Einheiten (siehe Tab. 1 und 2) sind Fruktosane kaum als Reservekohlenhydrate anzusehen, wahrscheinlicher ist in diesem Fall eine Transportfunktion im Stoffwechsel. Folgerichtig werden, nachdem die anfängliche Streßphase des Wiederaufwuchses überwunden und offenbar genug assimilierende Pflanzensubstanz aufgebaut ist, mit dem Nachlassen der Wuchsgeschwindigkeit im zweiten und dritten Aufwuchs (siehe Abb. 1 und 2) wieder echte Reservekohlenhydrate gebildet.

Es darf demnach vermutet werden, daß die einzige Gesetzmäßigkeit, nach der in Gräsern die Polymerisation nicht strukturierter Kohlenhydrate erfolgt, von der Konzentration der Primärassimilate und von Saccharose in der Zelle ausgeht. Falls diese nicht im Bau oder Betriebsstoffwechsel verbraucht werden, muß die Pflanze einem überhöhten osmotischen Druck durch Kondensation zu höherpolymeren Verbindungen ausweichen.

Zusammenfassung

Im Verlauf von drei Aufwüchsen wurde an den beiden Knaulgrassorten *Holstenkamp* und *Baraula* neben der morphologischen Differenzierung der Pflanzen, speziell des Vegetationskegels, die Veränderung der nicht strukturierenden Kohlenhydrate untersucht. Hierbei wurden die folgenden Ergebnisse gewonnen:

1. Ein direkter Zusammenhang zwischen mengenmäßiger bzw. qualitativer Veränderung der Kohlenhydrate und der Umstimmung der Pflanzenentwicklung vom vegetativen zum generativen Stadium konnte nicht

beobachtet werden. Statt dessen ergab sich eine sehr deutliche Verschiebung in der Kohlenhydratzusammensetzung zugunsten polymerer Fruktosane nach einem oder zwei vorhergehenden Schnitten, wenn im Wiederaufwuchs keine morphologische Differenzierung der Pflanzen bzw. des Vegetationskegels mehr erfolgte.

2. Es stellten sich dann im Stengel der Gräser hohe Anteile polymerer Fruktosane ein mit Molekulargewichten bis 8000. In Streßsituationen, wie zur Zeit des Streckungswachstums, der Blütenbildung oder in der Anfangsphase des Wiederaufwuchses nach einem Schnitt erscheinen in den Gräsern nur geringe Mengen Polysaccharide und Gesamtzucker, der Polymerisationsgrad der Fruktosane bleibt gering.
3. Als überragende Einflußgröße, nach der in Gräsern eine Polymerisation nicht strukturbildender Kohlenhydrate erfolgt, wird die Konzentration von Primärassimilaten und Saccharose in der Pflanzenzelle vermutet.

Frau B. SCHILLING danken wir für die sachkundige und tätige Mitarbeit.

Die Untersuchungen wurden mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchgeführt. Dafür sei auch an dieser Stelle gedankt.

Summary

Development of the growing point and variability of sugar contents in cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.)

An investigation was made in three successive growths of the two cocksfoot cultivars *Holstenkamp* and *Baraula* of the morphological differentiation of the plants, especially of the growing point, and also of the alteration of the carbohydrates not connected with structure formation. They led to the following results.

1. No direct connection could be found between deficiencies or qualitative alterations of the carbohydrates and the change-over in the plant development from the vegetative to the generative phase. Instead, there was a very marked shift in the carbohydrate composition in the direction of polymeric fructosans after one or two preceding cuts, even though no further morphological differentiation of the plants or of the growing point occurred in the new growth.
2. There then occurred in the grass stems high proportions of polymeric fructosans with molecular weights up to 8000. In situations of stress, as at the time of stem elongation, flower formation or the initial phases of regeneration after a cut, only small amounts of polysaccharides and total sugars appear in the grasses and the degree of polymerization of the fructosans remains low.
3. The predominant factor influencing the polymerization of the carbohydrates not concerned with structure formation in the grasses is assumed to be the concentration of the primary assimilates and of sucrose in the plant cell.

Literaturverzeichnis

- BERNDT, E., and H. U. BERGMAYER, 1970: Methoden der enzymatischen Analyse, 1172—1179. Verlag Chemie, Weinheim.
- BOMMER, D., 1959: Über Zeitpunkt und Verlauf der Blütendifferenzierung bei perennierenden Gräsern. Z. Acker- und Pflanzenbau 109, 95—118.
- BROCKHAUS, F. A., 1969: ABC — Chemie. VEB Verlag, Leipzig.
- DEINUM, B., 1969: Climatic conditions and nutrient contents of forage crops. Vortrag 3. Kongr. Eur. Grünlandvereinigung, Braunschweig.
- DENT, J. W., and D. T. ALDRICH, 1970: Grass for conservation. 1. The development of a cutting system based on the prediction of digestibility. J. Nat. Inst. Agric. Bot. 12, 72—83.
- GROTELUESCHEN, R. D., and D. SMITH, 1968: Carbohydrates in grasses. III. Estimations of the degree of polymerization of the fructosans in the stem bases of timothy and brome-grass near seed maturity. Crop Sci. 8, 210—212.
- KÜHBAUCH, W., 1973a: Veränderung der Gehalte an Glukose, Fruktose, Saccharose und Fruktosan sowie des Polymerisationsgrades von Fruktosanmolekülen in Blättern und Stengeln einiger Knaulgrassorten während des Wachstums. Landw. Forschg. 26, 173—181.
- —, 1973b: Veränderung von Kohlenhydratfraktionen in Blättern und Stengeln einiger Knaulgrassorten während des Wachstums. Landw. Forschg. 26, 213—220.
- —, 1974: Jahreszeitliche Veränderung des Nährwertes von Grundfutter unter besonderer Berücksichtigung definierter organischer Inhaltsstoffe. Wirtschaftseig. Futter 20, 23—36.
- LAMPETER, W., and W. RÖTSCHKE, 1970: Untersuchungen über den Trockenmassezuwachs auf einer Mittelgebirgsweide in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung und der Witterung sowie der Veränderung der wichtigsten Inhaltsstoffe im Futter. 2. Mitt.: Die Inhaltsstoffe und die Verdaulichkeit in vitro der Futtertrockenmasse in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung, dem Vegetationsstadium und dem Aufwuchs. Z. Landeskultur 11, 433—457.
- NELSON, N., 1944: A photometric adaption of the Somogyi method for the determination of glucose. J. Biol. Chem. 153, 375—380.
- SCHLUBACH, H. H., and L. GASSMANN, 1955: Untersuchungen über Polyfructosane. XLI. Über den Kohlenhydratstoffwechsel in *Phleum pratense*. Liebigs Ann. Chem. 594, 33—41.
- —, H. LÜBBERS and H. BOROWSKI, 1955: Untersuchungen über Polyfructosane. XLIV. Die niedermolekularen Kohlenhydrate in *Lolium perenne*. Liebigs Ann. Chem. 595, 229—236.
- —, and — —, 1956: Untersuchungen über Polyfructosane. XLVII. Über den Kohlenhydratstoffwechsel in *Lolium multiflorum*. Liebigs Ann. Chem. 598, 228—233.
- SMITH, D., and R. D. GROTELUESCHEN, 1966: Carbohydrates in grasses. I. Sugar and fructosan composition of the stem bases of several northern-adapted grasses at seed maturity. Crop Sci. 8, 263—266.
- —, 1968: Carbohydrates in grasses. IV. Influence of temperature on the sugar and fructosan composition of timothy plant parts at anthesis. Crop Sci. 8, 331—334.
- SOMOGYI, M., 1952: Notes on sugar determination. J. Biol. Chem. 195, 19—23.
- VOMHOFF, D. W., J. TRUITT, and T. C. TUCKER, 1966: Spectrophotometric determination using anthrone for sugars separated by cellulose thin-layer chromatography. J. Chromatogr. 21, 335—337.
- WAITE, R., 1958: Water soluble carbohydrates in grasses. The effect of different levels of fertilizer treatment. J. Sci. Food Agric. 9, 39—43.
- WAITE, E., and J. BOYD, 1953: The water soluble carbohydrates of grasses. I. Changes occurring during the normal life-cycle. J. Sci. Food Agric. 4, 197—204.
- WALTERS, R. J. K., G. GRIFFITH, R. HUGHES, and D. I. H. JONES, 1967: Some factors causing differences in digestibility of grasses measured by an in vitro method. J. Brit. Grassland Soc. 22, 112—116.

Anschrift der Verfasser: Dr. W. KÜHBAUCH und Prof. Dr. G. VOIGTLÄNDER, Institut für Grünlandlehre der Technischen Universität München, 8050 Freising-Weihenstephan.