

106

DAS WIRTSCHAFTSEIGENE FUTTER

ERZEUGUNG
KONSERVIERUNG
VERWERTUNG

DLG-VERLAGS-GMBH



Band 24 Heft 3/4

2. Halbjahr 1978

Lehrstuhl für Grünlandlehre der TU München in 805 Freising-Weihenstephan

Gehalt an Nichtstrukturkohlenhydraten in Futterpflanzen aus verschiedenen Höhenlagen des nördlichen Alpenlandes und ihre Abhängigkeit von Klimabedingungen

*W. Kühbauch, G. Voigtländer und G. Spatz**

1. Einleitung

Die für die Rindviehhaltung genutzten Pflanzenbestände im nördlichen Alpenvorland reichen in Höhenlagen bis weit über 1000 m über NN. Trotz geringer Massenwüchsigkeit und extensiver Nutzung von Futterflächen werden in höheren Lagen häufig erstaunlich gute tierische Leistungen erzielt. Die Praktiker führen das meist auf den, im Vergleich zu intensiv genutzten Futterflächen größeren Anteil von Kräutern im Futter zurück. Die bekannten Reaktionsbedingungen der Fotosynthese (RICHTER, 1969, LEVIN und BIDWELL, 1974) und Klimakammerversuche mit kontrollierten Temperatur- und Strahlungsverhältnissen (DEINUM, 1966, SMITH, 1968) sowie die „Faktorenanalyse“ von Praxisversuchen (ARCHIBALD, 1961, FARRIES, 1968, LANG u.M., 1972) deuten jedoch darauf hin, daß nicht spezielle Wirkstoffe von Kräutern die Ursache für höhere tierische Leistungen sind, sondern Klimabedingungen, unter denen größere Mengen leicht verdaulicher Kohlenhydrate in den Pflanzenorganen gespeichert werden können.

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, den quantitativen Zusammenhang zwischen dem Gehalt an Nichtstrukturkohlenhydraten in Futterpflanzen und Klimadaten in verschiedenen Höhenlagen Südbayerns nachzuweisen.

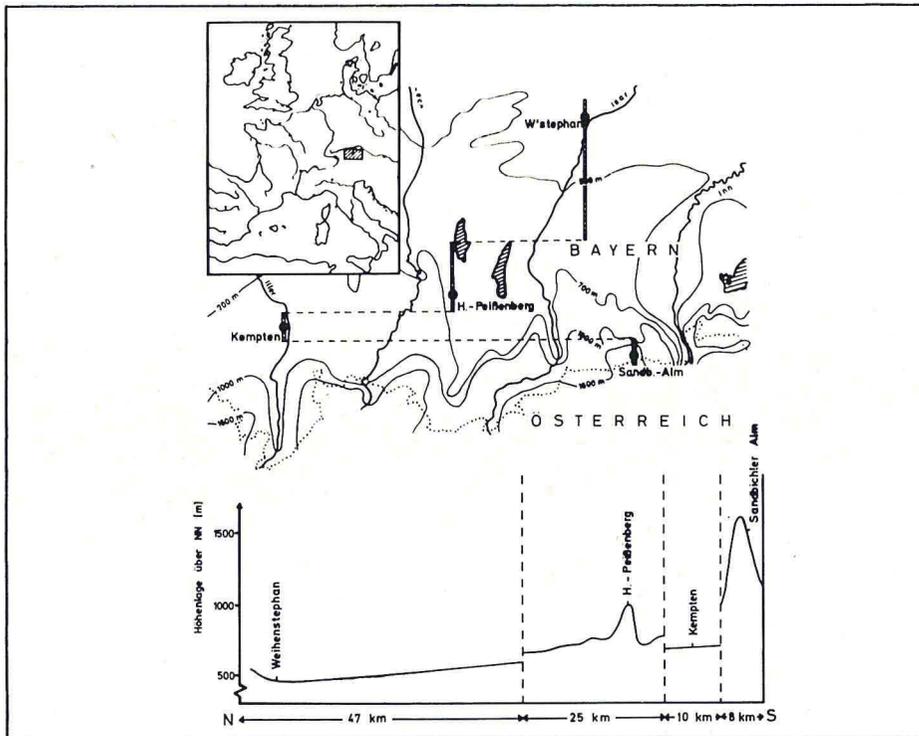
2. Material und Methoden

2.1 Versuchsstationen und Klimadaten

Im Jahr 1976 wurden an einem Höhengradienten mit den vier Versuchsorten Weihenstephan (465 m ü. NN), Kempten (705 m ü. NN), Hohen-Peißenberg (975 m ü. NN) und Sandbichler-Alm (1450 m ü. NN; SPATZ, 1976) Freilandversuche durchgeführt. In Abbildung 1 ist die geographische Verteilung und die Höhenlage der vier Meßpunkte gezeigt. An allen Versuchsstationen befanden sich in unmittelbarer Nähe reguläre oder

* Für die Unterstützung bei der Auswertung der Versuche sowie der Durchführung der chemischen Untersuchungen bedanken wir uns bei den Herren Dipl.Ing. A. Mangstl und Inh. A. Brummer sowie Frau B. Schilling und Frl. A. Ernst.

Abbildung 1: Geographische Verteilung und Höhenlage der Versuchsstationen an einem Höhengradienten



eigens für den Versuch eingerichtete Meßstellen des Deutschen Wetterdienstes. Als meteorologische Daten wurden verwendet: Temperatursummen über 5°C , Durchschnittstemperaturen $> 5^{\circ}\text{C}$, durchschnittliche Minimumtemperaturen und Strahlungssummen jeweils 2 und 5 Tage vor der Ernte¹.

2.2 Pflanzenmaterial und Kohlenhydratanalyse

Samen von Knautgras, Rotschwengel, Weißklee und Wundklee, sowie Keimpflanzen von Spitzwegerich und Löwenzahn wurden in Plastikgefäßen (17x17x17 cm) mit Lehm als Substrat (7 mg $\text{K}_2\text{O}/100\text{ g}$ Boden, 8 mg $\text{P}_2\text{O}_5/100\text{ g}$ Boden, pH 7,4) eingesetzt. An den 4 Versuchsstandorten wurden von jeder Pflanzenart 4 Gefäße ca. 15 cm tief in den Boden eingegraben.

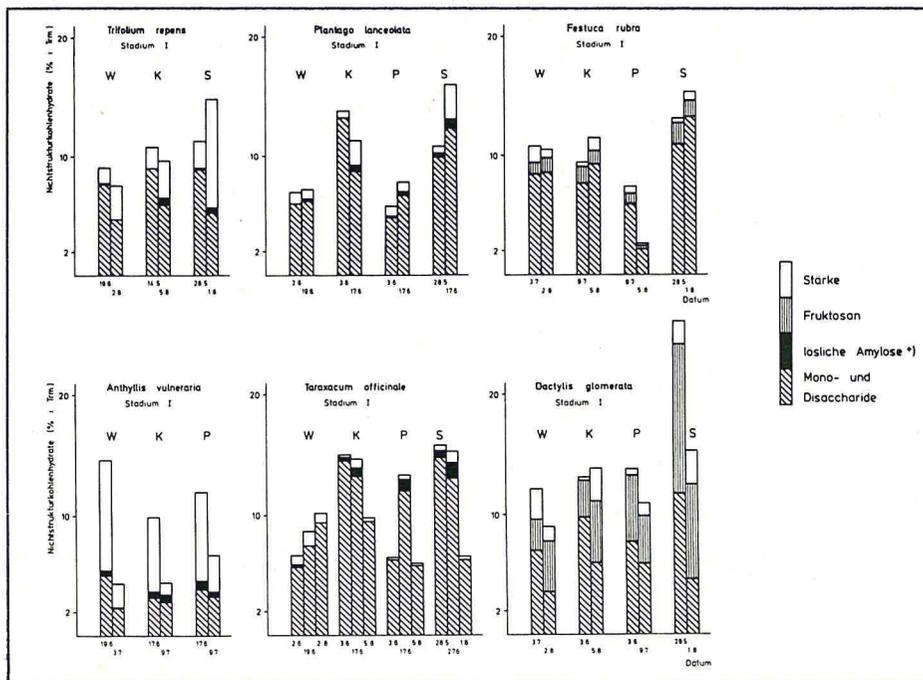
1) Für die Überlassung der Klimadaten bedanken wir uns bei den Mitarbeitern des Deutschen Wetterdienstes Prof. Dr. van Eimern, Dr. W. Attmannspacher und Dr. H. Häckel.

Im Laufe der Vegetationsperiode konnten Wegerich und Löwenzahn mehrmals an allen Standorten im vegetativen Entwicklungsabschnitt (Stadium I, vor Verlängerung der Blüentriebe) und zur Zeit der Blüte (Stadium II) geerntet werden. Die Gräser blieben mangels Jarovisation stets im Stadium I, von den Leguminosen erreichte Weißklee in Weihenstephan und Kempton Stadium II. Infolge der ungewöhnlichen Dürre dieses Jahres trocknete Weißklee am Standort Hohen-Peißenberg gänzlich aus. Die sehr langsame Entwicklung des Wundklee auf der Sandbichler-Alm ermöglichte bis zum August nur eine Versuchsernte.

Um tagesperiodische Schwankungen des Kohlenhydratgehaltes zu vermeiden, wurden die Pflanzen stets zwischen 9 und 10 Uhr vormittags geerntet und zur Unterbindung enzymatischer Reaktionen während des Transportes zum Labor sofort in Eis gebettet und anschließend bei -20°C gelagert bzw. gefriergetrocknet.

Aus dem trockenen und geschroteten ($< 1\text{ mm}$) Pflanzenmaterial wurden nacheinander mit 95 %, 85 % Äthanol und mit Wasser die Kohlenhydrate extrahiert, um Mono- und Disaccharide (beide in 95 und 85 % Äthanol) sowie wasserlösliche Amylose und Fruktosan (beide im Wasserextrakt) zu erhalten (KÜHBAUCH, 1973, SMITH, 1975). Stärke wurde in verdünnter (1,1 %) Salzsäure extrahiert und enzymatisch mit Amyloglucosidase, Hexokinase + ATP und Glukose-6-phosphat-Dehydrogenase + NADP bestimmt (BOEHRINGER, 1971).

Abbildung 2: Kohlenhydratgehalt (% i.Trm) von Futterpflanzen während der vegetativen Entwicklung in Weihenstephan (W), Kempton (K), Hohen-Peißenberg (P) und Sandbichler-Alm (S) 1976

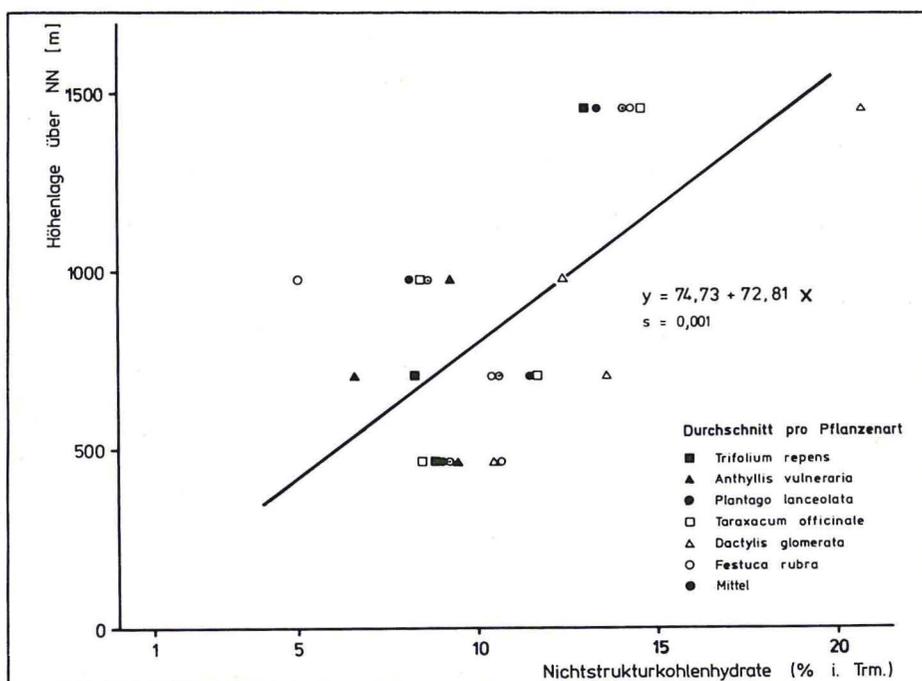


3. Ergebnisse und Diskussion

In Abbildung 2 sind die Gehalte an Nichtstrukturkohlenhydraten im vegetativen Stadium aufgezeigt. Die Leguminosen enthalten überwiegend Mono- und Disaccharide und Stärke, die Kräuter überwiegend Mono- und Disaccharide während in *Festuca rubra* und insbesondere in *Dactylis glomerata* zusätzlich größere Mengen Fruktosan gebildet wurden. Mit Ausnahme von *Anthyllis vulneraria* zeigt der Standort Sandbichler-Alm stets die höchsten Kohlenhydratgehalte. In *Trifolium repens* und *Dactylis glomerata* scheinen auf diesem Versuchsstandort vorzugsweise die polymeren Kohlenhydrate Stärke bzw. Fruktosan zu entstehen. Die Schwankungsbreite der Kohlenhydratgehalte innerhalb der Arten ist sehr hoch, obwohl stets im vegetativen Entwicklungsstadium geerntet wurde. Wie gezeigt wird, hatte das Klima darauf einen erheblichen Einfluß.

Wir gingen von der Vorstellung aus, daß mit zunehmender Höhenlage, gleichbedeutend mit geringeren Tages- und Nachttemperaturen bzw. höherer Strahlung, die Zuckergehalte in allen Pflanzen zunehmen würden. Die Standorte Weihenstephan, Kempten und Sandbichler-Alm zeigen mit allen Pflanzen außer Wundklee insofern den erwarteten Trend. Auf dem Standort Hohen-Peißenberg werden dagegen unerwartet wenig Zucker

Abbildung 3: Beziehung zwischen dem Gehalt an Nichtstrukturkohlenhydraten in 6 Pflanzenarten und der Höhenlage, in der die Pflanzen aufwuchsen

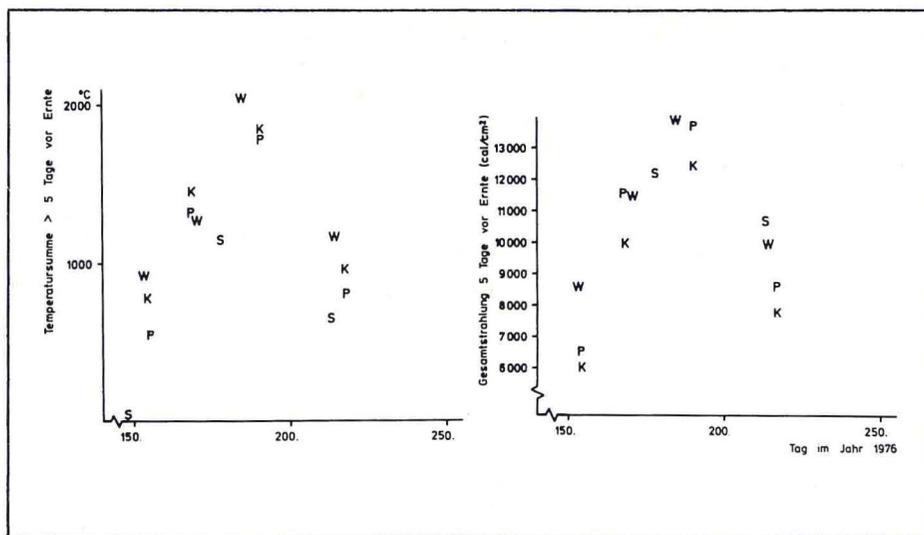


in die Pflanzen eingelagert. Die Regressionsgerade wird aber wohl wesentlich bestimmt von den hohen Zuckergehalten, insbesondere von Knaulgras des Standortes Sandbichler-Alm.

In Abbildung 3 ist die Beziehung zwischen der Höhenlage und den in sämtlichen Pflanzen (Stadium I und II) gemessenen Gehalten an Nichtstrukturkohlenhydraten für die 6 untersuchten Pflanzenarten aufgezeigt. Wie bereits erwähnt, paßt der Standort Hohen-Peißenberg nicht in die allgemeine Beziehung, demzufolge mit zunehmender Höhenlage in 5 von 6 Pflanzen höhere Zuckerhalte entstehen. Es ist zu vermerken, daß mit einer Korrelation von $r = 0,50^{xxx}$ sich keine sehr enge Beziehung zur Höhenlage ergibt. Tatsächlich wäre eine Kausalkklärung der Kohlenhydratgehalte mit der Höhenlage, ohne Beachtung der Klimabedingungen, unzulässig.

Als Ursache für unterschiedliche Zuckerhalte kommen in unserem Versuch vor allem Temperaturunterschiede zwischen den Standorten in Frage. Wie in Abbildung 4 (obere Hälfte) am Beispiel der Durchschnittstemperaturen $> 5^{\circ} \text{C}$ jeweils fünf Tage vor der Ernte gezeigt, ist es in Weihenstephan am wärmsten, auf dem Standort Sandbichler-Alm finden wir mit deutlichem Abstand die niedrigsten Temperaturen. Die Standorte Kempten und Hohen-Peißenberg liegen mit ihren Temperatursummen eng beieinander. Der Standort Hohen-Peißenberg ist also im Verhältnis zur Höhenlage zu warm¹.

Abbildung 4: Temperatursumme $> 5^{\circ} \text{C}$ und Gesamtstrahlung 5 Tage vor der Ernte auf den Versuchsstationen Weihenstephan (W), Kempten (K), Hohen-Peißenberg (P) und Sandbichler-Alm (S) 1976



1) Die Ursache liegt darin, daß der Hohe-Peißenberg sich frei aus dem Flachland erhebt und damit der Abfluß der Kaltluft bei Inversionswetterlagen erleichtert wird (VOLLRATH, 1975).

Unerwartet verhalten sich die Strahlungsmeßwerte in Abbildung 4 (untere Hälfte) 5 Tage vor jeder Ernte. Auf der Sandbichler-Alm (1450 m) wurden in einem Fall geringfügig höhere, im anderen Beobachtungszeitraum deutlich niedrigere Werte gemessen als im Flachland. Es ist wahrscheinlich, daß die ungewöhnlich lange Trockenheit dieses Jahres (1976) mit geringer relativer Luftfeuchte eine besonders hohe Einstrahlung im Flachland ermöglichte, während im Gebirge durch stärkere Bewölkungsgrade die Strahlung verringert wurde. Die Strahlung hat aber, vielleicht auch gerade wegen der außergewöhnlichen Jahreswitterung, gegenüber der Temperatur nur einen untergeordneten Einfluß auf die Kohlenhydratentwicklung genommen.

Die Korrelationskoeffizienten für die Nichtstrukturkohlenhydrate über alle Pflanzen bzw. Standorte und die Temperaturen $> 5^{\circ}\text{C}$ erreichen Werte bis zu $r = -0,5$ (Abb. 5). Die Durchschnittstemperaturen 2 Tage vor der Ernte stehen an erster Stelle, gefolgt von den nämlichen Werten 5 Tage und der Temperatursumme $> 5^{\circ}\text{C}$ 2 Tage vor der Ernte. Beide Korrelationen sind negativ und hoch signifikant ($s = 0,001$). Der überragende negative Einfluß höherer Temperaturen auf die Kohlenhydratgehalte von Pflanzen, wie er in einer früheren Arbeit an einem Standort des Flachlandes gezeigt wurde (LANG u.M., 1972), wird hier prinzipiell bestätigt.

In Tabelle 1 sind die Korrelationskoeffizienten zwischen den Nichtstrukturkohlenhydraten der einzelnen Pflanzenarten und den Klimadaten aufgezeigt. Hier ergeben sich

Abbildung 5: Korrelation zwischen Temperatur bzw. Strahlung und den Gehalten an Nichtstrukturkohlenhydraten im Durchschnitt von 6 Pflanzenarten, kultiviert an einem Höhengradienten; $n = 72$.

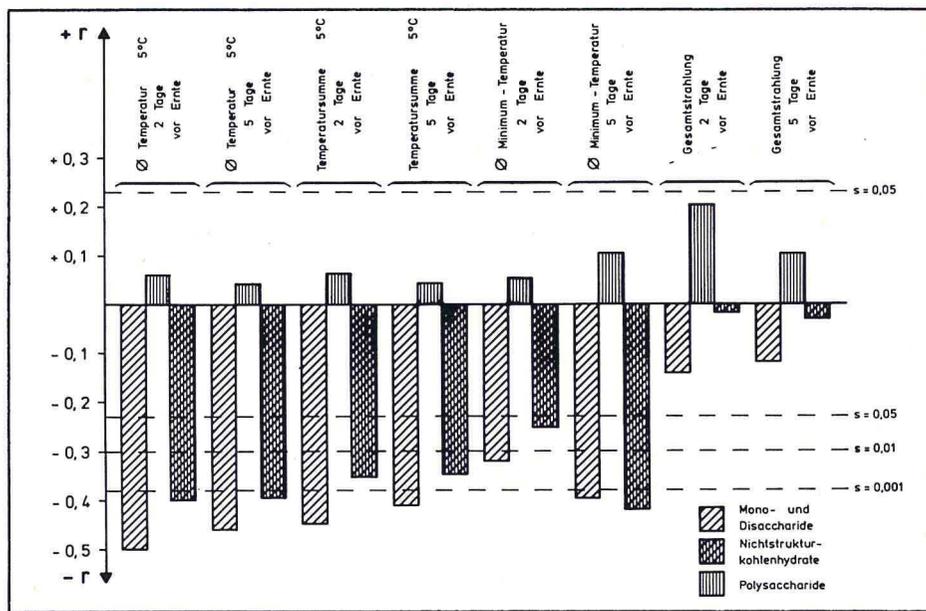


Tabelle 1: Korrelation zwischen Temperatur bzw. Strahlung und den Gehalten an Nichtstrukturkohlenhydraten (NSKH) einer jeden von 6 Pflanzenarten, kultiviert an einem Höhengradienten

	Ø Temperatur > 5° C vor der Ernte		Temperatursumme > 5° C vor der Ernte		Ø Minimumtemperatur vor der Ernte		Gesamtstrahlung vor der Ernte	
	2 Tage	5 Tage	2 Tage	5 Tage	2 Tage	5 Tage	2 Tage	5 Tage
<i>Trifolium repens</i>								
Mono- u. Disaccharide	-0,683 ^x	-0,562	-0,527	-0,467	-0,496	-0,489	0,645	0,315
Polymere	0,206	0,047	0,175	0,024	0,341	0,349	0,135	-0,204
Gesamt-NSKH	-0,180	-0,270	-0,122	-0,239	0,060	0,072	0,371	-0,090
<i>Anthyllis vulneraria</i>								
Mono- u. Disaccharide	-0,490	-0,371	-0,556	-0,408	-0,758 ^{xx}	-0,717 ^x	-0,218	-0,226
Polymere	-0,403	-0,160	-0,417	-0,218	-0,552	-0,214	-0,065	-0,008
Gesamt-NSKH	-0,514	-0,267	-0,550	-0,330	-0,736 ^x	-0,437	-0,133	-0,088
<i>Plantago lanceolata</i>								
Mono- u. Disaccharide	-0,218	-0,269	-0,183	-0,200	-0,047	-0,110	0,170	0,049
Polymere	0,483 ^x	0,516 ^{xx}	0,482 ^x	0,496 ^x	0,224	0,398 ^x	0,484 ^x	0,535 ^{xx}
Gesamt-NSKH	0,008	-0,026	0,042	0,031	0,055	0,074	0,372	0,283
<i>Taraxacum officinale</i>								
Mono- u. Disaccharide	-0,610 ^{xx}	-0,570 ^{xx}	-0,570 ^{xx}	-0,523 ^x	-0,393	-0,501 ^x	0,225	-0,062
Polymere	0,104	0,130	0,192	0,209	0,171	0,211	0,641 ^{xx}	0,774 ^{xxx}
Gesamt-NSKH	-0,573 ^{xx}	-0,529 ^x	-0,517 ^x	-0,468 ^x	-0,348	-0,446 ^x	-0,060	0,122
<i>Dactylis glomerata</i>								
Mono- u. Disaccharide	-0,515	-0,388	-0,392	-0,317	-0,394	-0,435	-0,332	-0,099
Polymere	-0,632 ^x	-0,744 ^x	-0,506	-0,663 ^x	-0,300	-0,563	0,086	-0,313
Gesamt-NSKH	-0,747 ^{xx}	-0,760 ^{xx}	-0,587 ^x	-0,661 ^x	-0,436	-0,653 ^x	-0,271	-0,468
<i>Festuca rubra</i>								
Mono- u. Disaccharide	-0,311	-0,345	-0,310	-0,334	-0,146	-0,113	-0,060	-0,275
Polymere	-0,080	-0,066	-0,035	-0,028	0,143	0,132	0,106	0,064
Gesamt-NSKH	-0,280	-0,308	-0,273	-0,292	-0,103	-0,077	-0,034	-0,226

x: s = 0,05; xx: s = 0,01, xxx: s = 0,01

hochsignifikante Abhängigkeiten bis $r = -0,76^{XX}$ (*Dactylis glomerata*). Die wichtigsten Einflußgrößen sind wieder die Durchschnittstemperaturen und die Temperatursummen $> 5^{\circ} \text{C}$ (Gesamtkohlenhydrate und Mono- und Disaccharide stets negativ korreliert). Nur die Nichtstrukturkohlenhydrate des Wundklee zeigen eine engere Abhängigkeit von den durchschnittlichen Minimumtemperaturen ($r = -0,76^{XX}$). Die Kohlenhydratgehalte des Rotschwings zeigen keine signifikante Abhängigkeit von den vorgegebenen Klimadaten.

Der Einfluß der Strahlung erweist sich nur bei Wegerich und Löwenzahn als wichtiges und signifikantes Maß für Abhängigkeit ($r = 0,54^{XX}$ bzw. $r = 0,77^{XX}$). Die zum Teil errechneten negativen Beziehungen zwischen den Kohlenhydratgehalten und der Strahlung sind sachlogisch nicht zu erklären. Als Ursache für diese Art physiologischer Ungereimtheit wird der geringe Umfang des Datenmaterials und eine Interkorrelation von Strahlung und Temperatur angenommen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß trotz eines für die statistische Auswertung kleinen Datenmaterials der negative Einfluß hoher Temperaturen auf die Gehalte an Nichtstrukturkohlenhydraten deutlich sichtbar wurde. Der Einfluß der Strahlung ist demgegenüber gering. Für das nördliche Alpenvorland ergeben sich daraus in grober Annäherung und mit deutlicher Abweichung einzelner Pflanzenarten mit zunehmender Höhenlage höhere Zuckergehalte und damit eine bessere Qualität wichtiger Futterpflanzen. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, daß die Trockenheit des Versuchsjahres 1976 insofern zu einer gewissen Verfälschung der Ergebnisse geführt hat, als der Strahlungseinfluß auf die Gesamtgehalte an Nichtstrukturkohlenhydraten äußerst und wider Erwarten gering war. Unter normalem Witterungsablauf hätte eine stärkere Strahlungsintensität zu noch höheren Zuckergehalten der in den Höhenlagen kultivierten Pflanzen führen müssen. Um die Normalbedingungen von Höhenlagen im Hinblick auf die Zuckerbildung der Pflanzen deutlicher zu erfassen, sollte dieser Versuch fortgesetzt werden. Es wäre auch zu überlegen, ob zur geeigneten Standortbeschreibung für Grünland eine Kartierung des Potentials einiger repräsentativer Pflanzen, Kohlenhydrate zu bilden, sinnvoll wäre (KÜHBAUCH, 1976).

4. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde versucht, an einem Höhengradienten mit den Versuchsstandorten Weihenstephan (465 m ü. NN), Kempten (705 m ü. NN), Hohenpeißenberg (975 m ü. NN) und Sandbichler-Alm (1450 m ü. NN) den quantitativen Zusammenhang zwischen dem Gehalt an Nichtstrukturkohlenhydraten in Futterpflanzen und Klimadaten in verschiedenen Höhenlagen Südbayerns nachzuweisen. Der Versuch wurde im Jahr 1976 durchgeführt. Der negative Einfluß hoher Temperaturen auf die Gehalte an Nichtstrukturkohlenhydrate wird deutlich sichtbar. Für einzelne Pflanzenarten wurden hochsignifikante Korrelationskoeffizienten von $(-)$ $r = 0,7$ errechnet. Der Strahlungseinfluß trat demgegenüber zurück. Für das nördliche Alpenvorland ergeben sich daraus in grober Annäherung, bei Abweichung einzelner Pflanzenarten, mit zunehmender Höhenlage höhere Zuckergehalte und damit voraussichtlich eine bessere Quali-

tät wichtiger Futterpflanzen. Die ungewöhnlich trockene Witterung des Jahres 1976 hat diese, an sich noch deutlicher erwartete Beziehung mit Wahrscheinlichkeit etwas verfälscht.

Es wird zur Diskussion gestellt, ob zur Standortbeschreibung für Grünland eine Kartierung des Zuckerbildungspotentials repräsentativer Grünlandarten anzustreben ist.

Summary

Contents of non-structural carbohydrates in forage plants from different altitudes in the northern Alpine area and their dependence on climatic conditions

It was tried to demonstrate the quantitative relationship between the contents of non-structural carbohydrates in forage plants and climatic data from different altitudes in southern Bavaria along an altitude gradient represented by the experimental sites Weihestephan (465 m a.s.l.), Kempten (705 m a.s.l.), Hohen-Peissenberg (975 m a.s.l.) and Sandbichler-Alm (1450 m a.s.l.). The trial was conducted in 1976. The negative influence of high temperatures on the concentrations on non-structural carbohydrates becomes clearly evident. For individual plant species highly significant correlation coefficients of $(-)$ $r = 0.7$ were calculated. Compared with this the influence of radiation was small. Consequently, in the northern foreland of the Alps the sugar contents and therefore probably the quality of the more important forage plants generally become higher with increasing altitude. The exceptionally dry weather of the year 1976 probably falsified to some extent this relationship which was expected to be still more pronounced. It is discussed whether the ecological description of grassland should include a map showing the sugar synthesizing potential of representative grassland species.

5. Literatur

1. ARCHIBALD, J.G., 1961: Influence of weather on sugar content of forage crops. *J. Dairy Sci.* 44, 511 – 514.
2. BOEHRINGER, 1971: *Enzymatische Analysen für die Lebensmittelchemie*, Boehringer-Mannheim..
3. DEINUM, B., 1966: Influence of some climatological factors on the chemical composition and feeding value of herbage. *Proc. 10th Int. Grassld. Congr.*, 415 – 418.
4. FARRIES, E., 1968: Nährwertuntersuchungen an Gärheu und Belüftungsheu. *Kalibr. Fachgeb.* 13, 1. Folge.
5. KÜHBAUCH, W., 1973: Veränderungen von Kohlenhydratfraktionen in Blättern und Stengeln einiger Knaulgrassorten während des Wachstums. *Landwirtsch. Forschg.* 26, 213 – 220.
6. KÜHBAUCH, W., 1976: *Poc. Int. Hill-Land Symp., Morgantown, WV, USA* (in press).

7. LANG, V., LOOSER, S. und KÜHBAUCH, W., 1972: Zum Einfluß einiger Faktoren auf den Gehalt an löslichen Kohlenhydraten im Aufwuchs einer Weidelgras-Weißkleeweiße, Z. Acker- und Pflanzenbau 136, 309 – 319.
8. LEVIN, W.B. und BIDWELL, R.G.S., 1974: In: BIDWELL, R.G.S. Plant Physiology, Macmillan Publishing Co., New York.
9. RICHTER, G., 1969: Stoffwechselphysiologie der Pflanzen, G. Thieme Verlag, Stuttgart.
10. SMITH, D., 1975: In: Chemistry and Biochemistry of Herbage pp. 105 – 155, Kendall & Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa.
11. SPATZ, G., 1976: The utilization of radiation energy in differently managed alpine pastures. Proc. Int. Hill-Land Symp., Morgantown, WV, USA (in press).
12. VOLLRATH, H., 1976: Die Lufttemperatur am Alpennordrand und in den Variskischen Mittelgebirgen als ein Faktor für Grünlandanteil und -ertrag. Naturwiss. Mitt., Kempten-Allg., 20, F. 1, 1 – 58.

Manuskript eingesandt am 31. 7. 78.