

Aus dem Institut für Grünlandlehre der TU München in Weihenstephan

Lösliche Kohlenhydrate und Spurenelemente im Mähweidefutter in Abhängigkeit von Witterung und Bewirtschaftung¹⁾

Von Volker Lang

Inhaltsübersicht

Zusammenfassung	422
Summary	423
A. Einleitung	424
B. Literaturübersicht	425
C. Problemstellung	427
D. Material und Methoden	427
1. Versuchsort und Versuchsplan	427
2. Chemische Methoden	428
3. Meteorologische Daten	430
4. Biometrische Methoden	430
a) Faktorenanalyse	430
b) Aufbauende multiple Regressionsanalyse	431
E. Ergebnisse	432
1. Ergebnisse der Bodenuntersuchung	432
2. Besprechung der Mittelwerte der Inhaltsstoffe	432
a) Lösliche Kohlenhydrate	432
b) Mittelwerte — Spurenelemente	434
c) Mittelwerte der Mineral- und Nährstoffe	435
d) Vergleich der Variationskoeffizienten	436
3. Faktorenanalyse der Inhaltsstoffe	437
4. Faktorenanalyse für alle Variablen	440
5. Kohlenhydrate	445
a) Faktorenanalyse	445
b) Die einzelnen Fraktionen	448
aa) Monosaccharide	448
bb) Saccharose	448
cc) Fructosan	450
c) Gesamtgehalt an löslichen Kohlenhydraten	450
6. Spurenelemente	454
a) Faktorenanalyse	454
b) Die einzelnen Elemente	455

¹⁾ Auszug aus der gleichnamigen, von der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau genehmigten Dissertation.

aa) Kupfer	455
bb) Kobalt	457
cc) Molybdän	459
dd) Mangan	460
ee) Zink	462
7. Magnesium und Calcium	465
8. Temperatureinfluß und die Gehalte an Zn, Mg und Ca	468
F. Diskussion	468
G. Literaturverzeichnis	471

Zusammenfassung

1. In zwei Versuchsjahren wurden die Gehalte von 16 Inhaltsstoffen im Mähweidefutter einer Weidelgras-Weißkleeweide (Wiesenrispenfazies) in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung (0-60-120-240 kg N/ha/Aufwuchs), dem Reifestadium (Weidereife = 15 bis 25 dz Trm/ha; Siloreife = 25—35 dz Trm/ha) und der Jahreszeit (Mai, Juli, August) untersucht. Die Auswertung der Analysendaten und der entsprechenden Angaben über Temperatur, Niederschlag, Globalstrahlung und Sonnenscheindauer erfolgte mit der Faktorenanalyse und der schrittweise aufbauenden multiplen Regressionsanalyse. Der Schwerpunkt der Auswertung liegt auf den löslichen Kohlenhydraten (Fructose, Glucose, Saccharose und Fuctosan), auf den Spurenelementen (Co, Mo, Cu, Mn, Zn) und auf den Mengenelementen Ca und Mg. Die Gehalte an Rohprotein, Rohfaser, Nitrat, P und K wurden hinsichtlich ihres Zusammenhanges mit den vorher genannten Inhaltsstoffen ausgewertet.
2. Die Gehalte an *Monosacchariden* (Fructose und Glucose) betragen durchschnittlich im Mai 3,9%, im Juli 2,1% und im August 1,9% i. d. Trm. Mit steigender Temperatursumme 2 Tage vor der Ernte und mit fortschreitender Jahreszeit nahmen die Gehalte ab.
3. Die Gehalte an *Saccharose* (durchschnittliche Gehalte im Mai 3,3%, im Juli 2,3% und im August 1,1% i. d. Trm.) wurden von der Stickstoffdüngung und dem Reifestadium kaum beeinflußt. Mit steigender Minimumtemperatur der Nacht vor der Ernte und mit fortschreitender Jahreszeit nahmen die Gehalte ab.
4. Die Gehalte an *Fructosan* waren verhältnismäßig gering (durchschnittliche Gehalte im Mai 0,71%, im Juli 1,00% und im August 0,9% i. d. Trm.). Steigende Stickstoffgaben und damit steigende Gehalte an Nitrat und Rohprotein verursachten eine Abnahme der Fructosangehalte. Von der Weide- zur Siloreife nahmen die Fructosangehalte regelmäßig zu.
5. Mit der aufbauenden multiplen Regressionsanalyse konnten 13 Einflußgrößen ermittelt werden, durch die die Varianz der *löslichen Kohlenhydrate* (Monosaccharide, Saccharose und Fructosan) zu 97% erklärt wird. Der Beitrag zur Varianzerklärung der Temperatursumme 2 Tage vor der Ernte beträgt 53%, der Beitrag der Stickstoffdüngung 15% und der Jahreszeit 3%. Alle drei Einflußgrößen wirkten negativ auf die Gehalte.
6. Das Mähweidefutter enthielt im Durchschnitt in der Weidereife $14,0 \pm 1,9$ ppm, in der Siloreife $9,2 \pm 1,8$ ppm *Kupfer*. Die wichtigste Einflußgröße war das Reifestadium. Die Cu-Aufnahme hielt mit der Produktion an organischer Substanz nicht Schritt. Der Cu-Gehalt des weidereifen Futters lag immer über der Bedarfsnorm einer 600 kg schweren Milchkuh mit einer Leistung von 20 kg Milch pro Tag, während der Cu-Gehalt des siloreifen Futters überwiegend zu gering war.
7. Der Gehalt an *Kobalt* betrug im weidereifen Futter im Mittel $0,20 \pm 0,06$ ppm, im siloreifen Futter $0,17 \pm 0,06$ ppm. Mit dem Ansteigen des täglichen Mittelwertes des Niederschlages nahm im allgemeinen der Gehalt zu. Der Bedarf der Milchkuh war mit wenigen Ausnahmen reichlich gedeckt.
8. Der Gehalt an *Molybdän* betrug in der Weidereife im Durchschnitt $1,06 \pm 0,48$ ppm, in der Siloreife $1,05 \pm 0,29$ ppm. Mit zunehmender Niederschlagssumme 10 Tage vor der

- Ernte nahmen die Mo-Gehalte ab. Oxydative Verhältnisse im Boden begünstigen die Mo-Aufnahme durch die Pflanze. Die Aufwüchse enthielten für die Milchkuh weder zu wenig noch zu viel an Mo.
9. Das weidereife Futter enthielt im Mittel 52 ± 9 ppm, das siloreife Futter 49 ± 16 ppm Zink. Der Bedarf der Milchkuh an Zn war gedeckt, wenn die Minimumtemperatur der Nacht vor der Ernte $> 5^\circ \text{C}$ und deren Pentadendurchschnitt vor der Ernte $> 7^\circ \text{C}$ war.
 10. Die Gehalte an Mangan waren gering (Mittel in der Weidereife 47 ± 13 ppm, in der Siloreife 41 ± 10 ppm). Die Ursache für die geringen Mn-Gehalte ist in dem hohen Redoxpotential des aus basenreichem Niedermoor entstandenen Bodens der Versuchsfäche zu suchen. Der Gehalt lag meistens unter der Bedarfsnorm.
 11. Die Gehalte an Magnesium betragen in der Weidereife $0,23 \pm 0,04\%$, in der Siloreife $0,22 \pm 0,04\%$. Mit steigenden Minimumtemperaturen bis zum fünften Tag vor der Ernte, mit steigender Niederschlagsmenge 10 Tage vor der Ernte und mit der Erhöhung der Stickstoffgaben nahm der Mg-Gehalt zu. Für die Bedarfsdeckung wurden reichliche Gehalte immer dann erreicht, wenn die Minimumtemperatur der Nacht vor der Ernte und deren Durchschnitt bis zum 5. Tag vor der Ernte $> \text{ca. } 5^\circ \text{C}$ waren.
 12. Die Gehalte an Calcium betragen in der Weidereife $0,75 \pm 0,11\%$, in der Siloreife $0,75 \pm 0,17\%$. Ganz ähnlich wie der Mg-Gehalt nahm der Ca-Gehalt mit steigenden Minimumtemperaturen bis zum 5. Tag vor der Ernte und durch die Erhöhung der Stickstoffgaben zu. Die positive Korrelation zwischen dem Ca- und dem Mg-Gehalt erklärte sich damit, daß die Gehalte beider Elemente von den gleichen Einflußgrößen günstig beeinflußt wurden.
 13. Aus dem Vergleich der Variationskoeffizienten der 16 Inhaltsstoffe ließ sich der Schluß ziehen, daß es möglich sein muß, während der ganzen Vegetationszeit ein Futter mit ziemlich gleichbleibenden Gehalten an Rohprotein, Rohfaser, StE, P und K zu erzeugen.
 14. Die zur Erreichung des höchsten Pflanzenertrages notwendige Konzentration an K, Mg, Cu, Mn und Zn wurde im Aufwuchs aller Versuchsvarianten erreicht. Die P-Konzentration war nur im niederschlagsarmen August 1969 mit $0,3\%$ zu gering.

Summary

1. In two experimental years the quality of hay pasture fodder from a ryegrass-white clover pasture in relation to the nitrogenous manuring (0, 60, 120 and 240 kg N/ha and cut) stage of maturity (grazing stage = 15—25 dz DM/ha; silage stage = 25—35 dz DM/ha) and season of the year (May, July, August) were investigated. The results of the analyses and the corresponding data for temperature, rainfall and sunshine were calculated by factorial analysis and stepwise multiple regression analysis. Specific attention was paid to water-soluble carbohydrates (glucose, fructose, sucrose, fructosan), trace elements (Co, Mo, Cu, Zn, Mn) and calcium and magnesium.
2. The mean contents of monosaccharides in dry matter were 3.9% in May, 2.1% in July and 1.9% in August. With increasing sum of temperatures two days before harvest and from May to August the contents decreased.
3. The mean contents of sucrose (in DM) were 3.3% in May, 2.3% in July and 1.1% in August. Nitrogenous manuring and stage of maturity had no influence. With increasing minimum temperature during the night before harvest the contents decreased.
4. The fodder rich in protein contained only small amounts of fructosan (mean contents in May 0.71%, in July 1.00%, in August 0.9% in DM). Increasing amounts of nitrogen applied reduced the fructosan content, while it rose from grazing stage to silage stage.
5. Evaluation by stepwise multiple regression analysis showed that 97% of the total variance of water-soluble carbohydrates could be explained by 13 variables. The sum of temperatures two days before harvest explained 53%, nitrogenous manuring 15% and the season 3% of total variance. These three factors decreased the carbohydrate contents.
6. The mean copper contents were 14 ± 1.9 ppm in DM at grazing stage and 9.2 ± 1.8 ppm at silage stage. The stage of maturity mainly influenced the copper contents. The re-

- quirements of Cu in a 600 kg milk cow with 20 kg milk/day were met always at grazing stage, while the Cu content remained below the requirements at silage stage.
7. The mean contents of *cobalt* were 0.20 ± 0.06 ppm at grazing stage and 0.17 ± 0.06 ppm at silage stage. With increasing average daily rainfall the contents increased. The Co content, with few exceptions, reached levels in excess of requirements.
 8. The mean *molybdenum* contents were 1.06 ± 0.48 ppm at grazing stage and 1.05 ± 0.29 ppm at silage stage. With increasing sum of rainfall 10 days before harvest the contents of Mo diminished. Oxydative soil processes favour the uptake of Mo by herbage. The molybdenum levels were neither too low nor too high for animal health.
 9. The mean contents of *zinc* were 52 ± 9 ppm at grazing stage and 49 ± 16 ppm at silage stage. The requirements were met, when the minimum temperature was $> 5^\circ \text{C}$ and the average minimum temperature 5 days before harvest was $> 7^\circ \text{C}$.
 10. The contents of *manganese* were low (average contents: 47 ± 13 ppm at grazing stage, 41 ± 10 ppm at silage stage). In the majority of cases the Mn contents lay below the normal requirements, because of the alkaline lowland bog soil of the experimental field.
 11. The mean contents of *magnesium* were $0.23 \pm 0.04\%$ at grazing stage and $0.22 \pm 0.04\%$ at silage stage. Increasing minimum temperatures up to 5 days before harvest, increasing rainfall up to 10 days before harvest and increasing amounts of nitrogen applied favoured the Mg content. The requirements were met, when the minimum temperatures up to 5 days before harvest were $> 5^\circ \text{C}$.
 12. The mean contents of *calcium* were $0.75 \pm 0.11\%$ at grazing stage and $0.75 \pm 0.17\%$ at silage stage. Similar to the Mg content the Ca content increased with increasing minimum temperature up to 5 days before harvest and with increasing amounts of nitrogen applied. Ca and Mg showed a high positive correlation, because both contents were affected by the same factors.
 13. The variation coefficients of 16 nutrients have shown that it is possible to produce a hay pasture fodder with nearly constant contents of crude protein, crude fibre, starch equivalents, P and K throughout the whole season.
 14. The concentrations of K, Mg, Cu, Mn and Zn necessary for the maximum herbage yield were reached in all cases. In August 1969, which was poor in rainfall, only the P concentration was too low.

Eingang des Manuskripts: 5. 7. 74

A. Einleitung

Die Mähweide stellt eine optimale Nutzungsform des Dauergrünlandes dar. Sie ist das beste Mittel zur Erhaltung eines hochwertigen Pflanzenbestandes durch Vermeidung nachteiliger Wirkungen sowohl dauernder Mahd wie einseitiger Weidenutzung (KLAPP 1971). Eine erfolgreiche Mähweidenutzung ist aber ohne Stickstoffdüngung nicht denkbar. Der Stickstoff ist ein ausgezeichnetes Hilfsmittel der Weideführung, da das vegetative Wachstum beschleunigt und der Ertrag pro Zeiteinheit stark gesteigert werden kann (VOIGTLÄNDER 1971b). Unter Voraussetzung einer angemessenen Grunddüngung mit P und K fällt der Stickstoff-

düngung vor allem die Aufgabe zu, das Massenwachstum der Gräser zu fördern. Stickstoffgaben über 300 kg N/ha/Jahr sind dabei heute keine Seltenheit mehr (KÖNEKAMP 1971).

Die Düngung der Weiden mit hohen Stickstoffgaben wirft immer wieder die Frage nach der Qualität des Weidefutters und damit nach der Gesundheit der Weidetiere auf (KNABE u. a. 1964).

Es ist bekannt, daß die Stickstoffdüngung die chemische Zusammensetzung des Mähweidefutters direkt und indirekt beeinflusst (KLAPP 1971). Diese Beeinflussung ist jedoch von vielen Faktoren abhängig, wie z. B. Form und Zusammensetzung des Düngers, Gehalt des Bodens an verfügbaren Elementen, botanische Zusammensetzung der Nar-

be, Zeitpunkt und Häufigkeit der Nutzung, Ertragshöhe usw. (KNABE 1967).

Es ist daher erforderlich, möglichst viele Faktoren zu erfassen, die im Zusammenwirken mit der Stickstoffdüngung die chemische Zusammensetzung der Grünlandpflanzen beeinflussen. Die Wirkung der Stickstoffdüngung kann dann besser erfaßt und beurteilt werden (KNABE 1967).

In der vorliegenden Arbeit wird der Einfluß gesteigerter Stickstoffgaben unter Berücksichtigung des Reifestadiums, der Jahreszeit und einiger Witterungsdaten auf den Gehalt an löslichen Kohlenhydraten und Spurenelementen im Aufwuchs einer Weidelgras-Weißklee-weide untersucht. Die Gehalte an Rohprotein, Rohfaser, Nitrat, P, K, Mg und Ca werden hinsichtlich ihres Zusammenhanges mit den genannten Stoffgruppen ausgewertet.

B. Literaturübersicht

Zu den löslichen Kohlenhydraten der Gräser des gemäßigten Klimas gehören Fructose, Glucose, Saccharose und das Reservopolysaccharid Fructosan. Im englischen Sprachraum werden sie als WSC (= water soluble carbohydrates), TSC (= total soluble carbohydrates) oder TAC (= total available carbohydrates) bezeichnet (ALBERDA 1957, MAY 1960, WEINMANN 1961, McILROY 1967).

Nach KLAPP (1971) benötigen die Grünlandpflanzen für die Lebenserhaltung im Winter, für den Neuaustrieb im Frühjahr und den Wiederaufbau der Pflanze Reservekohlenhydrate, bis die neuentwickelten Blätter wieder ausreichende Assimilate liefern können.

Das Ausmaß der Speicherung an löslichen Kohlenhydraten wurde also im Zusammenhang mit der Nutzungshäufigkeit, der Wurzelentwicklung, dem Wiederaustrieb im Frühjahr und der damit verbundenen Ertragsbildung untersucht (u. a. KLAPP 1942, ALBERDA 1957, KLAPP u. a. 1957, KLAPP u. SCHULZE

1957, HIEPKO 1959, MAY 1960, BROWN u. BLASER 1965, DAVIDSON u. MILTHORPE 1965, BLASER u. a. 1966, BAKER 1960, BOMMER 1966, SKIRDE 1968, BOGDAN 1970).

Den überwiegenden Teil der Reservekohlenhydrate stellt das Fructosan, ein Polysaccharid, das als Baustein vorwiegend Fructose enthält (SCHLUBACH 1957, MENGEL 1968).

Zu einer Speicherung kommt es immer dann, wenn mehr Assimilate durch die Photosynthese gebildet werden, als durch Energie- und Stoffbedarf des Wachstums verbraucht werden. Optimale Temperatur-, Nährstoff- und Feuchtigkeitsverhältnisse können durch die Begünstigung eines raschen Wachstums den Gehalt an Reservestoffen senken (BLASER u. a. 1966, KLAPP 1971).

Die Bedeutung der löslichen Kohlenhydrate der Gräser für die Tierernährung ist noch nicht hinreichend bekannt ('t HART 1967). ARMSTRONG (1967) rechnet sie zu den Energielieferanten in den Rauhfuttermitteln, die für die Pansenbakterien voll verdaulich sind. Möglicherweise hängt auch die Schmackhaftigkeit des Futters bis zu einem gewissen Grade vom Zuckergehalt ab (LAMPETER u. a. 1967). BUCKNER u. a. (1967) ermittelten eine enge Korrelation ($r = + 0,98^*$) zwischen Zuckergehalt und in vitro Verdaulichkeit. Der Gehalt der oberirdischen Pflanzenteile ist mit entscheidend für eine erfolgreiche Konservierung der erzeugten Pflanzenmasse. Die löslichen Kohlenhydrate bilden bei der Silagebereitung die ernährungsphysiologische Grundlage der Milchsäurebakterien (VOIGTLÄNDER 1971a). Unter sonst gleichen Bedingungen kann ein Grünfutter um so sicherer siliert werden, je höher sein Gehalt an löslichen Kohlenhydraten bzw. leicht vergärbaren Zuckern ist (SCHOCH u. ROULET 1962).

Der Zuckergehalt einer Grünlandnarbe kann außerordentlich schwanken. Er hängt ab von der Grasart (OEHRING 1967, 1968), vom Blatt:Stengelverhältnis (GAUSSERES 1965), vom Alter der

Pflanze (WAITE u. BOYD 1953), von der Jahreszeit (ZIMMER 1962, WIERINGA 1960, OEHRING 1967), vom Temperatur- und Strahlungseinfluß (ALBERDA 1957, ARCHIBALD 1961, 't HART 1967, DEINUM 1966 u. 1969), von der Düngung (MAY 1960, NOWAKOWSKI 1962) und insbesondere von der Stickstoffdüngung (ALBERDA 1965, JONES u. a. 1965, KLAPP 1971).

Spurenelemente im biologischen Sinn sind allgemein Elemente, die in Organismen (Pflanze, Tier, Mensch) schon in sehr geringen Konzentrationen lebenswichtige Funktionen ausüben und für das normale Gedeihen lebensnotwendig sind (RÖMPP 1954).

Der für das Gedeihen der Weidepflanzen notwendige Gehalt muß nicht mit der Konzentration übereinstimmen, die für das Weidetier erforderlich ist. So benötigen die Tiere z. B. mehr Cu und Mn, als die Pflanze bei normaler Futteraufnahme enthält (FINCK 1969). Kupfermangel auf dem Grünland beeinflußt weniger den Ertrag als die Gesundheit der Tiere (HENKENS 1962). Die Pflanze muß Luxuskonsum treiben, wenn sie

für das Weidetier eine hochwertige Nahrung sein soll (LAATSCH 1954).

Der Spurenelementgehalt der Weidepflanzen wird zu jedem Zeitpunkt durch den Einfluß und die Wechselwirkung einer Reihe von Faktoren bestimmt (FLEMING 1970). Die wichtigsten Faktoren sind der Bodentyp (SCHLICHTING 1962, STEGER u. PÜSCHEL 1956), das Ausgangsgestein (ANKE 1961, RIEHM u. SCHOLL 1957), der pH-Wert und das Redoxpotential des Bodens (MENGEL 1968, SMILDE u. LUIT 1967, HASLER u. PULVER 1957), die Pflanzenart (WÖHLBIER u. KIRCHGESSNER 1957, BRÜGGEMANN u. a. 1960, McNAUGHT u. DOROFÄEFF 1968, KIRCHGESSNER 1957, ANKE 1961), das Alter der Pflanze (BEESON u. McDONALD 1951, KIRCHGESSNER 1957 a und b, KIRCHGESSNER u. a. 1960, FLEMING 1968), das Blatt: Stengelverhältnis (ANKE 1961, FLEMING 1965), die Jahreszeit (FLEMING 1968 u. 1970, HEMINGWAY 1962, McNAUGHT u. DOROFÄEFF 1968, SCHECHTNER 1967, KNABE u. a. 1964, PAHL u. a. 1970, KIRCHGESSNER u. a. 1971), die P- und K-Düngung (BORCHMANN 1966),

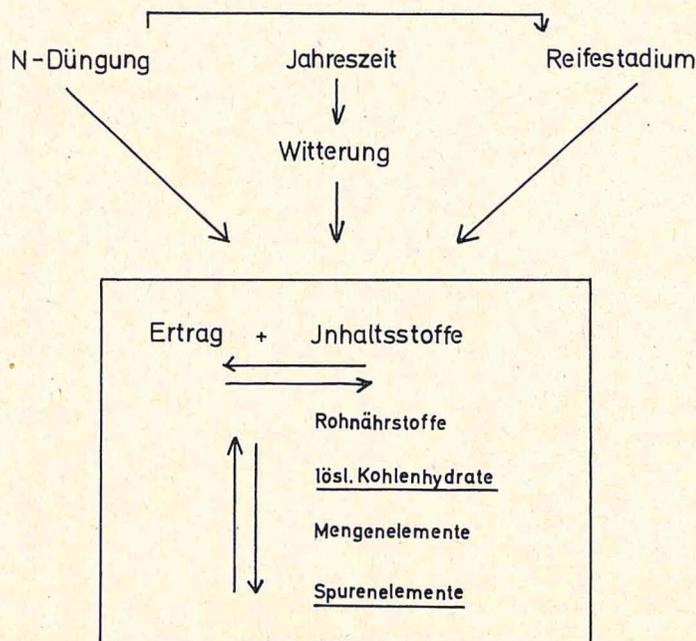


Abb. 1: Modell der unterstellten möglichen Beziehungen.

die Düngung mit Spurenelementen (HENKENS 1965, SMILDE u. LUIT 1967), die Bewirtschaftung (DHEIN u. AHRENS 1962) und die N-Düngung (WHITEHEAD 1970, KNABE 1967, KLAPP 1971, SMILDE u. LUIT 1967).

C. Problemstellung

Vom Versuch her ist ein mehrdimensionales System von Einflüssen und deren Auswirkungen gegeben. Beliebig variierebare und nicht variierebare Faktoren bewirken Höhe und Veränderungen der Gehalte an Inhaltsstoffen, die sich sicher nicht unabhängig voneinander verändern (siehe Abb. 1).

In dieser Arbeit wird deshalb mit Hilfe multivariater biometrischer Methoden versucht, alle Variablen gleichzeitig auszuwerten. Damit sollen die Zusammenhänge zwischen den Inhaltsstoffen aufgezeigt und die Faktoren ermittelt werden, die hauptsächlich die Variabilität der Gehalte an löslichen Kohlenhydraten und Spurenelementen verursachen.

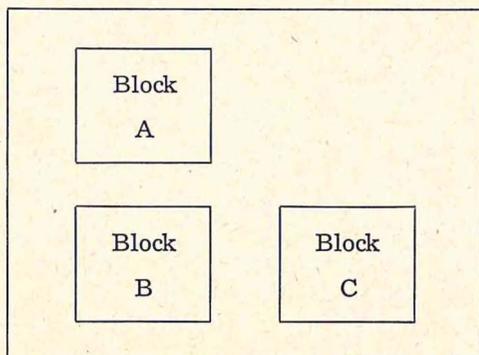
D. Material und Methoden

1. Versuchsort und Versuchsplan

Die vorliegende Auswertung stützt sich auf einen zweijährigen Stickstoffsteigerungsversuch, der in den Jahren 1969

und 1970 auf dem Versuchsgut Grünschwaige durchgeführt wurde. Das Versuchsgut Grünschwaige liegt 8 km von Freising entfernt auf Niedermoorboden über Schotter im Naturraum Münchener Schotterebene. Der Versuchsort und vergleichbare ähnliche Lagen in den Niedermoorgebieten der Schotterebene werden wegen des besonders in Jahren mit reichlichen Niederschlägen hohen Grundwasserstandes zum größten Teil als Dauergrünland genutzt (PAHL 1968). Die Tabellen 1 und 2 geben Auskunft über den Standort, das Klima, die Grunddüngung, die Pflanzengesellschaft und die wichtigsten Bestandsbildner.

Die N-Düngung umfaßte die Stufen 0-60-120-240 kg N/ha und Aufwuchs. Zur Beurteilung des Reifestadiums diente die Parzelle mit 60 kg N/ha, wobei für die Weidereife 15—25 dz Trm/ha und für die Siloreife 25—35 dz Trm/ha angestrebt wurden. Eine Probenahme erfolgte in den Monaten Mai, Juli und August. Die Versuchsflächen wurden vorher und nachher betriebsüblich genutzt, so daß sich eine fünfmalige Nutzung pro Jahr ergab. Um eine Nachwirkung der N-Düngung und der unterschiedlichen Nutzungszeitpunkte zu verhindern, wurde der Versuch zu jedem versuchsmäßig genutzten Aufwuchs für Mai, Juli und August neu angelegt. So ergab sich folgender Versuchsplan mit systematischer Verteilung der N-Varianten und der sechs Wiederholungen:



Block A bzw. B bzw. C

	Siloreife				Weidereife			
f	2	3	1	4	2	3	1	4
e	1	4	2	3	1	4	2	3
d	2	3	4	1	2	3	4	1
c	4	1	2	3	4	1	2	3
b	3	4	1	2	3	4	1	2
a	1	2	3	4	1	2	3	4

1—4 = Stickstoffsteigerung

a—f = Wiederholungen

Tabelle 1: *Angaben über den Versuchsstandort*
(Geologie und Boden nach BRUNNACKER 1959, 1960)

Geographische Lage:	48° 23' N, 11° 50' E
Höhenlage über NN:	435 m
Naturraum:	Münchener Ebene
Geologische Unterlage:	Flachmoortorf auf würmeiszeitlichen Kalkschottern
Bodentyp:	puffiges, basenreiches Niedermoor
Bodenart:	stark anmooriger Sand bis Lehm
Pflanzengesellschaft:	Weidelgras-Weißkleeweide in einer Wiesenrispenfacies
Nutzung:	Ganztagsweide; 5- bis 6malige Nutzung/Jahr
Mittlere Jahrestemperatur 1931 bis 1960:	7,7° C
April bis September:	13,8° C
Jährliche Niederschläge:	814 mm
April bis September:	527 mm
Jährliche Sonnenscheindauer:	1786 Stunden
April bis September:	1264 Stunden
PK-Grunddüngung:	90 kg P ₂ O ₅ /ha jeweils am 10. 4. 1969 und 8. 4. 1970 150 kg K ₂ O/ha

Tabelle 2: *Pflanzenbestand; geschätzte Massenanteile der wichtigsten Bestandsbildner*
(Mittel aus 52 Aufnahmen), in % des Gesamtertrages

GRÄSER	92	<i>Lolium perenne</i>	2
<i>Poa pratensis</i>	24	<i>Alopecurus pratensis</i>	1
<i>Festuca pratensis</i>	20		
<i>Dactylis glomerata</i>	16	KRÄUTER	4
<i>Agropyron repens</i>	15	<i>Taraxacum officinale</i>	4
<i>Agrostis stolonifera</i>	10		
<i>Poa trivialis</i>	2	LEGUMINOSEN	3
<i>Phleum pratense</i>	2	<i>Trifolium repens</i>	3

Die Parzellengröße betrug 3,0 m × 6,2 m = 18,6 m². Die Feststellung des Grün- und Trockenmasse-Ertrages erfolgte auf einer Fläche von 5,0 m × 2,4 m = 12,0 m².

Die Zeitpunkte der N-Düngung, die Schnittzeitpunkte und die Zahl der Wachstumstage für die einzelnen Schnitte sind der folgenden Aufstellung zu entnehmen:

	1969	1970	
	10. 4.	15. 4.	N verabreicht: 0—60—120—240 kg/ha
Block A	11. 5.	14. 5.	Schnitt Weidereife (31 bzw. 29 Wachstumstage)
	21. 5.	21. 5.	Schnitt Siloreife (41 bzw. 36 Wachstumstage)
	6. 6.	15. 6.	N verabreicht: 0—60—120—240 kg/ha

Block B	2. 7.	10. 7.	Schnitt Weidereife (26 bzw. 25 Wachstumstage)
	11. 7.	22. 7.	Schnitt Siloreife (35 bzw. 37 Wachstumstage)
	17. 7.	16. 7.	N verabreicht: 0—60—120—240 kg/ha
Block C	13. 8.	17. 8.	Schnitt Weidereife (27 bzw. 31 Wachstumstage)
	22. 8.	24. 8.	Schnitt Siloreife (36 bzw. 38 Wachstumstage)

2. Chemische Methoden

Die Analysen (außer lösliche Kohlenhydrate) wurden von der Hauptversuchsanstalt für Landwirtschaft (HVA) in Weihenstephan durchgeführt. Die Methoden sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

Bodenanalyse

<i>Nährelement</i>	<i>Methode</i>
P ₂ O ₅ , K ₂ O	EGNER—RIEHM 1955
Mg	SCHACHTSCHABEL 1954
C, N	SPRINGER und KLEE 1958
Cu	WESTERHOFF 1955
Mn	aktives Mn nach SCHACHTSCHABEL 1956
Mo	SCHOLL 1962
Zn	Extraktion in 0,05 m-EDTA ¹⁾

Pflanzenanalyse

<i>Nährstoff bzw. Mengenelement</i>	<i>Methode</i>
Rohprotein	KJELDAHL 1883
Nitrat	BALKS u. M. 1960
Rohfett	SCHULZ 1911
Rohfaser	Verbandsmethode der Lufa in der Modifikation von LEPPER (1933)
Asche	SEIDEN 1926
Na	Mitteilung der Lufa (1967)
P	GERICKE et al. 1952
Ca	Mitteilung der Lufa 1965
K	emissionsflammenphotometrisch ¹⁾
Mg	atomare Absorptionsspektrophotometrie ¹⁾
<i>Spurenelement</i>	<i>Methode</i>
Cu, Zn, Mn	atomare Absorptionsspektrophotometrie ¹⁾
Co	Mitteilung der Lufa (1965), kolorimetrisch als 2-Nitroso-1-naphthol-Komplex
Mo	nach SCHOLL (1962), kolorimetrisch als Toluol-3,4-Dithiol-Komplex

¹⁾ in der Hauptversuchsanstalt Weihenstephan entwickelte unveröffentlichte Methode

Bestimmung von Glucose, Fructose, Saccharose und Fructosan

250 mg gefriergetrocknete Pflanzensubstanz wurden nacheinander 5 mal mit jeweils 25 ml 80%igem Äthanol 10 Minuten bei 40° C unter Stickstoff in einem Extraktor nach WÜNSCH (1964) extrahiert.

Der Extrakt und der Rückstand wurden weiter behandelt nach OJIMA u. a. (1968) in einer Modifikation nach LOOSER (unveröffentlicht):

- a) Der Extrakt wird bei 35—40° C im Rotationsverdampfer bis fast zur Trockne eingengt. Man gibt 10—15 ml H₂O hinzu und filtriert in einen 100-ml-Meßkolben. Es wird 2—3mal mit der gleichen Menge H₂O nachgespült. Nach Auffüllen zur Marke können in der klaren, hellgefärbten Lösung (a) die Zucker, Glucose und Fructose, bestimmt werden.

- b) 25 ml Lösung a werden im 50-ml-Meßkolben mit 20 ml 1%iger Oxalsäure versetzt und 1 Std. auf dem Wasserbad (95° C) hydrolisiert. Nach dem Abkühlen füllt man zur Marke auf und bestimmt die Saccharose in Form von Fructose und Glucose, abzüglich der Fructose und Glucose aus Lösung a.

- c) Der Rückstand der alkoholischen Extraktion wird 1 Std. im Wasserbad (95° C) mit etwa 80 ml 0,5%iger Oxalsäure hydrolisiert, in einen 100-ml-Meßkolben filtriert und nach Abkühlung zur Marke aufgefüllt. Die klare fast farblose Lösung wird zur Bestimmung von Fructosan (gemessen als Fructose) verwendet.

Fructose und Glucose wurden jeweils enzymatisch nach den Vorschriften von BERGMAYER und BERNT (1962) bestimmt.

3. Meteorologische Daten

Die Messung der Temperatur, des Niederschlags und der Sonnenscheindauer erfolgte in der Klimahilfsstation Grünschwaike des Deutschen Wetterdienstes.

Die Minimumtemperatur wurde in 5 cm Höhe über Gras gemessen. Die Temperatursummen (1. bis 10. Tag vor der Ernte) sind nach der Formel Σ (Tagesdurchschnitt $> 5^\circ \text{C}$) berechnet. Für die Messung der Sonnenscheindauer wurde ein Sonnenscheinauto-graph nach CAMPBELL-STOKES verwendet.

Die Klimahilfsstation liegt direkt neben der Versuchsfläche. Nur die Globalstrahlung (Solarimeter nach KIPP und ZONEN) wurde in Weihenstephan gemessen.

4. Biometrische Methoden

Mehrdimensionalen Versuchen sollte eine mehrdimensionale biometrische Auswertung folgen (FERRARI 1967, SCHÄFER 1970, REINER 1971). Die gleichzeitige Auswertung mehrerer gemessener Merkmale ermöglicht eine viel sicherere und umfassendere Aussage als die Behandlung eines Merkmals (REINER 1971). Die damit erfaßten Wechselwirkungen zwischen den Variablen bringen einen zusätzlichen Informationsgewinn (REINER 1971/72).

Unter diesen Voraussetzungen wird es als notwendig erachtet, Daten über Ertrag, Nähr- und Mineralstoffgehalt sowie der Witterung mit in die Auswertung aufzunehmen, um zu einer klareren Deutung der Ursachen der Veränderlichkeit der Gehalte an löslichen Kohlenhydraten und Spurenelementen zu kommen.

In dem in Abb. 1 unterstellten Modell lassen sich „Wirkungspfade“ aufzeigen (REINER 1971). So kann z. B. die Stickstoffdüngung über die Steigerung des Proteingehaltes die Gehalte an löslichen Kohlenhydraten senken (SCHLUBACH 1957, MENGEL 1968).

Es wird mit Hilfe der multiplen Faktorenanalyse versucht, solche Wirkungspfade für die Gehalte an löslichen Kohlenhydraten und Spurenelementen darzustellen. Dies soll in vier Schritten geschehen: Zuerst werden die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Inhaltsstoffen ermittelt. Im zweiten Schritt wird das Modell erweitert und gezeigt, wie sich die gefundenen Zusammenhänge durch den Einfluß der Stickstoffdüngung, der Jahreszeit, des Reifestadiums und der Witterung erklären lassen. Auf Grund des zweiten Ergebnisses werden dann die wichtigsten Einflußgrößen ausgewählt und getrennt für Kohlenhydrate und Spurenelemente verrechnet.

a) Faktorenanalyse

Um Begriffsverwechslungen zu vermeiden, wird der Begriff „Faktor“ nur noch im Zusammenhang mit der Faktorenanalyse gebraucht, Meßgrößen werden allgemein als Variable bezeichnet. Die unabhängigen Variablen sind dann die „Einflußgrößen“ und die abhängigen Variablen die „Zielgrößen“ (SCHÄFER u. HANUS 1970).

Die Theorie der Faktorenanalyse besagt, daß einem System interkorrelierter Variabler gemeinsame Verursachungsfaktoren zugrunde liegen, so daß die Korrelation zwischen jeweils zwei Variablen auf einen oder mehrere gemeinsame Faktoren zurückzuführen ist (URFF u. ORT 1968).

Die Strukturzusammenhänge der untersuchten Variablen werden hierbei durch die Faktorladungen wiedergegeben, wobei der Modellvorstellung zugrunde liegt, daß jede Variable als Linearkombination solcher Faktoren darstellbar ist (HEILAND 1968). Die Koeffizienten in den Faktorspalten, die Faktorladungen, geben dabei das Gewicht eines Faktors für eine bestimmte Variable an. Sie entsprechen den Korrelationskoeffizienten zwischen Variabler und Faktor. Wegen der besseren Anschaulichkeit werden sie als Bestimm-

heitsmaß ($= r^2 \times 100$) angegeben. Die Vorzeichen bleiben für die Interpretation erhalten, sie sind jedoch nur innerhalb eines Faktors zu vergleichen.

Die Faktorladung läßt erkennen, welche Variablen zusammenhängen und wie stark ihre Verbindungen untereinander sind (HEILAND 1968). Ein Faktor ist zunächst eine mathematische Größe, die aus den beobachteten Variablen abgeleitet ist (ÜBERLA 1968). Bei der Interpretation muß auf Grund der unterschiedlichen Ladungen in den Faktoren versucht werden, für jeden Faktor eine biologisch sinnvolle Bezeichnung zu finden, die den tatsächlichen Gegebenheiten Rechnung trägt (SCHÄFER 1970). Im allgemeinen ist die Zahl der Faktoren geringer als die der Variablen. Die Faktorenanalyse reduziert also eine Vielzahl von Merkmalen auf Merkmalsgruppen. Durch jede dieser Gruppen (Faktoren) wird ein Teil der Gesamtvarianz aller Variablen erklärt. Im Faktorenschema wird sie einzeln für jeden Faktor und kumulativ in Prozent angegeben. Jeder Faktor trägt aber auch mehr oder weniger zur Erklärung der Varianz jeder einzelnen Variablen bei. Die Kommunalität (h^2) gibt an, wieviel Prozent der Varianz einer Variablen durch alle Faktoren erklärt wird. Sie ist die Zeilensumme aller Faktorladungen einer Variablen (REINER 1971).

b) *Aufbauende multiple Regressionsanalyse*

Zur Klärung der quantitativen Zusammenhänge wurde eine schrittweise aufbauende multiple Regressionsanalyse durchgeführt. Die Auswahl der Einflußgrößen aus dem gesamten Datenmaterial erfolgt nach dem F-Test. Zuerst wird die partielle Korrelation für jede Einflußgröße mit der Zielgröße berechnet. Die Einflußgröße mit dem höchsten F-Wert wird nun als erste in die lineare multiple Regressionsgleichung aufgenommen. Beim nächsten Schritt geschieht das gleiche. Wieder

werden die partiellen Korrelationen berechnet und die Variable mit dem höchsten F-Wert aufgenommen. Die Auswahl wird abgebrochen, wenn keine Variable mehr vorhanden ist, die einen F-Wert größer als 0,01 oder einen anderen vorgegebenen Wert erreicht. Die Variablen sind so gewichtet, daß der Schätzfehler (Rest) möglichst gering wird. Der Regressionskoeffizient b_n gibt die Regression zwischen der Zielgröße y und der Einflußgröße x_n wieder, bereinigt vom Einfluß der anderen Variablen. Durch das Aufdecken der partiellen Beziehungen kann es dabei im Gegensatz zur einfachen Korrelationsanalyse häufig zu einem Vorzeichenwechsel kommen.

Mit jedem Auswahlsschritt nimmt die multiple Bestimmtheit zu. Es läßt sich damit herausfinden, welche Variablen einen Beitrag zur Erklärung der Varianz der Zielgröße liefern und welche Einflußgrößen dabei den größten Informationsgehalt besitzen (REINER und HANUS 1967, REINER, HANUS, PIENDL 1967, SCHALLER 1971, REINER 1971/72).

Die Güte einer Schätzfunktion kann auch mit dem Standardfehler der Schätzung beurteilt werden. Der Standardfehler ist die Quadratwurzel aus der Varianz um die Regression (Rest). Er mißt die Güte der Anpassung in Einheiten, in welchen die abhängige Variable gemessen wird, während der Korrelationskoeffizient und das Bestimmtheitsmaß relative Maße sind (WALLIS u. ROBERTS 1962). Etwa zwei Drittel der Beobachtungen unterscheiden sich von den berechneten Werten um weniger als den Standardfehler (positiv oder negativ), etwa 95% um weniger als zweimal den Standardfehler und praktisch alle um weniger als sein Dreifaches (WALLIS u. ROBERTS 1962). Der Standardfehler wird in den Abbildungen ebenfalls dargestellt.

Die Berechnungen konnten mit den Programmen des Institutes für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (Weihenstephan) im Institut für Plasma-

physik (Garching) durchgeführt werden (Computersystem IBM 360/91). Herrn Privatdozent Dr. L. REINER sei für die gewährte Unterstützung gedankt.

E. Ergebnisse

1. Ergebnisse der Bodenuntersuchung (siehe Tab. 3)

Der Boden der Versuchsfläche ist gekennzeichnet durch hohen pH-Wert und enges C/N-Verhältnis. Das bedeutet: gute Durchlüftung, hohes Redoxpotential und gute Nitrifizierung (SCHEFFER—SCHACHTSCHABEL 1970).

Nach den Untersuchungsergebnissen von KIEPE (1972) sollte die Untersuchung des Weidebodens auf die Versorgung mit P und K in der Zeit der Vegetationsruhe erfolgen (November—Januar). In dieser Zeit sind 20—25 mg K₂O bzw. P₂O₅/100 g Boden in der Tiefe von 0—6 cm als ausreichend zu betrachten. So war nach KIEPE (1972) der Boden der Versuchsfläche nicht überall ausreichend mit P₂O₅ versorgt, während der K₂O-Gehalt wesentlich über den Grenzwerten liegt (6. Nov.).

SCHEFFER—SCHACHTSCHABEL (1970) fordern für Grünlandböden 10—15 mg Mg/100 g Boden; damit ist eine ausreichende Mg-Versorgung gegeben. Ebenso dürfte genügend Cu verfügbar sein; nach HENKENS (1962) sollte der Gehalt mindestens 4 ppm betragen.

BROWN u. a. (1962) fordern bei Gehalten unter 0,55 ppm an verfügbarem Zn eine Zn-Düngung. Demnach ist reichlich Zn verfügbar (auch STANTCHEW 1966).

Die Forderung von mindestens 70 ppm Mn bei einem pH-Wert von über 5,8 wird erfüllt (SCHEFFER—SCHACHTSCHABEL 1970).

Nach den Angaben von BERGMANN u. a. (1962) und TROBISCH (1962) ist die Versorgung mit pflanzenverfügbaren Mo zwar nicht besonders hoch, aber unter Berücksichtigung des hohen pH-Wertes

für ein normales Gedeihen der Pflanzen ausreichend.

2. Besprechung der Mittelwerte der Inhaltsstoffe

a) Lösliche Kohlenhydrate

Ein Vergleich unserer Mittelwerte mit den Angaben der Literatur (siehe Tab. 4) zeigt, daß die Gehalte an Zuckern (Glucose, Fructose, Saccharose) in der Größenordnung mit den Angaben anderer Autoren übereinstimmen (WAITE u. BOYD 1953, NOWAKOWSKI 1962, OHRING 1967, McILROY 1967).

Der niedrige Fructosangehalt überrascht zunächst. WAITE und BOYD (1953) und NOWAKOWSKI (1962) berichten von Gehalten um 10% Fructosan i. d. Trm. bei vergleichbaren Gräsern, McILROY (1967) gibt noch höhere Werte an. Ein Grund mag in der unterschiedlichen Schnitthöhe liegen (WAITE zit. McILROY 1967), WAITE u. BOYD (1953) und NOWAKOWSKI (1962) schnitten die Pflanzen bis zu einer Stoppelhöhe von 1 cm, wir bis zu einer solchen von ca. 3—4 cm. Die von uns geernteten Pflanzenteile entsprechen daher der Pflanzenmasse, die unter praktischen Verhältnissen für Silierung und Verfütterung gewonnen wird.

Das Reservepolysaccharid Fructosan wird aber in bestimmten als Reserveorgane bezeichneten Pflanzenteilen abgelagert. Das sind für *Festuca pratensis* und *Dactylis glomerata* (zusammen etwa 40% des untersuchten Pflanzenbestandes) die Stoppeln, die wir bei unserer Schnitthöhe nicht mehr voll erfaßt haben (KLAPP u. SCHULZE 1957). Auf der anderen Seite enthält der Bestand etwa 50% ausläufertreibende Gräser, die das Fructosan bereits während der aktiven Wachstumsperiode in die Rhizome (*Poa pratensis*, *Agropyron repens*) und Stolonen (*Agrostis stolonifera*) einlagern (MAY 1960).

Die Schnitthöhe und die frühzeitige Einlagerung können für die niedrigen Fructosangehalte nicht allein der Grund

Tabelle 3: Ergebnisse der Bodenuntersuchung der Versuchsfläche im Jahr 1970

		Tiefe	pH-Wert	P ₂ O ₅		K ₂ O		Mg ⁺	Mn ppm	Zn ppm	Cu ppm	Mo ppm	C ⁺ %	N ⁺ %	C/N ⁺
				6. 6.	6. 11.	6. 6.	6. 11.								
Mai	WR		6,9	16	9	18	28		120	10,5	6,0	0,13			
	SR		6,9	13	22	51	30		115	10,0	6,0	0,09			
Juli	WR	0—7 cm	6,8	20	22	49	37	33	90	9,5	4,0	0,13	18,05	1,9	1:9,5
	SR		6,8	19	14	64	33		115	10,0	5,0	0,13			
August	WR		6,8	15	14	44	36		130	11,5	6,0	0,10			
	SR		6,7	15	20	60	38		145	13,0	7,0	0,10			
Mai	WR		7,0	3	2	22	14		85	5,0	5,5	0,10			
	SR		6,9	3	3	22	16		90	5,0	4,5	0,06			
Juli	WR	7—20 cm	6,9	4	4	25	18	32	55	5,5	3,0	0,12	17,2	1,9	1:9
	SR		6,9	3	3	35	15		70	5,0	4,0	0,07			
August	WR		6,9	3	3	27	22		75	5,0	4,0	0,07			
	SR		6,8	3	3	27	20		75	6,5	5,5	0,08			

+ Mischprobe

Tabelle 4: Mittelwerte (\bar{x}), Standardabweichungen (s) und Variationskoeffizienten ($s^0/0$) der löslichen Kohlenhydrate im Weidefutter 1969 und 1970

(WR = Weide-, SR = Siloreife)

	Glucose und Fructose in % d. Trm.		Saccharose in % d. Trm.		Fructosan in % d. Trm.		lösliche KH in % d. Trm.	
	WR	SR	WR	SR	WR	SR	WR	SR
\bar{x}	2,31	2,69	2,22	2,23	0,71	1,04	5,26	5,97
$s \pm$	0,73	2,12	1,25	1,33	0,43	0,66	1,84	2,76
$s^0/0$	31,6	78,8	56,3	59,6	60,5	63,4	52,6	46,2

sein, denn auch WAITE und BOYD (1953) fanden bei 3—4 cm Schnitthöhe für *Dactylis glomerata* bis 6% Fructosan i. d. Trm., für *Festuca pratensis* bis 12% i. d. Trm. Entscheidend ist wohl die Intensität der Nutzung (ALBERDA 1957). Höhere Düngung ermöglicht mehr Schnitte, das führt zu einem an Rohprotein reichen Futter, aber zu einer Verringerung der Fructosangehalte (WAITE 1958). So fand WAITE (1970) unter 6maliger Nutzung im Knaulgras durchschnittlich nur noch 0,6% Fructosan i. d. Trm. gegenüber 5,1% bei 4maliger Nutzung.

Unser Versuch wurde auf einer grasreichen Dauergrünlandfläche angelegt, die bereits vorher vom Betrieb mehrere Jahre intensiv als Mähweide genutzt wurde. Bei der 5—6maligen Nutzung wurden die Graspflanzen überwiegend im vegetativen Stadium geerntet.

Bei extensiver Nutzung ist das Fructosan die dominierende KH-Fraktion in der oberirdischen Blattmasse, während bei intensiver Nutzung die Saccharose zum Hauptbestandteil wird (WAITE 1970). So fanden GREEN und BEARD (1969) in den Blättern von Wiesenrispe unter Rasennutzung (Schnitthöhe 3 cm) nur noch Spuren von Fructosan. Demnach verhalten sich die Fructosangehalte der oberirdischen Blattmasse ähnlich wie die der Speicherorgane (vgl. Abschn. B).

Die relativ niedrigen Gehalte an löslichen Kohlenhydraten in den Aufwüchsen von intensiv genutzten Dauerweiden und Reinbeständen sind also auf den geringen Anteil des Reservepolysaccharides Fructosan zurückzuführen.

b) Mittelwerte — Spurenelemente

In Tab. 5 sind die durchschnittlichen Gehalte an Cu, Zn, Mn, Mo und Co angegeben. Zum Vergleich sind die Angaben der DLG-Futterwerttabellen und die Bedarfszahlen (KIRCHGESSNER 1970) aufgeführt.

Relativ hoch ist der Gehalt an Cu in der Weidereife, auch gegenüber Ergebnissen von PAHL u. a. (1970) und KIRCHGESSNER u. a. (1971). Dadurch wird das Ergebnis der Bodenanalyse bestätigt; der Boden der Versuchsfläche war ausreichend mit Cu versorgt.

Beim Zn-Gehalt verhält es sich ähnlich wie beim Cu. Auch hier wird die Ursache in der relativ hohen Versorgung des Bodens zu suchen sein. Für ein ungestörtes Pflanzenwachstum sind nach KNAUER (1968) 20—30 ppm i. d. Trm. notwendig. Interessant ist der Vergleich der Mn- und Mo-Gehalte mit den Ergebnissen von PAHL u. a. und KIRCHGESSNER u. a. (siehe Tab. 6). Ihre Untersuchungen wurden auf Mineralböden durchgeführt. Im Vergleich der Standorte fällt auf, daß höhere Mn- mit niedrigeren Mo-Gehalten verbunden sind. Für die Verfügbarkeit der beiden Elemente sind die Mobilitätsverhältnisse im Boden entscheidend (FINCK 1969). Ein hohes Redoxpotential des Bodens verringert die Verfügbarkeit des Mn, verbessert aber die Verfügbarkeit des Mo (FINCK 1969, MENGEL 1968, SCHEFFER—SCHACHTSCHABEL 1970). Der Niedermoorboden der Versuchsfläche ist gekennzeichnet durch einen hohen pH-Wert und ein hohes Redoxpotential.

Tabelle 5: Mittelwerte (\bar{x} in ppm), Standardabweichung (s) und Variationskoeffizient ($s^0/0$) der Spurenelementgehalte des weide- und siloreifen Weidefutters 1969 und 1970. Zum Vergleich sind die Gehalte der DLG-Futterwerttabelle (Weidegras) und der Bedarf (KIRCHGESSNER 1970) angegeben

	Cu ppm		Zn ppm		Mn ppm		Mo ppm		Co ppm	
	WR	SR								
\bar{x}	14,0	9,2	52	49	47	41	1,06	1,05	0,20	0,17
s	1,9	1,8	9	16	13	10	0,48	0,29	0,06	0,06
$s^0/0$	13,5	19,0	17,3	30,6	27,0	24,3	45,2	27,6	30,0	35,2
(Futterwert- Tabelle DLG)	9,1		34		182				0,17	
Bedarf (KIRCH- GESSNER 1970)	10		50		40—50		1		0,1	

Tabelle 6: Vergleich der Mn- und Mo-Gehalte im Mähweidefutter verschiedener Standorte

Stark anmooriger Sand bis Lehm pH = 6,9:	Mn ppm	Mo ppm
Grünschwaige 1969 und 1970	43,7 ± 11	1,05 ± 0,4
Schwach pseudovergleyte Acker- braunerde, schwach sauer:		
KIRCHGESSNER u. a. 1971	96 ± 36	0,52 ± 0,13
PAHL u. a. 1970 (1964)	68 ± 18	0,54 ± 0,11
(1966)	47 ± 6	0,74 ± 0,08

Der Co-Gehalt schwankt in den Grenzen, die auch in der Literatur zu finden sind (FLEMING 1968, HASLER u. ZUBER 1955, PAHL u. a. 1970, KIRCHGESSNER u. a. 1971). Doch ist bei der Beurteilung des Co-Gehaltes Vorsicht geboten, da selbst geringste Verunreinigungen durch Erde zu falschen Werten führen können (LAATSCH 1954, HASLER u. ZUBER 1955).

Aber nicht nur Boden und Nährstoffversorgung, sondern auch das Aneignungsvermögen der einzelnen Grasarten ist für den Spurenelementgehalt des Futters von Bedeutung (ANKE 1962, BORCHMANN 1962, KNABE 1966). Übereinstimmung herrscht darüber, daß die Spurenelementdüngung die Gehalte im Futter allgemein steigert, das Artverhalten jedoch nur geringfügig beeinflußt. So beurteilt ANKE (1962) die Wiesenrispe und den Wiesenschwingel (zusammen etwa 44% unseres Bestandes) als manganarm. Allerdings bevorzugt die Wiesenrispe gerade lockere, durchlüftete Böden (KLAPP 1971). BORCH-

MANN (1962) und ANKE (1962) stellten die These auf, daß manganarme Arten reicher an Cu sind.

Beim Wiesenschwingel fanden LANG u. a. (1972) ebenfalls relativ hohe Cu-Gehalte (11—15 ppm bei 20—25, 30 und 40 cm Wuchshöhe) und für Mineralböden relativ niedrige Mn-Gehalte (45 bis 70 ppm). KIRCHGESSNER u. a. (1971) ermittelten auf vergleichbarem Mineralboden dagegen 80—140 ppm Mn bei 30 Tage altem Weidegras. An Hand unseres Versuches läßt sich nicht nachweisen, in welchem Ausmaß die einzelnen Grasarten die Spurenelementgehalte beeinflußt haben. Doch wird neben der Versorgung des Bodens auch der Massenanteil einzelner Gräser bestimmend für das erreichbare Gehaltsniveau an den einzelnen Spurenelementen sein.

c) Mittelwerte der Mineral- und Nährstoffe (siehe Tab. 7)

Um die Art und die Qualität des untersuchten Futters besser beurteilen zu

Tabelle 7: Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (s) der Nährstoff- und Mengenelementgehalte des Weidefutters 1969 und 1970. Zum Vergleich die Angaben der DLG-Futterwerttabelle, der Bedarf einer 600 kg schweren Milchkuh mit 20 kg Milch pro Tag (nach VOIGTLÄNDER 1971c) und die Grenzwerte für eine ausreichende Nährstoffversorgung der Pflanzen (nach KNAUER 1963, 1966, 1968)

		WR	SR	Erforderliche Gehalte bei einer Futteraufnahme von kg Trm.:		DLG-Tabelle:	Grenzwerte für eine ausreichende Versorgung der Pflanzen:	
				12	14		WR	SR
Ertrag dz Trockenmasse/ha	\bar{x}	23,4	32,2					
	s	$\pm 5,4$	$\pm 6,9$					
Rohprotein % in der Trockenmasse	\bar{x}	24,0	20,4			19,3		
	s	$\pm 3,6$	$\pm 2,6$					
verd. Rohprotein %	\bar{x}	19,4	15,9	13,3	11,4			
	s							
Rohfaser %	\bar{x}	23,2	25,8	20—22	20—22	23,2		
	s	$\pm 2,4$	$\pm 2,0$					
StE je kg Trockenmasse	\bar{x}	613	570	700	600	604		
	s	± 45	± 38					
P %	\bar{x}	0,41	0,38	0,40	0,34	0,34	0,40	0,35
	s	$\pm 0,06$	$\pm 0,05$					
K %	\bar{x}	3,98	3,70				2,00	1,90
	s	$\pm 0,50$	$\pm 0,45$					
Mg %	\bar{x}	0,23	0,22	0,21	0,18	0,18	ca. 0,2	
	s	$\pm 0,04$	$\pm 0,04$					
Ca %	\bar{x}	0,75	0,75	0,50	0,43	0,64		
	s	$\pm 0,11$	$\pm 0,17$					
Na %	\bar{x}	0,017	0,020	0,14	0,11	0,05		
	s	$\pm 0,006$	$\pm 0,006$					

können, werden die Ergebnisse der Weender Analyse und der Mineralstoffbestimmungen besprochen (nach MARAM-BIO 1971).

Das untersuchte Mähweidefutter ist reich an Rohprotein bei knappen Energiegehalten. In der Weidereife reichen die Energiegehalte bei einer Trm.-Aufnahme von 14 kg gerade aus. Die Gehalte an Phosphor, Calcium und Magnesium liegen über den Angaben der DLG-Tabelle, während der Na-Gehalt nur ungefähr ein Drittel davon beträgt. Wir haben es also mit einem K-reichen, aber Na-armen Futter zu tun. Der sehr geringe Gehalt an Na ist wahrscheinlich mit auf das völlige Fehlen von *Lolium perenne* im Pflanzenbestand zurückzuführen. Denn gerade diese Grasart hat nach HASLER (1962) und AIGNER u. SAALBACH (1971) die höchsten Na-Gehalte und das beste Aneignungs-

vermögen für Na aus Düngemitteln. Die P- und Mg-Gehalte lassen nur bei einer Trm.-Aufnahme von 14 kg eine sichere Bedarfsdeckung erwarten.

Die Grenzwerte für die Erreichung des höchsten Pflanzenertrages sind für Mg ausreichend, für K fast doppelt so hoch wie notwendig, während sie für P in einem Teil der Aufwüchse unterschritten werden. Das entspricht dem Ergebnis der Bodenanalyse.

d) Vergleich der Variationskoeffizienten

In Tab. 8 sind die Variationskoeffizienten (s²%) aller Inhaltsstoffe zusammengestellt und ihrer Größe nach geordnet. Der Variationskoeffizient ist ein relatives Maß, da er prozentual auf den Mittelwert bezogen wird. Mit seiner Hilfe ist es möglich, Mittelwerte verschiedener Größenordnung hinsichtlich ihrer Streuung zu vergleichen (RENNER 1970).

Tabelle 8: Variationskoeffizienten (s%) der Inhaltsstoffe des Weidefutters 1969 und 1970

	StE	RF ¹⁾	K	RP ²⁾	P
Weidereife	7,4	10,4	12,5	15,0	14,6
Siloreife	6,8	7,8	12,1	12,7	13,2
		Mg	Ca	Cu	
Weidereife		17,4	17,0	13,5	
Siloreife		18,2	22,6	19,0	
	Zn	Mn	Na	Mo	Co
Weidereife	17,3	27,0	35,2	45,2	30,0
Siloreife	30,6	24,3	30,0	27,6	35,2
	Glucose Fructose	Saccharose	Fructosan	lösl. KH	NO ₃
Weidereife	31,6	56,3	60,5	52,6	70,5
Siloreife	78,8	59,6	63,4	48,2	43,8

¹⁾ Rohfaser
²⁾ Rohprotein

Die Gehalte an StE, Rohfaser, Rohprotein, P und K schwanken in relativ engen Grenzen, obwohl erhebliche Streuungsursachen auf ihre Gehalte eingewirkt haben. Eine weit größere Streubreite haben Zn, Mn, Na, Mo und Co, während Ca, Mg und Cu dazwischen liegen.

Es muß also möglich sein, ein Mähweidefutter mit verhältnismäßig gleichbleibenden Gehalten an den wichtigsten Inhaltsstoffen zu erzeugen, während bei den Spurenelementgehalten mit einer erheblichen Veränderung von Aufwuchs zu Aufwuchs zu rechnen ist.

Im Vergleich zu den Nährstoffen, Mengen- und Spurenelementen streuen die Gehalte an löslichen Kohlenhydraten wesentlich stärker. Sie reagieren wohl am empfindlichsten auf Einflüsse der Witterung und der Bewirtschaftung.

3. Faktorenanalyse der Inhaltsstoffe

1. Faktor

In Tab. 9 ist das Faktorenschema der gemessenen Inhaltsstoffe dargestellt. Bei der Auswertung wird mit der vertikalen Interpretation begonnen. Es wird auf Grund der Faktorladungen versucht, eine biologisch sinnvolle Bezeichnung für jeden Faktor zu finden.

Die höchsten Ladungen im ersten Faktor haben die Gehalte an Nitrat, Fructosan und Rohprotein. Der Nitratgehalt ist nach VAN BURG (1966) ein Indikator für den Grad der Stickstoffernährung einer Grasnarbe.

Es ist bekannt, daß reichliche Stickstoffernährung den Rohproteingehalt erhöht, den Gehalt an löslichen Kohlenhydraten aber senkt (SCHLUBACH 1957, WAITE 1958 und 1970, 't HART 1967, BLASER u. a. 1966, JONES 1965, KLAPP 1971). Dabei wird der Gehalt an Fructosan am stärksten betroffen (WAITE und BOYD 1953, NOWAKOWSKI 1962, McILROY 1967).

Die Verwendung der durch die Photosynthese gebildeten Assimilate im pflanzlichen Stoffwechsel hängt vom Verbrauch für Atmung und Wachstum ab. Bei reichlichem Stickstoffangebot wandern die Assimilate bevorzugt über den Zitronensäurezyklus in die Aminosäuresynthese. Das hängt damit zusammen, daß bei der reduktiven Aminierung niedermolekulare Kohlenstoffketten verbraucht werden. NH₃-Stickstoff wird mittels Aminasen an Ketosäuren gebunden, wobei Aminosäuren, Amine und Amide entstehen (MENDEL 1968, HEHL 1971). Bei geringem Angebot an Stickstoff wandern die Assimilate je

Tabelle 9: Faktorenschema der Inhaltsstoffe des Weidefutters 1969 und 1970: Anzahl der gefundenen Faktoren (F_1 — F_9) und deren Beitrag zur Varianzerklärung (% einzeln, % kumulativ). Faktorladungen (F_1 — F_9 -Spalten) und durch die gemeinsamen Faktoren erklärte Varianz (h^2) für jede Variable

Variablen	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	h^2
1. Rohprotein	+59	—	— 6	+23	—	—	— 6	—	—	99
2. Rohfaser	— 6	+14	+31	—	—	—	+33	—	—	93
3. Asche	+10	—	—	+69	+ 6	—	—	—	+ 6	97
4. NO_3	+76	—	—	—	—	—	—	—	—	88
5. P	—	—	—	+85	—	—	—	—	—	93
6. K	+18	—	—	+66	+ 5	—	—	—	—	96
7. Ca	—	+27	—	—	+51	—	—	—	+ 5	96
8. Na	—	—	—	—	+70	—	—	—	—	80
9. Mg	+10	+75	—	—	+ 7	—	—	—	—	95
10. Cu	—	+ 7	—	—	—	+ 7	—58	—	—	79
11. Zn	—	+44	—	—	—	+ 5	—	+24	—	83
12. Mn	—	+27	—12	—	—	+14	—	+14	—	72
13. Mo	—	—	—	— 5	—	+62	—	—	—	74
14. Co	—	+ 8	— 5	—	—	+36	—	—	—	52
15. Monosaccharide	—	—	+62	—	—	—	—	—	—	74
16. Saccharose	—	—67	—	—	—	—	—	—	—	75
17. Fructosan	—72	—	—	—	—	—	—	—	—	81
Varianz-%, kumulativ	26	45	58	68	74	78	81	82	83	
Varianz-%, einzeln	26	19	13	10	6	4	3	1	1	

nach Pflanze überwiegend in die Fett- oder Reservekohlenhydratsynthese (GARZ zit. b. MENGEL 1968). Je höher der Rohproteingehalt der Gräser ist, desto niedriger ist der Gehalt an Fructosan.

Mit dem ersten Faktor korrelieren aber auch die Kalium-, Magnesium- und Aschegehalte. Bei ausreichendem Vorrat an pflanzenverfügbarem K und Mg im Boden steigt der Gehalt im Futter mit der Stickstoffgabe (WHITEHEAD 1970, KLAPP 1971), da das NO_3 -Ion die Kationenaufnahme begünstigt (MENGEL 1968).

Der erste Faktor kann als Stickstoffernährung der Weidenarbe bezeichnet werden.

2. Faktor

Im zweiten Faktor finden sich hohe Ladungen des Mg- und Saccharosegehaltes. Beide Inhaltsstoffe korrelieren negativ miteinander. Daraus ist zu schließen, daß gleiche Ursachen sich in entgegengesetzter Richtung auf die Variabilität ihrer Gehalte auswirken. In die-

sem Faktor sind die Kationen geladen, die von der Pflanze in zweiwertiger Form aufgenommen werden (Mg^{++} , Ca^{++} , Zn^{++} , Cu^{++} , Mn^{++} , Co^{++}), wobei Zn^{++} nach Mg^{++} die höchste Faktorladung aufweist. Alle diese Elemente sind in der Pflanze schwer beweglich und überwiegend in den Blättern lokalisiert (AMBERGER 1967/68, 1969/70, MENGEL 1968, FINCK 1969). Mg, Mn und Cu sind für die Photosynthese notwendig. Das Bedarfsmaximum der Pflanze an Mg, Mn und Cu fällt deshalb mit der Blattbildung zusammen (FINCK 1969). Ca und Mg werden in einem ähnlichen Verhältnis aufgenommen (SCHACHTSCHABEL 1954). Da der Transport in der Pflanze bei diesen Elementen mehr auf- als abwärts gerichtet ist, kommt es bei Ca und Co (MENGEL 1968), Mn (ROMNEY u. TOTH 1954) und Zn (SHAW u. a. 1954) zu einer Anreicherung und z. T. zu einer Festlegung in den älteren Blättern. Die Ladung des Rohfasergehaltes weist darauf hin, daß der Mg-Gehalt mit dem Älterwerden der Pflanze zunimmt (MENGEL 1968). Der

Korrelationsmatrix ist zu entnehmen, daß der Mg-Gehalt ($r = +0,30^x$) und der Zn-Gehalt ($r = +0,32^x$) mit dem Rohfasergehalt korrelieren.

Die Ursache für das gleichsinnige Verhalten der Gehalte an zweiwertigen Kationen wird in der Verteilung dieser Elemente in der Pflanze zu suchen sein. Das gegensinnige Verhalten zum Saccharosegehalt ist möglicherweise auf den Einfluß der Jahreszeit zurückzuführen, doch das wird in den folgenden Faktorenanalysen zu zeigen sein.

3. Faktor

Im dritten Faktor ist angedeutet, daß der Gehalt an Monosacchariden mit dem Rohfasergehalt positiv korreliert. Die Ursache ist in dem mit fortschreitendem Alter zunehmenden Stengelanteil zu suchen. So fanden WAITE u. BOYD (1953) u. GAUSSERES (1965) bei allen Schnitten in Stengeln und Blattscheiden mehr reduzierende Zucker als in den Blattspreiten. Für diese Annahme spricht auch die Abnahme der Rohprotein- und Mangengehalte.

4. Faktor

Im vierten Faktor zeigt sich eine enge positive Verbindung zwischen dem P-, K-, Asche- und Rohproteingehalt. Der Aschegehalt setzt sich zu einem wesentlichen Teil aus P und K zusammen (zusammen über 4% Trm.), er muß also eng mit den Gehalten dieser Elemente korrelieren. P und K wiederum zeichnen sich durch ein ähnliches Verhalten aus, was sich in vielen Weideversuchen des Institutes für Grünlandlehre in Weihenstephan zeigte (BERNGRUBER 1971).

Bei der Grunddüngung wurden in beiden Versuchsjahren die Nährstoffe Phosphor und Kalium jeweils im gleichen Verhältnis verabreicht. Bei der Aufnahme werden sich beide Elemente synergistisch beeinflussen, da Kalium als K^+ und Phosphor als H_2PO_4 auf-

genommen wird (FINCK 1969). Die K- und P-Aufnahme durch die Pflanze erfolgt etwa zum gleichen Zeitpunkt und eilt der Produktion organischer Substanz voraus. Im vegetativen Zustand ist gerade die junge Pflanze reich an P und K, bezogen auf die Trockensubstanz (MENGEL 1969, FINCK 1969). Daraus erklärt sich der positive Zusammenhang zum Rohproteingehalt. Auch KIRCHGESSNER (1957) u. BERNGRUBER (1971) berichten von einer positiven Korrelation zwischen P- und Eiweißgehalt. P und K sind in der Pflanze gut beweglich und können akro- und basipetal befördert werden (MENGEL 1968). Eine Rücklieferung an das Außenmedium ist möglich (LINSER u. a. 1971). Durch die Faktorenanalyse können die schwer- und leichtbeweglichen Elemente in zwei Gruppen ähnlichen Verhaltens getrennt werden. Der vierte Faktor läßt sich damit eindeutig als PK-Faktor definieren.

5. Faktor

Im fünften Faktor erscheint als wichtigste Größe der Natriumgehalt. Er korreliert dabei eng mit dem Ca-Gehalt. Ein Antagonismus zwischen K und Na, aber auch K und Mg ist nicht gegeben. Wir haben es hier mit einem K-reichen, aber Na-armen Weidefutter zu tun. Der Na-Gehalt ist wohl schon zu gering, um noch von der K-Aufnahme beeinflusst zu werden. Der allgemein bekannte Antagonismus (SCHACHTSCHABEL 1954) zwischen den genannten Elementen kommt wohl deshalb nicht zum Ausdruck, weil die K-Düngung nicht variiert wurde. Bei einem K-Steigerungsversuch auf dem gleichen Standort sind höhere K-Gehalte der Pflanzensubstanz eindeutig mit geringeren Mg-Gehalten verbunden (noch unveröffentlicht).

6. Faktor

In diesem Faktor hat der Mo-Gehalt die höchste Ladung. Es bestehen positive Zusammenhänge mit den anderen Spu-

renelementen, besonders mit dem Kobaltgehalt. Ein positiver Zusammenhang zwischen der Co- und Mo-Konzentration konnte auch von PAHL u. a. (1970) im Weidegras, von VOIGTLÄNDER u. a. (1972) in der Luzerne und von LANG u. a. (1972) im Wiesenschwingel gefunden werden.

SCHARRER u. TAUBEL (1954) nehmen keine direkte Ionenbeziehung zwischen den beiden Elementen an.

Nach BARSHAD (1951) u. FLEMING (1965) ist auch das Molybdän überwiegend in den Blättern der Weidepflanzen lokalisiert, damit erklären sich die positiven Zusammenhänge mit dem Cu-, Zn-, Mn- und z. T. auch mit dem Co-Gehalt. Die hohe Ladung des Mo-Gehaltes in diesem Faktor weist aber doch auf eine gewisse Sonderstellung dieses Elementes hin. Das Molybdän wird im Gegensatz zu den anderen Spurenelementen mehr im alkalischen Bereich und unter oxydierenden Verhältnissen im Boden pflanzenverfügbar (FINCK 1969). Der sechste Faktor wird deshalb als Molybdänfaktor bezeichnet.

7. Faktor

Der siebte Faktor zeigt einen engen negativen Zusammenhang zwischen dem Kupfergehalt und dem Rohfasergehalt. Als Ursache ist das Pflanzenalter anzunehmen. Es ist bekannt, daß mit fortschreitendem Alter der Futterpflanzen der Rohfasergehalt zunimmt und der Proteingehalt abnimmt (FARRIES 1966, KLAPP 1971). Von abnehmenden Kupfergehalten mit fortschreitender Entwicklung des Weidegrases und einzelner Gräser berichten auch KIRCHGESSNER (1957a und b), KIRCHGESSNER u. a. (1960 u. 1971), ANKE (1961), KNABE (1967), FLEMING (1968), FLEMING u. MURPHY (1968). Die wichtigste Einflußgröße für den Kupfergehalt ist in unserem Versuch das Pflanzenalter und damit das Reifestadium.

8. Faktor

Im achten Faktor zeigt sich nochmals eine enge Beziehung zwischen dem Zn- und dem Mn-Gehalt, wie sie bereits im 1. Faktor zu erkennen war. Über eine positive Korrelation zwischen Zn und Mn berichten auch SCHILLER u. a. (1966) im Futter von Goldhafer- und Glatthaferwiesen, ANKE (1967) im Rotklee, VOIGTLÄNDER u. a. (1972) in der Luzerne und LANG u. a. (1972) im Wiesenschwingel. Ein wesentlicher Grund dafür dürfte in den ähnlichen Bedingungen der Verfügbarkeit beider Elemente zu suchen sein (ANKE 1967).

4. Faktorenanalyse für alle Variablen (siehe Tab. 10)

1. Faktor

Die bereits aus der 1. Faktorenanalyse bekannte Beziehung zwischen den Gehalten an Ca, Mg, Zn, Mn und Saccharose ist wieder zu erkennen. Es zeigt sich, daß mit höheren Temperaturen kurz vor der Ernte und mit fortschreitender Jahreszeit die zweiwertigen Kationen zu-, die Zucker dagegen abnehmen.

Für die Stoffgruppe der löslichen Kohlenhydrate ist das verständlich. Es ist bekannt, daß gerade die Temperatur die Nettoassimilation wesentlich beeinflusst, da die Veratmung bis 50° C ständig zunimmt (MENGEL 1968). In zahlreichen Gefäßversuchen konnte nachgewiesen werden, daß höhere Tages- und Nachttemperaturen die Respiration der Futterpflanzen erhöhen und damit einen niedrigeren Zuckergehalt verursachen (ALBERDA 1957 und 1965, SMITH 1969, NELSON u. SMITH 1969, McKELL u. a. 1969, WATSCHKE u. a. 1970). Daß der Zuckergehalt in Abhängigkeit von der Jahreszeit schwankt, geht aus Untersuchungen von WAITE u. BOYD (1953), ZIMMER (1962), WIERINGA (1962) und OHRING (1967 und 1968) hervor. Nach WAITE u. BOYD brin-

Tabelle 10: Faktorenschema der Inhaltsstoffe des Weidefutters 1969 und 1970 unter Einbeziehung der Angaben über Düngung, Erntezeitpunkt und Witterung: Anzahl der gefundenen Faktoren (F_1 — F_{14}) und deren Beitrag zur Varianzerklärung (% einzeln, % kumulativ). Faktorladungen (F_1 — F_{14} -Spalten) und durch die gemeinsamen Faktoren erklärte Varianz (h^2) für jede Variable

	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	h^2
1. Jahreszeit	+ 9	—	—	+64	+ 4	—	—	+ 6	—	+ 5	—	—	—	—	99
2. Reife	—	—	+86	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100
3. N-Düngung	—	+86	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	95
4. Trm.-Ertrag	—	+10	+70	—	—	—	+ 5	—	—	—	—	+ 4	—	—	99
5. Wuchshöhe	— 6	+22	+46	—	—	—	—	—	+ 4	—	—	—	— 4	—	99
6. Wuchstage	—	—	+83	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100
7. Rohprotein	—	+59	—11	—19	—	—	—	—	—	—	—	— 4	—	—	99
8. Rohfaser	+ 6	—	+38	—	—	—	+13	+20	—	—	—	+14	—	—	98
9. NO_3	—	+94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	97
10. P	—	—	—	—87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99
11. K	—	—18	—	—67	— 4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	98
12. Ca	+76	—	—	—	—	—	— 4	+ 6	—	—	—	—	—	—	98
13. Mg	+47	+15	—	—	—	+12	—	+11	— 6	—	—	—	—	—	98
14. Cu	—	—	—73	—	+ 4	—	—	—	—	—	+ 4	—	—	—	90
15. Zn	+33	—	—	—	+42	—	—	+ 4	—	—	—	—	—	—	91
16. Mn	+ 6	—	— 5	+ 8	+49	—	— 4	—	—	—	+ 9	—	—	—	84
17. Mo	—	—	—	+ 6	+ 9	—46	—	—	—	—	+23	—	—	—	97
18. Co	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+62	—	—	—	76
19. Globalstr. 10 ¹⁾	—	—	—	—	—	— 7	—	—	+84	—	—	—	—	—	97
20. Niederschl. ϕ ²⁾	+19	—	—	—	—	+ 6	—	+59	—	—	+ 7	—	—	—	100
21. Niederschl. 10 ³⁾	—	—	—	—	+ 4	+82	—	—	+ 5	—	—	—	—	—	100
22. Monosaccharide	— 5	—	—	— 5	—	—	+80	—	—	—	—	—	—	—	99
23. Saccharose	—48	—	—	—11	—	— 4	—	—	+ 6	—23	—	—	—	—	97
24. Fructosan	—	—57	+ 5	—	—	—	— 5	—	—	—	—	—	+28	—	94
25. Temp. Summe ⁴⁾	+43	—	—22	+18	—	—	— 5	+ 4	—	—	—	—	—	+18	100
26. Minimum-Temp. ⁵⁾	+75	—	—11	—	+ 4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99
27. Minimum-Pent. ⁶⁾	+26	—	— 7	—	—	—	—	+51	+ 8	—	—	—	—	—	100
Varianz-%, kumulativ	28	45	60	70	77	82	86	89	91	93	94	95	95,4	95,8	
Varianz-%, einzeln	28	17	15	10	7	5	4	3	2	1	1	1	0,4	0,4	

¹⁾ Globalstrahlungssumme zehn Tage vor der Ernte.

²⁾ Täglicher Durchschnitt des Niederschlages.

³⁾ Niederschlagssumme zehn Tage vor der Ernte.

⁴⁾ Temperatursumme zwei Tage vor der Ernte.

⁵⁾ Minimumtemperatur der Nacht vor der Ernte.

⁶⁾ Minimumtemperaturdurchschnitt fünf Tage vor der Ernte.

gen Mai und Juni die höchsten Zuckergehalte; im Sommer und Herbst kommt es zu einer starken Minderung. ZIMMER fand die höchsten Zuckergehalte im April und Mai, niedrigere im Juni und Juli, die niedrigsten im August. WIERINGA stellte dagegen fest, daß der Zuckergehalt im Herbst wieder anstieg, dem Frühjahrsniveau aber nicht gleichkam. Aus der engen Beziehung zwischen Temperatur und Jahreszeit ist aber anzunehmen, daß die jahreszeitlichen Veränderungen der Zuckergehalte zumindest zu einem großen Teil durch die jahreszeitliche Veränderung der Temperatur erklärt werden. So wird auch verständlich, warum WIERINGA im Herbst wieder ansteigende Zuckergehalte fand (VOIGTLÄNDER 1971). Von den Einzelkomponenten der löslichen Kohlenhydrate hat der Saccharosegehalt die engste Beziehung zu Temperatur und Jahreszeit, während das Reservepolysaccharid Fructosan durch diese Größen nicht beeinflußt wird. Nach ARCHIBALD (1961), VAN DER SCHAAF (1967) und WITT (1967, 1970) beeinflussen gerade die kurzfristigen Temperaturänderungen den Zuckergehalt. Hier zeigt sich als wichtigste Größe die Minimumtemperatur der Nacht vor der Ernte. Die Saccharose ist die Zuckertransportform in der Pflanze (KURSANOV 1958). Ihr Gehalt ist gewöhnlich am Nachmittag am höchsten (WAITE u. BOYD 1953, PODKOWA 1969, SCHOCH u. ROULET 1962, EAGLES 1967, WITT 1967). Der Abtransport zu den Speicherorten und der Umbau zu höheren Polysacchariden und zu Eiweiß erfolgt erst nachts (ZIMMER 1966). Hohe Nachttemperaturen begünstigen die Synthesevorgänge, das Wachstum der Blätter und die Veratmung (ALBERDA 1957, EAGLES 1967, MENGEL 1968). Die Temperatur in der Nacht vor der Ernte muß also für den Saccharosegehalt entscheidend sein, wenn in den Morgenstunden geerntet wird.

Die Ca- und Mg-Konzentration nahm von der Mai- zur Augustnutzung zu.

Diese Zunahme wird durch zahlreiche Untersuchungen in Weihenstephan bestätigt (BERNGRUBER 1971, MÜLLER u. a. 1971), aber auch von zahlreichen anderen Autoren (WALKER u. a. 1953, HEMINGWAY 1961, FLEMING 1968, McNAUGHT u. a. 1968, BACHMANN 1968).

Weniger eindeutig sind die Angaben über den Zinkgehalt. FLEMING (1968) fand ansteigende Zn-Gehalte bis zum September, PAHL u. a. (1970), KIRCHGESSNER u. a. (1971) und WHITEHEAD (1970) konnten keine eindeutigen Beziehungen zur Jahreszeit finden.

McNAUGHT u. DOROFÄEFF (1968) sehen die Ursache der höheren Ca- und Mg-Gehalte im Sommer in der höheren Temperatur. FLEMING (1968) und BACHMANN (1968) fanden nach kurzfristigen Kälteeinbrüchen niedrigere Mg-Gehalte im Futter von Einzelgräsern.

Die Ca- und Mg-Gehalte von italienischem Weidelgras erhöhten sich im Bereich von 11—28° C mit steigender Temperatur der Nährlösung (NIELSEN u. CUNNINGHAM 1964). Bei anderen Kulturpflanzen (u. a. Hafer) beobachteten ZHURBINSKI u. SHTRAUSBERG (1968) mit zunehmender Lufttemperatur ein Ansteigen der Ca-Konzentration in den Sproßteilen. Eine Zunahme des Zn-Gehaltes mit der Bodentemperatur fanden WALLACE u. a. (1969) in *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris* und *Glycine max*. McMILLAN u. HAMILTON (1971) vertreten die Ansicht, daß für den Cu-, Mn-, Zn- und Mg-Gehalt von Karottenblättern die Bodentemperatur entscheidender ist als die Düngung mit den genannten Elementen. Temperaturabhängig scheint aber nicht die Aufnahme durch die Wurzel zu sein, sondern die Translokation innerhalb der Pflanze (ZHURBINSKI u. SHTRAUSBERG 1958, RESNIK u. a. 1969, EPSTEIN 1971).

Dem ersten Faktor ist zu entnehmen, daß für den Zusammenhang der Lufttemperatur mit den Saccharose-, Ca-, Mg- und Zn-Gehalten im Futter unseres Versuches die kurzfristigen Tempe-

raturveränderungen vor der Ernte einen geeigneten Parameter darstellen. Unter diesem Gesichtspunkt wird es für notwendig erachtet, auch die Ca- und Mg-Gehalte regressionsanalytisch auszuwerten.

2. Faktor

Dieser Faktor läßt sich wieder eindeutig als Stickstoffernährung definieren, die Gruppierung der Inhaltsstoffe hat sich gegenüber der 1. Faktorenanalyse nicht verändert. Die eigentliche Ursache liegt in der Höhe der Stickstoffgaben. Auf Böden mit hohem pH und guter Nitrifikation spielt die Form der Stickstoffdüngung eine geringe Rolle (SCHACHTSCHABEL 1954). Die N-Zufuhr als Kalkammonsalpeter konnte daher die Nitrat-, Kalium- und Magnesiumgehalte im Futter erhöhen. Hohe N-Gaben sind aber auch verbunden mit zunehmender Wuchshöhe und einer entsprechenden Ertragssteigerung. Zahl und Gewicht der Bestockungstriebe sowie die Blattgröße werden durch eine N-Zufuhr außerordentlich vergrößert (KLAPP 1971).

In unserem Modell lassen sich also Wirkungspfade von der N-Düngung und dem Nitratgehalt zum Protein- (+), K- (+), Mg- (+) sowie zum Fructosangehalt (—) ziehen.

3. Faktor

Der dritte Faktor zeigt mit einem Blick bekannte Erfahrungen, wie sie von KLAPP (1971) und 't HART (1967) allgemein für Grünfutter und von FARRIES (1966) speziell für Weidefutter von Weidelgras-Weißklee weiden beschrieben werden. Mit fortschreitendem Alter des Weideaufwuchses nehmen der Trockenmasseertrag und der Rohfasergehalt zu, während der Proteingehalt abnimmt.

Die relativ hohe negative Ladung des Kupfergehaltes in diesem Faktor läßt den Schluß zu, daß nicht nur das sich mit zunehmendem Alter verändernde

Blatt-Stengel-Verhältnis, sondern auch die Höhe des Trm.-Ertrages einen Einfluß hat. KNABE u. a. (1964 u. 1967) und GUPTA u. a. (1971) beobachteten im Weidengras und in Einzelgräsern die geringste Cu-Konzentration jeweils beim höchsten Trm.-Ertrag. FLEMING und MURPHY (1968) sehen die Ursache für die Abnahme der Konzentration im Verdünnungseffekt. Die Produktion an organischer Substanz überholt die Cu-Aufnahme, und es kommt zu einem Rückgang der Konzentration, obwohl die aufgenommene Menge immer größer wird.

Dieser Faktor kann eindeutig als der Einfluß des Reifestadiums bezeichnet werden. Die Wachstumszeit ist die entscheidende Einflußgröße für den Trm.-Ertrag pro Aufwuchs.

4. Faktor

Hier kommt wieder das gleichsinnige Verhalten der P- und K-Gehalte und die positive Beziehung zum Rohproteingehalt zum Ausdruck. P- und K-Gehalte nehmen mit fortschreitender Jahreszeit ab. Die jahreszeitliche Abnahme konnte auch von FLEMING (1968), McNAUGHT und DOROFÄEFF (1968), SAUNDERS u. METSON (1971) und KIRCHGESSNER u. a. (1971) beobachtet werden. Allerdings gibt es auch andere Befunde; so konnten STEWART u. HOLMES (1953) und REITH u. a. (1964) für P keine saisonalen Beziehungen finden.

Für Mn und Mo ist eine jahreszeitliche Zunahme angedeutet. Von einer Zunahme des Mangangehaltes mit fortschreitender Jahreszeit berichten KNABE (1967) und McNAUGHT u. DOROFÄEFF (1968) im weidereifen und HEMINGWAY (1962) im siloreifen Weidefutter. HASLER u. PULVER (1957) sowie DHEIN u. AHRENS (1962) fanden im 2. und 3. Wiesen-schnitt höhere Mangangehalte, während SCHECHTNER (1967) eine jahreszeitliche Abhängigkeit nur unter Wiesen-nutzung, nicht aber unter Weidenutzung bestätigen konnte. PAHL u. a. (1970) und

KIRCHGESSNER u. a. (1971) konnten keinen eindeutigen Zusammenhang finden. Von einer jahreszeitlichen Zunahme des Mo-Gehaltes berichten GUPTA (1971) und DHEIN u. AHRENS (1962), während KIRCHGESSNER u. a. (1971) keinen Zusammenhang mit der Jahreszeit beobachteten. Eine Trennung der jahreszeitlichen Wirkung vom Einfluß des physiologischen Alters der Pflanzen an den verschiedenen Erntetagen dürfte schwierig sein (BEESON u. a. 1951), besonders bei den Gehalten an P und K, die während der Vegetationszeit wesentlich geringer streuen als die Gehalte an Ca und Mg (vgl. Tab. 8). Dem vierten Faktor ist zu entnehmen, daß sich die Gehalte an P, K, Mo und Mn mit der Jahreszeit verändert haben. Die Schwankungen wurden dabei offensichtlich weit weniger von kurzfristigen Temperaturveränderungen beeinflusst als die von Ca, Mg, Zn und Saccharose.

5. Faktor

Der fünfte Faktor zeigt wieder das gleichsinnige Verhalten der Zn- und Mn-Gehalte. Ein günstiger Einfluß der Niederschlagssumme 10 Tage vor der Ernte und der Minimumtemperatur ist angedeutet.

6. Faktor

Dieser Faktor bringt eine Information über den Einfluß der Niederschlagssumme 10 Tage vor der Ernte. Dabei wird der Mg-Gehalt positiv, der Mo-Gehalt jedoch deutlich negativ beeinflusst. Das Molybdän wird als Mo O_4^{--} aufgenommen, für seine Verfügbarkeit sind die Mobilitätsverhältnisse im Boden entscheidend. Das Molybdän wird mehr im neutralen und alkalischen Bereich und unter oxydierenden Verhältnissen mobilisiert (FINCK 1969). Hohe Niederschläge bedingen vorübergehend anaerobe Verhältnisse im Boden (SCHEFFER—SCHACHTSCHABEL 1970). Daraus wird verständlich, warum gerade die Nieder-

schläge kurz vor der Ernte für die Mo-Gehalte von Bedeutung sind. Ein ähnlicher Zusammenhang konnte für die Mo-Gehalte von Luzerne und Wiesen-schwengel gefunden werden (VOIGTLÄNDER u. a. 1972, LANG u. a. 1972). Nun berichten aber FLEMING (1968) und JENSEN u. a. (1971) von steigenden Gehalten mit zunehmender Nässe des Bodens. Im Gegensatz zu den anderen Spurenelementen kann Mo in großen Mengen von der Pflanze aufgenommen werden, ohne toxisch zu wirken (MENGEL 1968). JENSEN u. a. (1971) berichten von Gehalten von 100 bis 1500 ppm. Ein Überschuß entsteht immer dann, wenn der Anteil des wasserlöslichen Mo am Gesamt-Mo des Bodens sehr groß ist (FINCK 1969). Der wasserlösliche Anteil kann bis zu 50% des Gesamt-Mo betragen (MENGEL 1968, SCHEFFER—SCHACHTSCHABEL 1970). Bei JENSEN u. a. (1971) war nicht nur der Anteil des wasserlöslichen Mo sehr hoch, sondern Mo wurde zudem noch gedüngt.

Es ist verständlich, daß unter solchen Voraussetzungen die Wasserversorgung des Bodens fördernd auf die Pflanzengehalte wirken kann. Auf unserem Boden dagegen, auf dem das Futter um 1 ppm Mo enthält, geben die Mobilitätsverhältnisse den Ausschlag (FINCK 1969).

7. Faktor

Dieser Faktor entspricht dem 3. Faktor der ersten Faktorenanalyse. Hier ist angedeutet, daß hohe Monosaccharidgehalte mit niedrigen Fructosangehalten verbunden sind.

8. Faktor

Die Gruppierung der Variablen dieses Faktors bringt mehr Klarheit darüber, warum gerade die Rohfaser-, Ca-, Mg- und Zn-Gehalte positiv korrelieren. Die Ursache ist neben dem physiologischen Alter in der Höhe der Niederschläge und den Temperaturen in den Nächten vor der Ernte zu suchen. DEINUM (1966)

beobachtete an *Lolium perenne* ein Ansteigen des Rohfasergehaltes mit steigender Temperatur und Wasserversorgung. Die Ursache wird in der vermehrten Bildung ballastreicher Gefäßbündel bei höherer Transpiration gesehen. EPSTEIN (1971), der ein Ansteigen des Ca- und Mg-Gehaltes mit der Bodentemperatur in Kartoffelblättern fand, beobachtete gleichzeitig eine Vergrößerung des Gefäßbündelsystems.

Der achte Faktor kennzeichnet also den Einfluß der Wasserversorgung und der Nachttemperaturen kurz vor der Ernte; im Modell lassen sich die entsprechenden Wirkungspfade einzeichnen.

9. Faktor

Die Globalstrahlungssumme 10 Tage vor der Ernte bringt wenig Information über die Veränderungen der Inhaltsstoffe. Immerhin ist ein positiver Einfluß auf die Saccharosegehalte angedeutet. Das ist verständlich, denn die Sonneneinstrahlung ist die Energiequelle für die Assimilation. Der Zusammenhang ist jedoch nicht besonders eng; das wird an der nachhaltigen Beeinflussung der Assimilation und Dissimilation durch die Temperatur liegen (MENGEL 1968).

10. Faktor

Die Saccharosegehalte nahmen in unserem Versuch mit der Jahreszeit ab. Als Ursache ergab sich im 1. Faktor die durch höhere Temperaturen gesteigerte Veratmung. Doch läßt sich damit nur ein Teil der Varianz der Saccharosegehalte erklären. Die Jahreszeit steht hier möglicherweise als Ausdruck für Gründe, die mehr oder weniger im endogenen Wachstumsrhythmus der Graspflanze liegen. So stiegen nach Untersuchungen von WIERINGA (1960) zwar die Zuckergehalte im Herbst wieder an, sie kamen aber dem Frühjahrsniveau nicht mehr gleich. Eine Ursache könnte die mit der Jahreszeit abnehmende Nei-

gung zu generativer Entwicklung sein (WAITE u. BOYD 1953).

11. Faktor

Dieser Faktor kann als Kobaltfaktor aufgefaßt werden. Auf die positive Beziehung Co—Mo wurde bereits hingewiesen. FLEMING (1965), MITCHEL u. a. (1957) und SCHEFFER—SCHACHTSCHABEL (1970) berichten von höheren Kobaltgehalten unter feuchten Bedingungen im Boden. Der tägliche Durchschnitt des Niederschlages korreliert auch hier positiv mit dem Co-Gehalt, doch ist der Zusammenhang nicht sehr eng; es ergibt sich somit kein Widerspruch zum gleichsinnigen Verhalten der Gehalte an Mo und Co.

Die übrigen Faktoren bringen keine Informationen mehr über wichtige Zusammenhänge. Das Faktorenschema kann nun noch horizontal ausgewertet werden. Diese zweite Interpretationsmöglichkeit wird in Verbindung mit der Besprechung der einzelnen Fraktionen der löslichen KH und der Spurenelemente genutzt.

5. Kohlenhydrate

a) Faktorenanalyse

Die Faktorenanalyse über alle Inhaltsstoffe sollte einen ersten Überblick über das Datenmaterial ermöglichen. Es konnten damit bereits wichtige Informationen über die Veränderungen der Gehalte an löslichen Kohlenhydraten im Weidegras gefunden werden. Es lohnt sich aber noch, einen Blick auf ein Faktorschema zu werfen, bei dem die Kohlenhydrate allein verrechnet wurden (siehe Tab. 11).

Zunächst sind bereits bekannte Faktoren zu erkennen; die Faktoren Jahreszeit und Temperatureinfluß (1. Faktor), Reifestadium (2. Faktor), Stickstoffernährung (3. Faktor), Monosaccharide (4. Faktor) und der Einfluß der Global-

Tabelle 11: Faktorenschema der löslichen Kohlenhydrate im Weidefutter 1969 und 1970: Anzahl der gefundenen Faktoren (F_1 — F_6) und deren Beitrag zur Varianzerklärung (% einzeln, % kumulativ). Faktorladungen (F_1 — F_6 -Spalten) und durch die gemeinsamen Faktoren erklärte Varianz (h^2) für jede Variable

Variablen	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	h^2
1. Jahreszeit	+62	—	—	+6	—	+7	77
2. Reifestadium	—	+94	—	—	—	—	95
3. N-Düngung	—	—	+67	+6	—	—	75
4. Wuchshöhe	—8	+26	+36	—4	—6	—	81
5. Wuchstage	—	+80	—	—6	+6	—	95
6. Globalstr. 10	—7	—	—	—	—31	—	40
7. Monosaccharide	—9	—	—	—55	—	—	66
8. Saccharose	—76	—	—	—	—10	—	89
9. Fructosan	—	+5	—67	—4	—	—	78
10. Temp. Summe 2	+65	—14	—	+6	—	—	90
11. Minimum-Temp.	+51	—10	—	—	+6	—19	88
Varianz-%, kumulativ	36	54	69	74	77	79	
Varianz-%, einzeln	36	18	15	5	3	2	

strahlung 10 Tage vor der Ernte (5. Faktor).

Interessant ist der zweite Faktor, der sich als Einfluß des Reifestadiums definieren läßt. Eine Beziehung zu den Mono- und Disacchariden läßt sich nicht erkennen. Lediglich das Fructosan steht in einem positiven Zusammenhang mit dem Reifestadium. HOMB (zit. bei SCHOCH u. ROULET 1962) sowie LAMPETER u. RÖTSCHKE (1970) untersuchten den Zuckergehalt bzw. den Gehalt an löslichen Kohlenhydraten in Gräsern, Klee und Weidegras in Abhängigkeit vom Vegetationsstadium. Ein gesicherter Einfluß des Alters der Pflanzen auf den Gehalt an löslichen Kohlenhydraten konnte nicht gefunden werden.

WITT (1970) fand in *Festuca pratensis* in der Tendenz eine Zunahme der Zuckergehalte, in *Poa pratensis* eine Abnahme mit fortschreitendem Alter. Jedoch können seiner Meinung nach Witterungseinflüsse einen größeren Einfluß haben als das Entwicklungsstadium der Pflanzen. In einer früheren Arbeit kam WITT (1967) zu dem Ergebnis, daß selbst tägliche Schwankungen des Gehaltes an löslichen Kohlenhydraten die eigentliche Versuchsfrage überdecken können. Auch DEINUM (1969) fand bis zu 6% Änderung des Zuckergehaltes nach einem Tag.

Zu erwarten wäre eigentlich ein Anstieg des Zuckergehaltes von der Weide zur Siloreife, da „siloreif“ eine optimale chemische Zusammensetzung im Hinblick auf die Silierung bedeutet (VOIGTLÄNDER 1969). Doch zeigen die Ergebnisse, daß das nicht unbedingt so sein muß. Das Reifestadium hat zumindest auf die Mono- und Disaccharide wenig Einfluß; der Altersunterschied von etwa 10 Tagen kann durch kurzfristig wirksame Temperaturänderungen überdeckt werden.

Der Fructosangehalt jedoch, der von kurzfristigen Temperaturschwankungen kaum beeinflusst wird, nimmt von der Weide zur Siloreife zu. Nach WAITE u. BOYD (1953) erreicht der Fructosangehalt einen ersten Höhepunkt in den oberirdischen Pflanzenteilen bei der Umstimmung des Vegetationspunktes von vegetativer zu generativer Entwicklung. In unserem Versuch wurde das weide- und siloreife Futter überwiegend noch vor dem Einsetzen der generativen Phase bei der Masse der Hauptbestandsbildner geerntet. Der Altersunterschied von etwa 10 Tagen konnte sich also zumindest in einem Teil des Futters in einer Zunahme des Fructosangehaltes auswirken.

Es fällt auf, daß für den Gehalt an löslichen Kohlenhydraten von der Witte-

rung die kurzfristigen Temperaturschwankungen die wichtigsten Einflußgrößen sind, während für die Strahlung nur ein Zusammenhang zwischen der Globalstrahlungssumme 10 Tage vor der Ernte und dem Saccharosegehalt angedeutet ist.

In der Literatur wird überwiegend von einem positiven Einfluß steigender Strahlungsmengen auf den Kohlenhydratgehalt berichtet ('t HART 1967, DEINUM 1966 u. 1969, McILROY 1967, ALBERDA 1965, BLASER u. a. 1966, WEINMANN 1961). Die Sonnenstrahlung ist zwar die Energiequelle für die CO₂-Assimilation, doch werden Assimilation und Dissimilation nachhaltig von der Temperatur beeinflusst (MENDEL 1968). Im Gewächshaus kann der Einfluß eines Witterungselementes unter Konstanthaltung der anderen erfaßt werden, im Freiland dagegen wirken sie alle zusammen (MAYR 1969).

Strahlung und Temperatur korrelieren in unserem Versuch positiv miteinander.

Die Änderung der Boden- und Lufttemperatur ist zum Teil eine Folge des tages- und jahreszeitlichen Wechsels der Zu- und Abstrahlung (VAN EIMERN 1960). ALBERDA (1957) weist darauf hin, daß die Temperatur auf den Kohlenhydratgehalt den größeren Einfluß hat, wenn Strahlung und Temperatur gleichzeitig abnehmen. Diese Aussage läßt sich wohl erweitern: wenn Strahlung und Temperatur sich gleichsinnig verändern, dann wird die Temperatur zur ausschlaggebenden Einflußgröße, die Nettoassimilation hängt dann weitgehend von der Veratmung ab (ARCHIBALD 1961, VOIGTLÄNDER 1971). VAN DER SCHAAF (1967), DEINUM (1966) und 't HART (1967) konnten im Freiland die entgegengesetzte Wirkung der Temperatur und der Strahlung nachweisen. Es traten dabei zwischen beiden Witterungselementen keine (VAN DER SCHAAF) oder negative (DEINUM, 't HART) Korrelationen auf.

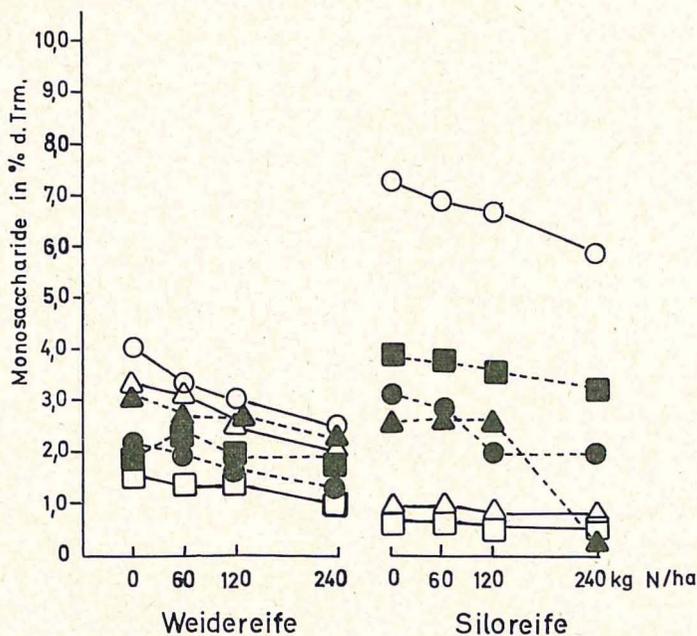


Abb. 2: Die Monosaccharide im Weidefutter 1969 und 1970 in Abhängigkeit von der N-Düngung, dem Reifestadium und der Jahreszeit

(Mai: ○ 1969, ● 1970; Juli: △ 1969, ▲ 1970; August: □ 1969, ■ 1970)

Die Globalstrahlung 10 Tage vor der Ernte änderte sich nicht parallel zu den Temperatur- und Strahlungsdaten, folglich treten keine Interkorrelationen auf. Der positive Einfluß auf den Saccharosegehalt läßt sich statistisch zeigen.

b) Die einzelnen Fraktionen

aa) Monosaccharide

Die Faktorenanalyse ergab, daß die Monosaccharidgehalte (siehe Abb. 2) sich ziemlich unabhängig von anderen Variablen verändern. Das ist verständlich, denn Glucose und Fructose entstehen als Zwischenprodukte bei der Photosynthese, aber auch beim Abbau höherer Kohlenhydrate. Immerhin läßt sich ein Teil ihrer Varianz erklären (siehe Abb. 3). Hohe Temperaturen vor der Ernte und die Stickstoffdüngung begünstigen den Verbrauch an löslichen Kohlenhydraten und damit auch an Monosacchariden. Der positive Zusammenhang mit dem Rohfasergehalt und der negative mit der Jahreszeit deuten

auf einen höheren Gehalt an reduzierenden Zuckern in den Stengeln hin, wie es GAUSSERES (1965) und KÜHBAUCH (1973) beschreiben.

Für eine Schätzung der Monosaccharidgehalte reicht das Ergebnis der Regressionsanalyse nicht aus, der Standardfehler ist relativ groß, doch die Bedeutung einiger Einflußgrößen läßt sich damit erkennen.

bb) Saccharose

Mit der Faktorenanalyse konnte gezeigt werden, daß die Temperaturen kurz vor der Ernte und die Jahreszeit die wichtigsten Einflußgrößen für die Saccharosegehalte (siehe Abb. 4) sind.

Die Minimumtemperatur der Nacht vor der Ernte erklärt die Varianz der Saccharosegehalte bereits zu 59%, weitere 15% trägt die Jahreszeit bei (siehe Abb. 5). Als dritte wichtige Einflußgröße erscheint die Stickstoffaufnahme (= N-Gehalt in % \times Trm.-Ertrag); die Stickstoffdüngung erweist sich dagegen als

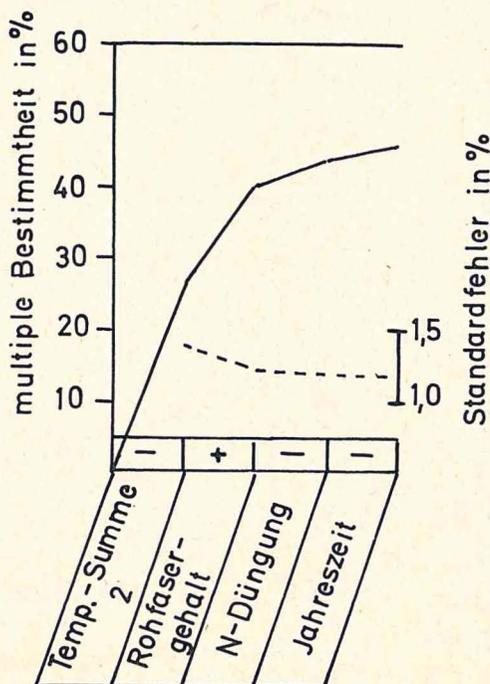


Abb. 3: Vorzeichen und Beitrag zur multiplen Bestimmtheit der Variablen, die zur Erklärung der Varianz der Monosaccharide im Weidefutter 1969 und 1970 dienen. Höhe und Veränderung des Standardfehlers der Schätzung

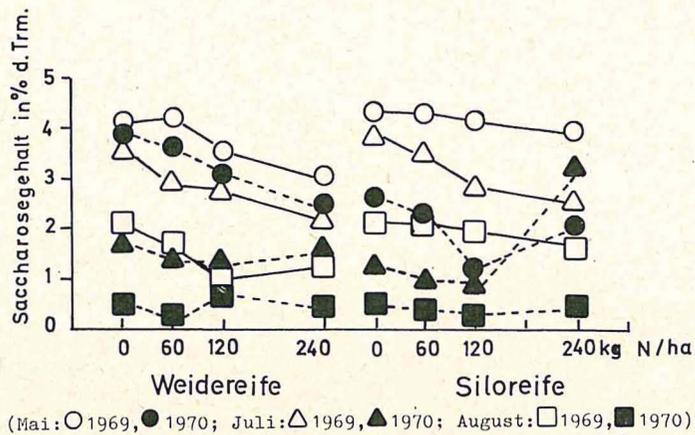


Abb. 4: Die Saccharosegehalte des Weidefutters 1969 und 1970 in Abhängigkeit von der N-Düngung, dem Reifestadium und der Jahreszeit

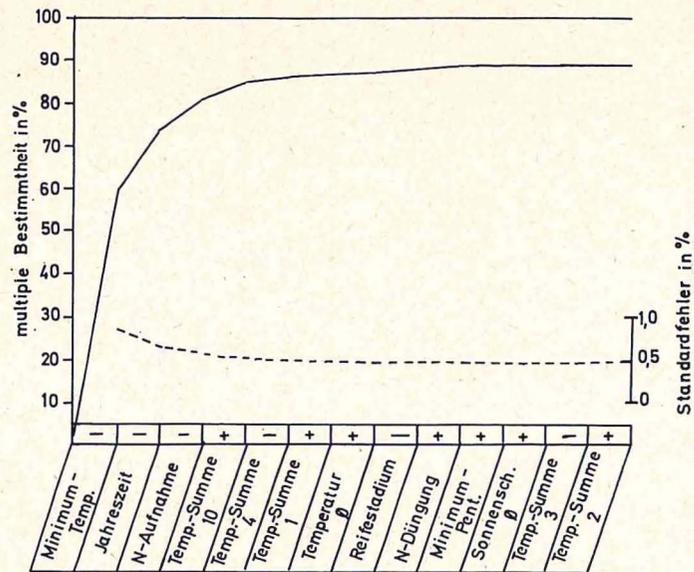


Abb. 5: Zuwachs des multiplen B durch die Variablen, die zur Erklärung der Varianz der Gehalte an Saccharose dienen

weniger wichtig. Stickstoffaufnahme und Stickstoffdüngung korrelieren miteinander ($r = + 0,70$); deshalb wurde eine Regressionsanalyse unter Ausschluß der Stickstoffaufnahme durchgeführt (siehe Abb. 6). Doch auch hier trägt die Stickstoffdüngung nicht wesentlich zur Varianzerklärung bei. Die Stickstoffaufnahme, eine Größe, in die auch der Ertrag eingeht, kann offensichtlich mehr über den Verbrauch an Saccharose für den Energie- und Stoff-

bedarf des Wachstums aussagen. Das deutet darauf hin, daß sich die Saccharose in Gräsern mit niedrigen Fructosangehalten ähnlich wie ein Reservekohlenhydrat verhält (GREEN u. BEARD 1969, WAITE 1970, HEHL 1971).

Unter Verwendung aller Variablen (Abb. 5) ist es möglich, ein Bestimmtheitsmaß von 89% zu erreichen. Nach den ersten drei Aufbausritten läßt sich die Gleichung aber noch gut sachlogisch erklären:

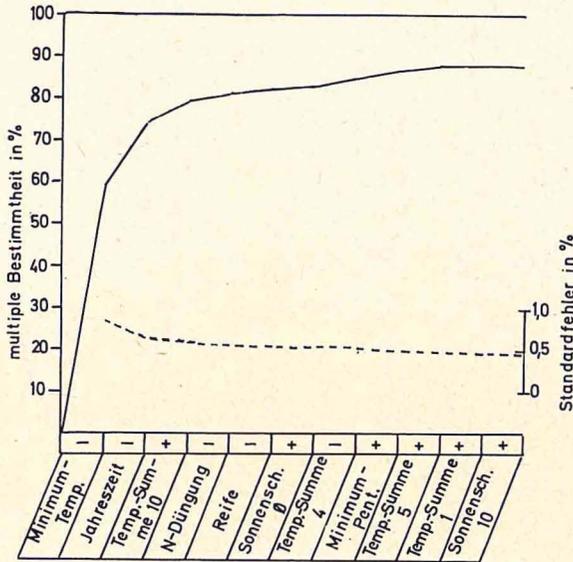


Abb. 6: Zuwachs des multiplen B durch die Variablen, die zur Erklärung der Varianz der Gehalte an Saccharose dienen (ohne N-Aufnahme)

$$y = 7,15 - 0,14 \text{ (Minimumtemperatur in } ^\circ\text{C)}$$

$$-0,84 \text{ (Jahreszeit = Mai = 1, Juli = 2, August = 3)}$$

$$-0,01 \text{ (N-Aufnahme in kg/ha)}$$

$$B = 81\% \times \times \times$$

Der Regressionsgleichung ist zu entnehmen, daß eine um ein Grad höhere Minimumtemperatur in der Nacht vor der Ernte den Saccharosegehalt um 0,14% senkte. Ziemlich ins Gewicht fällt die Jahreszeit mit einer Senkung von 0,8% von Erntetermin zu Erntetermin. Eine um 10 kg/ha höhere Stickstoffaufnahme verursachte eine Abnahme um 0,1%.

cc) Fructosan

Die Faktorenanalyse ergab, daß der Fructosangehalt durch die Stickstoffdüngung bzw. durch Nitratgehalt und Reifestadium bestimmt wird. Das läßt sich auch gut in Abb. 7 erkennen. Die Regressionsanalyse (siehe Abb. 8) zeigt, daß der Nitratgehalt die Varianz der Fructosangehalte zu 44% erklärt. Weitere 5% steuern die Reife und der Rohfettgehalt bei. Auch für den Aufbau von Fetten werden Kohlenstoffketten verbraucht (MENGEL 1968). Wuchshöhe

und Jahreszeit bringen jeweils nur noch 2%, während die Monosaccharide keinen Beitrag mehr zur Varianzerklärung bringen.

Insgesamt kann mit Hilfe dieser Variablen die Varianz der Fructosangehalte nur zu 59% erklärt werden. Das deutet darauf hin, daß es noch andere wichtige Parameter geben muß. Hier wäre an die Wachstumsintensität zu denken, die sich auch kurzfristig ändern kann (BROUGHAM u. GLENDAY 1969), oder auch an das Blatt : Stengelverhältnis.

c) Gesamtgehalt an löslichen Kohlenhydraten (siehe Abb. 9)

Neben den Mono- und Disacchariden wird auch das Fructosan bei der Milchsäuregärung abgebaut (LANDIS 1968, ANDERSON u. JACKSON 1970). Nach BECK (1972) erfolgt der Abbau fast so schnell wie der von Glucose. Aus diesem Grund hat eine Schätzung des Gesamtgehaltes an löslichen Kohlenhydraten praktische Bedeutung. Schätzgleichungen für den Zuckergehalt (Fructose, Glucose, Saccharose) im Gras wurden bereits von ARCHIBALD (1961) und VAN DER SCHAAF (1967) aufgestellt. ARCHIBALD fand einen negativen Zusammenhang zwischen der

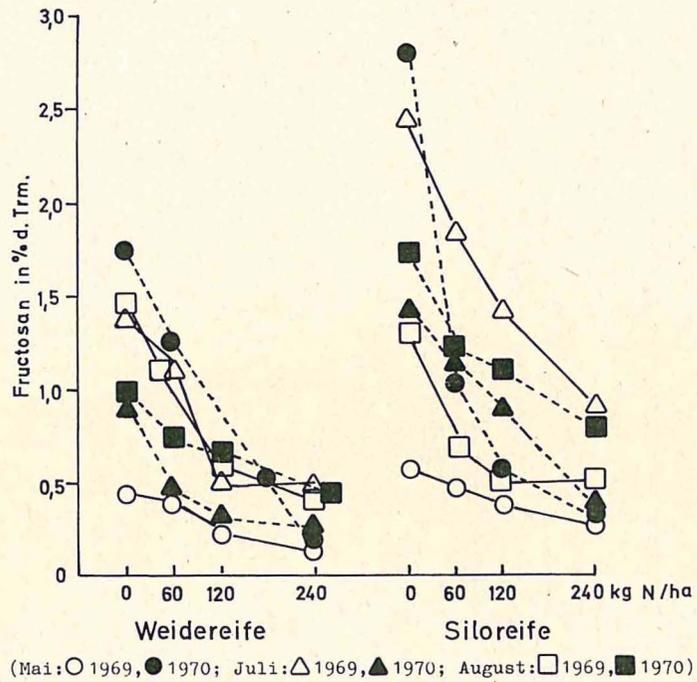


Abb. 7: Die Fructosangehalte des Weidefutters 1969 und 1970 in Abhängigkeit von der N-Düngung, dem Reifestadium und der Jahreszeit

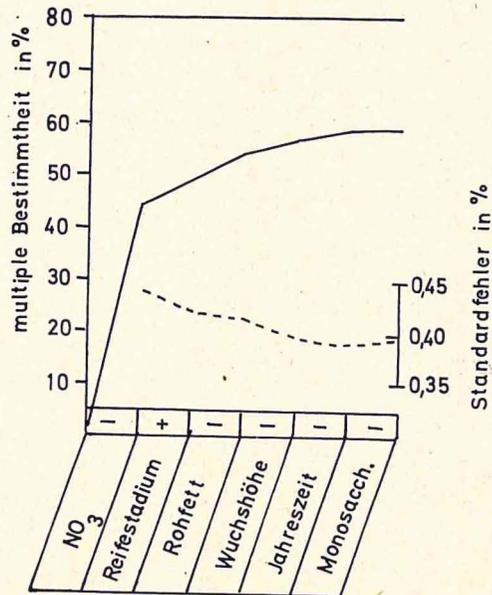


Abb. 8: Varianzerklärung der Fructosangehalte

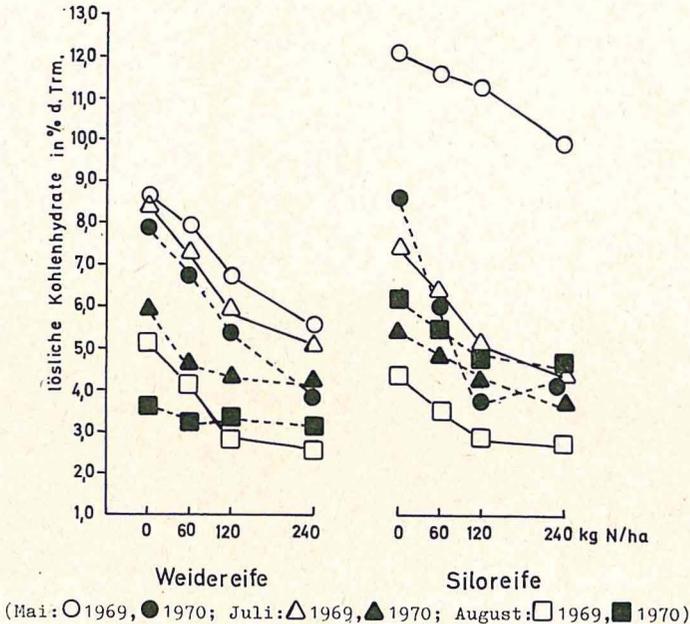


Abb. 9: Die löslichen Kohlenhydrate im Weidefutter 1969 und 1970 in Abhängigkeit von der N-Düngung, dem Reifestadium und der Jahreszeit

durchschnittlichen Lufttemperatur einer Woche vor der Ernte und dem Zucker- gehalt mit einem $r = -0,46^{***}$ ($B = 22\%$). Sein Probenmaterial umfaßte neben frisch geerntetem Futter auch Heu. VAN DER SCHAAF fand beim ersten Grasschnitt einen negativen Zusammenhang mit der Durchschnittstemperatur 3–4 Tage vor der Ernte. Unter Hinzunahme der durchschnittlichen Sonnenscheindauer zwei Tage vor der Ernte ergab sich ein $r = 0,78^{***}$ ($B = 61\%$).

In Abb. 10 und Abb. 11 sind die Ergebnisse der Regressionsanalysen auf den Zuckergehalt (Fructose, Glucose, Saccharose) und den Gehalt an löslichen Kohlenhydraten (Zucker und Fructosan) dargestellt.

In beiden Fällen läßt sich ein Bestimmtheitsmaß von 97 bzw. 98% erreichen. Der Standardfehler wird ziemlich gering. Als wichtigste Einflußgröße erscheint die Temperatursumme 2 Tage vor der Ernte. Das stimmt mit dem Ergebnis der Regressionsanalyse auf den Monosaccharidgehalt überein, nicht aber mit der Regressionsanalyse auf

den Saccharosegehalt. In die multiple Regressionsgleichung werden nacheinander die Variablen aufgenommen, die aus der Summe der möglichen Einflußgrößen jeweils den größten Beitrag zum multiplen B bringen und den Schätzfehler am meisten verringern. Die Minimumtemperatur der Nacht vor der Ernte hat offenbar nur wesentliche Bedeutung für den Saccharosegehalt; dieser korreliert aber auch eng mit der Temperatursumme 2 Tage vor der Ernte ($r = -0,69^{***}$). In der Summe kann daher diese Variable mehr zur Varianzerklärung beitragen. Im Faktor 1 (Tab. 11) ist dies bereits angedeutet; die Temperatursumme 2 Tage vor der Ernte ist hier höher geladen als die Minimumtemperatur. Wird auch noch der Fructosangehalt in die Zielgröße aufgenommen, dann trägt auch die N-Düngung wesentlich zur Varianzerklärung bei, was mit dem Ergebnis der Faktorenanalyse übereinstimmt.

In der Regressionsanalyse auf den Gesamtgehalt an löslichen Kohlenhydraten (s. Abb. 11) lassen sich die ersten

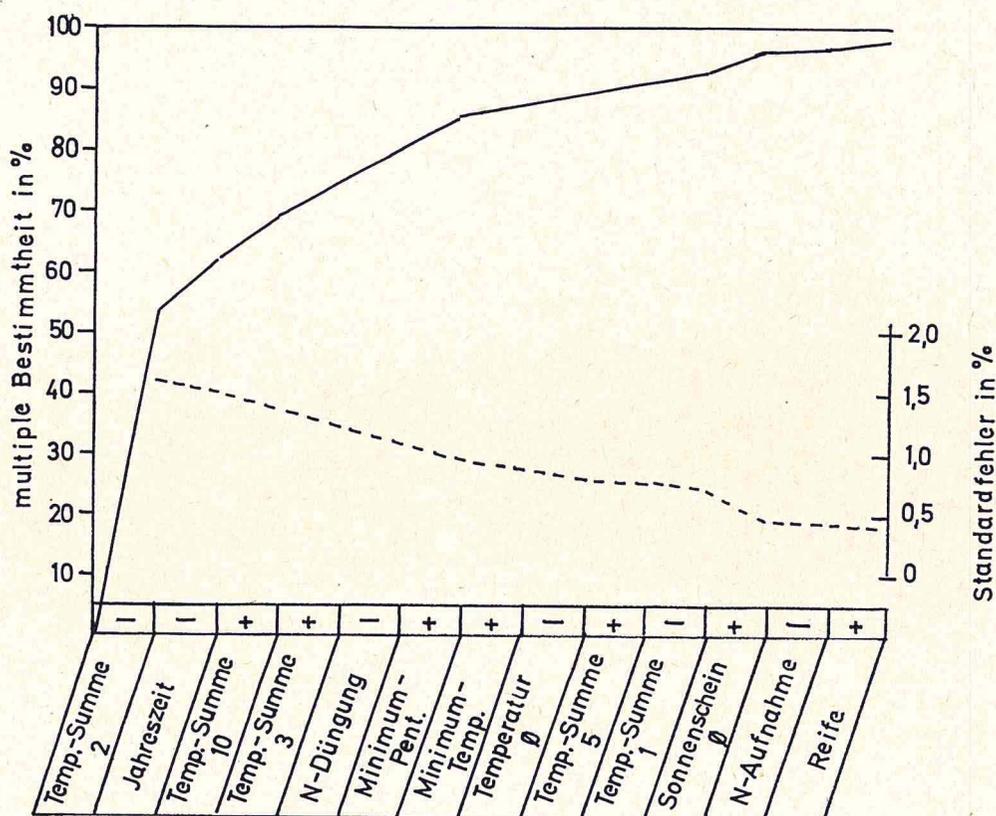


Abb. 10: Veränderung der multiplen Bestimmtheit durch die Variablen, die zur Erklärung der Varianz der Zuckergehalte in die multiple Regression aufgenommen wurden

drei Einflußgrößen noch physiologisch erklären. Je höher die Temperatur, desto höher ist die Veratmung. Die Stickstoffdüngung fördert über die Erhöhung des Rohproteingehaltes den Verbrauch an Kohlenstoffketten. Obwohl die Temperatur mit der Jahreszeit stieg, ist auch in der partiellen Beziehung zu den Einzelkomponenten der Zucker der Einfluß der Jahreszeit noch wesentlich. Dies ist wohl auf das sich mit der Jahreszeit verändernde Blatt:Stengelverhältnis zurückzuführen:

$$y = 11,26 - 0,19 \text{ (Temperatursumme 2 Tage vor der Ernte in } ^\circ\text{C)}$$

$$- 0,01 \text{ (N-Düngung = 0, 60, 120, 240 kg/ha)}$$

$$- 0,72 \text{ (Jahreszeit = Mai = 1, Juli = 2, August = 3)}$$

$$B = 73\% \times \times \times$$

Aus dieser Gleichung läßt sich nun quantitativ angeben, wie sich die einzelnen Einflußgrößen unter Konstanthaltung der anderen auf den Kohlenhydratgehalt (Abb. 9) ausgewirkt haben. Im statistischen Durchschnitt verringerte so z.B. jede Steigerung der Stickstoffdüngung um 60 kg/ha den Kohlenhydratgehalt um 0,6%. Die Jahreszeit bewirkte von der Mai- zur Augustnutzung ein Absinken um 1,44%. Die Temperatursumme zur Siloreife Mai 1970 ist gegenüber der Temperatursumme zur Siloreife Mai 1969 um 9,2° C höher; dadurch ergibt sich ein Unter-

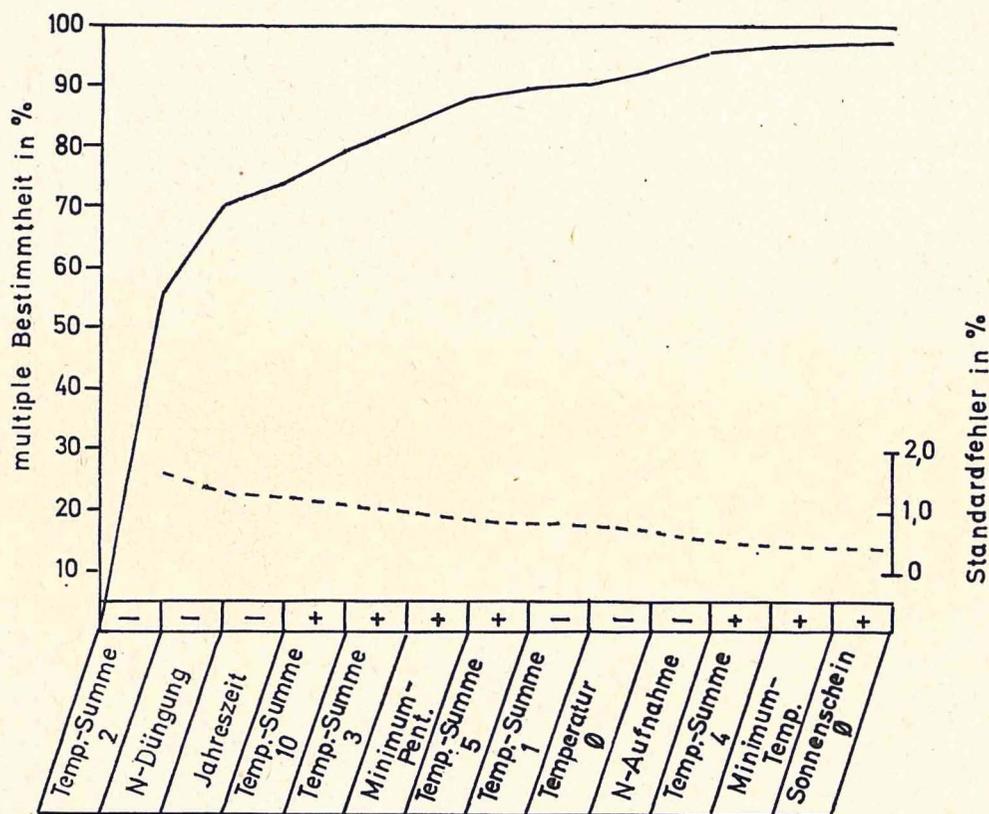


Abb. 11: Zunahme der multiplen Bestimmtheit durch die Variablen, die zur Erklärung des Gehaltes an löslichen Kohlenhydraten im Weidefutter 1969 und 1970 dienen. Höhe und Veränderung des Standardfehlers der Schätzung

schied von 1,75% im Gehalt an löslichen Kohlenhydraten.

So fanden wir z. B. im siloreifen Futter des Jahres 1970 im Mai um 2% höhere Gehalte als im August. 1,44% erklären sich durch die jahreszeitliche Abnahme, 0,5% durch die höhere Temperatur. Die Schätzwerte kommen bei allen Aufwüchsen den gemessenen Werten recht nahe, außer in der Siloreife im Mai 1969. Dieser Aufwuchs enthielt sehr hohe Saccharose- sowie Monosaccharidgehalte. Die Temperatur der Nacht vor der Ernte sank hier auf -6°C ab. In dieser Nacht wurde wohl kaum etwas veratmet oder umgesetzt. Abb. 12 läßt das Ausmaß des Temperatureinflusses in unserem Versuch erkennen.

6. Spurenelemente

a) Faktorenanalyse (siehe Tab. 12)

Zunächst sind wieder bereits bekannte Faktoren zu erkennen: Der Einfluß warmer Nächte und des Niederschlags auf den Zn-Gehalt (1. Faktor), der Einfluß des Reifestadiums (2. Faktor), der Mo-Co-Faktor (3. Faktor), die Stickstoffernährung (4. Faktor), die Jahreszeit (5. Faktor), der Einfluß der Niederschlags-summe 10 Tage vor der Ernte (6. Faktor) und der Zn-Mn-Faktor (7. Faktor). Es fällt auf, daß die Höhe der Stickstoffdüngung für die Spurenelementgehalte kaum eine Rolle spielt. Nur für den Kupfergehalt ist ein negativer Einfluß angedeutet. Die Angaben der Literatur

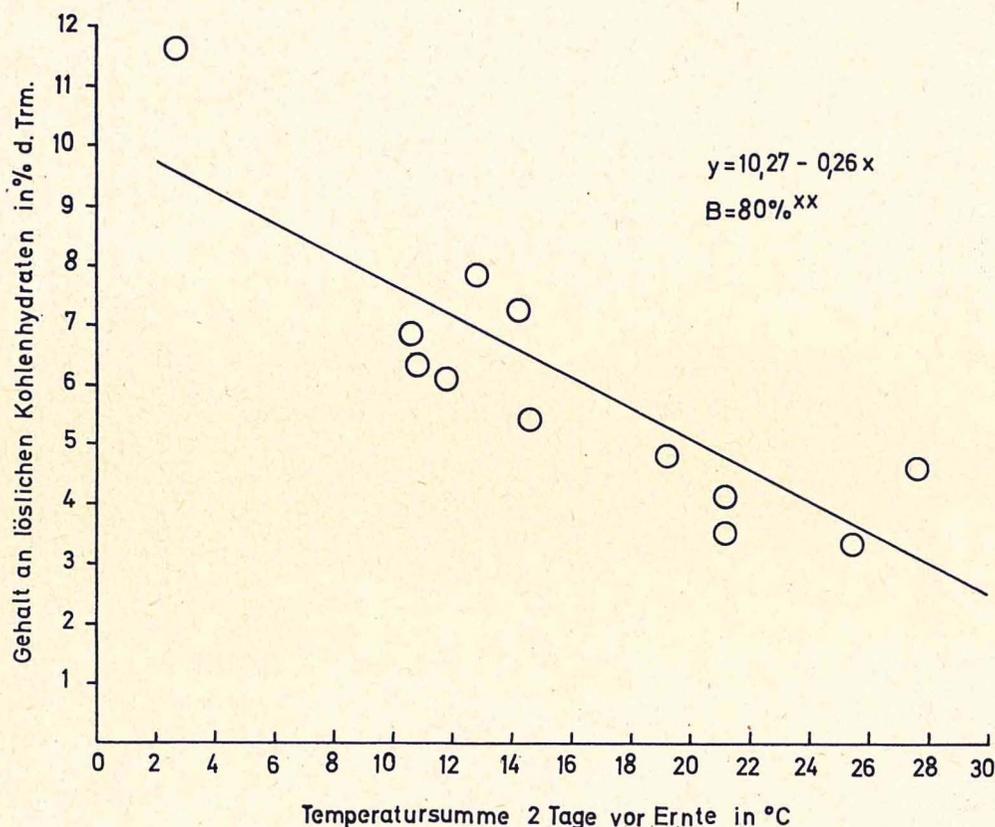


Abb. 12: Zusammenhang zwischen der Temperatursumme 2 Tage vor der Ernte und dem Gehalt an löslichen Kohlenhydraten im Weidefutter 1969 und 1970

über die Wirkung steigender Stickstoffgaben sind nicht einheitlich. So fand KNABE (1964, 1967) im Freiland fallende, im Gefäßversuch steigende Cu-Gehalte. WHITEHEAD (1970) gibt für Wiesen fallende, für Weiden steigende Cu-Gehalte an. HEMINGWAY (1962) beobachtete im siloreifen Futter steigende Gehalte an Cu und Mn, aber fallende für Mo. Zum gleichen Ergebnis kamen DHEIN u. AHRENS (1962) auf 2- und 3-Schnittwiesen. Nach SMILDE u. LUIT (1967) dagegen sinkt der Mn-Gehalt mit steigender N-Düngung.

Bei ausreichender Versorgung des Bodens mit Spurenelementen kann die Schwermetallaufnahme mit der Stickstoffdüngung und der damit verbundenen Ertragssteigerung Schritt halten, es

kann sogar zu einer Steigerung des Gehaltes kommen (LAATSCH 1954, KNABE 1964 u. 1967, KLAPP 1969 u. 1971, WHITEHEAD 1970).

In unserem Versuch läßt sich keine Beziehung zwischen der Höhe der Stickstoffdüngung und den Gehalten an Zn, Mn, Mo und Co erkennen. Die Aufnahme durch die Pflanze hielt zumindest mit der Ertragssteigerung Schritt.

b) Die einzelnen Elemente

aa) Kupfer

Die Faktorenanalyse ergab als wichtigste Einflußgröße für den Cu-Gehalt das Reifestadium. Auch aus Abb. 13 läßt sich das deutlich erkennen. Die Regressionsanalyse (siehe Abb. 14) zeigt, daß

Tabelle 12: Faktorenschema der Spurenelemente im Weidefutter 1969 und 1970: Anzahl der gefundenen Faktoren (F_1 — F_9) und deren Beitrag zur Varianzerklärung (% einzeln, % kumulativ). Faktorladungen (F_1 — F_9 -Spalten) und durch die gemeinsamen Faktoren erklärte Varianz (h^2) für jede Variable

Variablen	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	h^2
1. Jahreszeit	—	—	+ 8	—	+77	—	—	—	—	95
2. Reifestadium	—	+94	—	—	—	—	—	—	—	96
3. N-Düngung	—	—	—	+67	—	—	—	—	—	68
4. Wuchshöhe	—	+26	—	+37	— 7	—	— 8	—	—	91
5. Wuchstage	—	+86	—	—	—	—	—	—	—	99
6. Cu	—	—67	—	— 7	—	—	+ 7	—	—	89
7. Zn	+12	—	—	—	—	—	+64	—	—	95
8. Mn	—	—	+13	—	+15	—	+37	—	—	75
9. Mo	—	—	+52	—	—	—29	—	—	—	94
10. Co	—	— 6	+45	—	—	—	—	—	—	61
11. Globalstr. 10	— 5	—	—	—	—	— 8	—	—57	—	74
12. Niederschlag ϕ	+74	—	—	—	—	+ 9	—	—	—	92
13. Niederschlag 10	+ 5	—	—	—	—	+77	—	+ 5	—	93
14. Temperatursumme 2	+11	—16	—	—	+55	—	—	—	+ 9	99
15. Minimum-Temperatur	+11	— 9	—	—	+15	—	+30	—	+25	93
16. Minimum-Pent.	+64	— 6	—	—	+ 8	—	—	+10	—	92
Varianz-%, kumulativ	36	51	61	68	74	80	83	86	87	
Varianz-%, einzeln	36	15	10	7	6	6	3	3	1	

das Reifestadium die Varianz der Cu-Gehalte zu 64% erklärt.

Weitere 13% trägt die Wuchshöhe bei. Beide Variablen korrelieren aber eng mit dem Trockenmasseertrag. Die Cu-Aufnahme hielt mit der Produktion an organischer Substanz nicht Schritt. Unter Berücksichtigung der partiellen Beziehungen scheidet die Stickstoffdüngung als wichtige Einflußgröße aus. Für eine Schätzung der Cu-Gehalte würden die ersten drei aufgenommenen Variablen ausreichen. Nach dem dritten Schritt ist der Standardfehler am geringsten:

$$y = 20,93 - 3,64 (\text{Reifestadium} = \text{Weidereife} = 1, \text{Siloreife} = 2) \\ - 0,13 (\text{Wuchshöhe in cm}) \\ + 0,07 (\text{Temperatursumme} \\ 2 \text{ Tage vor der Ernte} \\ \text{in } ^\circ\text{C})$$

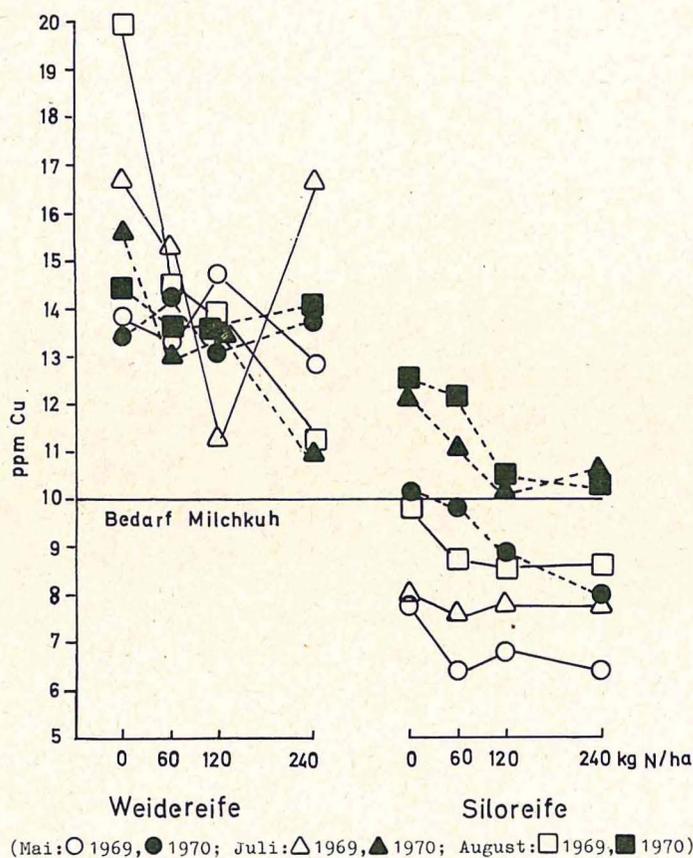
$$B = 78\% \times \times \times$$

Nun könnte dagegen eingewendet werden, daß wir für das Reifestadium nur zwei Meßpunkte haben und keine Meßreihe. Deshalb wurde die gleiche Verrechnung unter Verwendung der Wachstumstage statt des Reifestadiums

durchgeführt (Abb. 15). Das brachte grundsätzlich die gleiche Information. Doch ist die 1. Schätzgleichung den gemessenen Daten besser angepaßt, sie erbringt ein größeres Bestimmtheitsmaß und einen geringeren Standardfehler.

Die Verwendung des Reifestadiums in der Schätzgleichung ist auch biologisch sinnvoller, denn die Wahl des Erntetermins erfolgte auf Grund der Beurteilung der Nutzungsreife und damit des Ertrages. Die Länge der Wachstumszeit war abhängig von der Wachstumsintensität des jeweiligen Aufwuchses. Auf Grund dieses Ergebnisses wurde das Reifestadium auch in den anderen Verrechnungen belassen.

Der Bedarf der Milchkühe an Cu ist in der Weidereife immer gedeckt, während in der Siloreife der Bedarf in den meisten Fällen unterschritten wird. Auch WÖHLBIER (1962) berichtet von ausreichenden Cu-Gehalten im Weidefutter, nicht aber im Heu. Bei der Ernte im siloreifen Stadium muß damit gerechnet werden, daß der Cu-Gehalt die notwendige Konzentration unterschreitet. Bei zu geringer Versorgung des Weide-



bodens an pflanzenverfügbarem Kupfer wird auch in der Weidereife kein ausreichender Gehalt im Futter zu erwarten sein (HENKENS 1962). So fordern PAHL u. a. (1970) und KIRCHGESSNER u. a. (1971) auch während der Weidezeit eine Zufütterung von Cu.

bb) Kobalt (siehe Abb. 16)

Die Faktorenanalyse zeigte, daß die Co-Gehalte positiv mit den Gehalten der anderen Spurenelemente und der durchschnittlichen Höhe des täglichen Niederschlages korrelieren. Die Regressionsanalyse (siehe Abb. 17) bestätigt diese Zusammenhänge. Die engste partielle Korrelation besteht mit dem Mo-Gehalt. Dieser Zusammenhang konnte auch bei einer Spurenelementanalyse

des Wiesenschwings gefunden werden (LANG u. a. 1972). Die Hereinnahme weiterer Variablen erbrachte ein Bestimmtheitsmaß von nur 47%. Die Stickstoffdüngung steigert dabei möglicherweise die Co-Gehalte.

Bei der regressionsanalytischen Auswertung der Spurenelementgehalte von Luzerne- und Wiesenschwingspflanzen konnte ebenfalls die Varianz der Co-Gehalte nur zu einem geringen Anteil erklärt werden (VOIGTLÄNDER u. a. 1972, LANG u. a. 1972). Ein Co-Bedarf der höheren Pflanze konnte noch nicht nachgewiesen werden. Der Co-Gehalt dürfte weitgehend vom verfügbaren bzw. austauschbaren Boden-Co abhängen (MENDEL 1968). Doch lassen sich nicht immer eindeutige Zusammenhänge zwischen

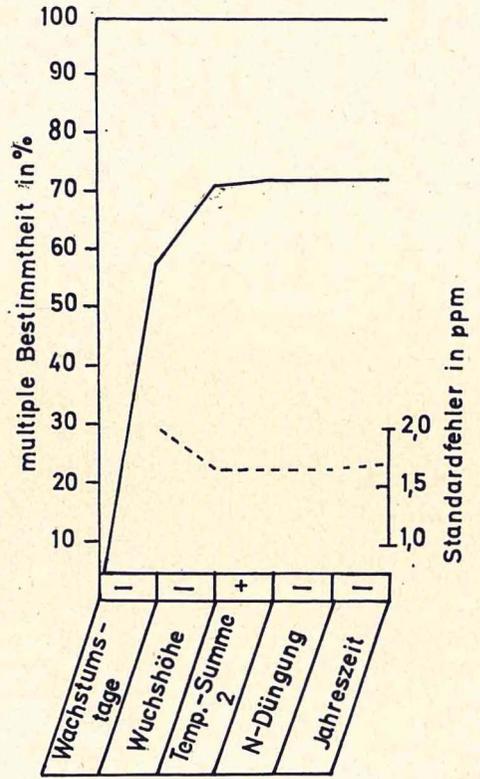
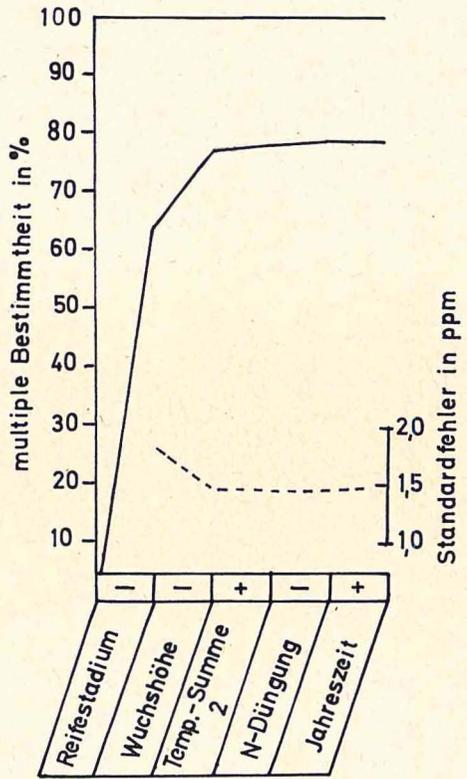


Abb. 14: Varianzerklärung der Cu-Gehalte

Abb. 15: Varianzerklärung der Cu-Gehalte

In Abb. 15 wurde das Reifestadium durch die Wachstumstage ersetzt

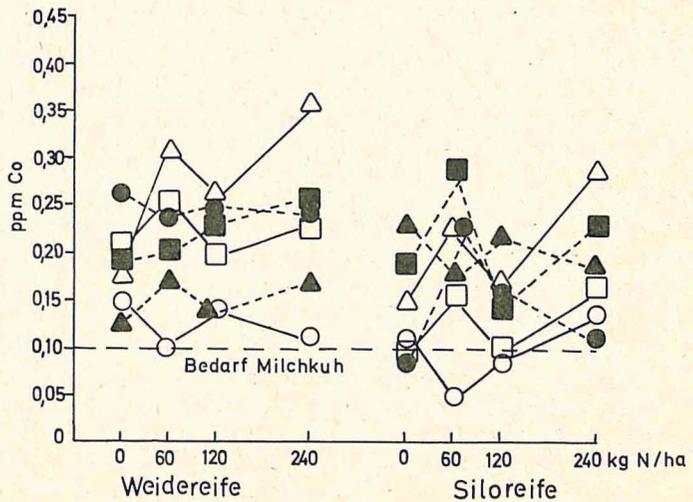


Abb. 16: Die Co-Gehalte des Weidefutters 1969 und 1970 in Abhängigkeit von der N-Düngung, dem Reifestadium und der Jahreszeit

(Mai: ○ 1969, ● 1970; Juli: △ 1969, ▲ 1970; August: □ 1969, ■ 1970)

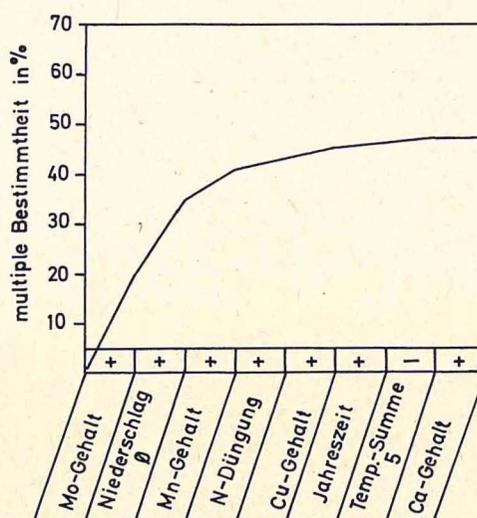


Abb. 17: Veränderung der multiplen Bestimmtheit durch die Variablen, die zur Erklärung der Varianz der Co-Gehalte im Weidefutter 1969 und 1970 dienen

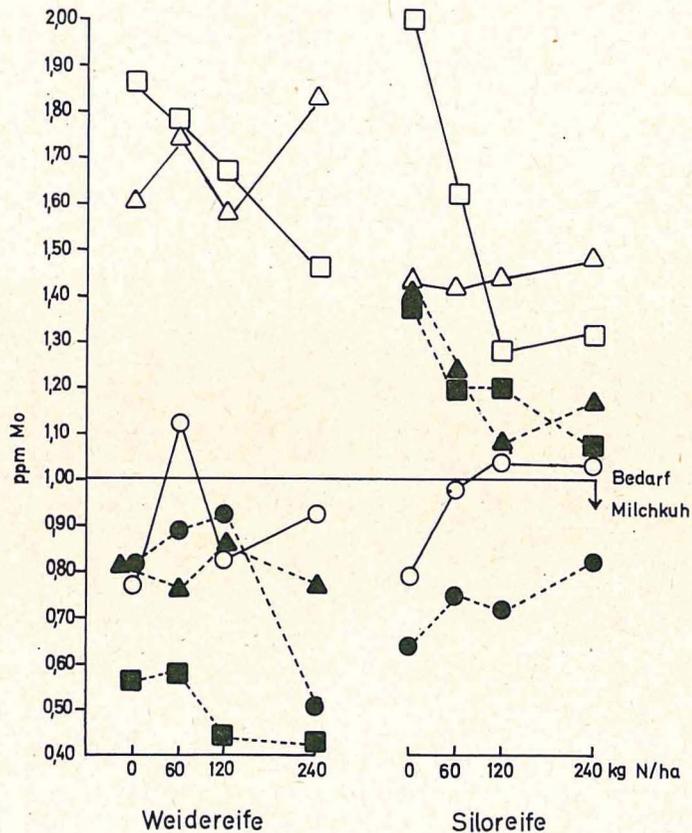
den Gehalten des Bodens und der Pflanze nachweisen (LONG u. FREDRIKSEN 1970). Aus Untersuchungen von HANDRECK u. RICEMAN (1968) mit ^{60}Co an verschiedenen Futterpflanzen (Medicago, Trifolium, Phalaris) ist bekannt, daß Co überwiegend in den jüngsten Blättern vorkommt. Die höchste Konzentration im Blatt liegt bei seiner Entfaltung vor. Dies deckt sich mit den Angaben von ANKE (1961), daß gerade junge Gräser relativ viel Co enthalten. An Gräsern ist ein Austritt des Co mit den Guttationstropfen möglich (HANDRECK u. RICEMAN 1968).

Der Co-Gehalt des Futters hängt somit sicherlich mit davon ab, wie hoch der Anteil junger und gerade sich entfaltender Blätter ist. Je nach Ausmaß der Guttation kann bei der Probenahme Co erfaßt werden, das sich bereits außerhalb der Pflanze befindet. Dazu kann die Verfälschung der Werte durch selbst geringste Verunreinigungen mit Erde kommen (HASLER u. ZUBER 1955). Es dürfte schwierig sein, diese Dinge meßbar und damit statistisch auswertbar zu machen. Weiter ist wenig bekannt über die Bindung des Co im Boden und seine Mobilisierung (SCHEFFER—SCHACHTSCHABEL 1970).

In der Weidereife erreichte der Co-Gehalt immer die Bedarfsnorm, in der Siloreife ist ein Unterschreiten des Bedarfes nicht ganz auszuschließen. Je nach Versorgung des Bodens (HENKENS 1965) wird blattreiches junges Gras ausreichend Co enthalten. PAHL u. a. (1970) u. KIRCHGESSNER u. a. (1971) fordern aber auch bei Weidegang eine zusätzliche Co-Versorgung. Je nach dem vom Standort (Feuchtigkeit) und Pflanzenbestand abhängigen Co-Niveau des Futters wird Co zugefüttert werden müssen.

cc) Molybdän

In Abb. 18 sind die Mo-Gehalte des weide- und siloreifen Mähweidefutters dargestellt. Zwischen den einzelnen Aufwüchsen bestehen beträchtliche Unterschiede. Eine wesentliche Varianzursache ist in der Höhe der Niederschläge 10 Tage vor der Probenahme zu suchen (Abb. 19). Weiter tragen der Co- und der K-Gehalt zur Varianzerklärung bei; die restlichen Variablen sind unbedeutend. Die Verfügbarkeit des monovalenten Elementes K wird durch die Bodenfeuchtigkeit gefördert (MENGEL 1968). Daraus läßt sich wohl der negative Zusammenhang mit dem Mo-Gehalt erklä-



(Mai: ○ 1969, ● 1970; Juli: △ 1969, ▲ 1970; August: □ 1969, ■ 1970)

Abb. 18: Die Mo-Gehalte des Weidefutters 1969 und 1970 in Abhängigkeit von der N-Düngung, dem Reifestadium und der Jahreszeit

ren. Der Zusammenhang ist jedoch zu gering, um vom K-Gehalt auf den Mo-Gehalt schließen zu können.

Insgesamt läßt sich die Varianz der Mo-Gehalte nur zu 63% erklären. Das deutet darauf hin, daß es noch andere wesentliche Parameter für die Veränderlichkeit des Mo-Gehaltes geben muß. Möglicherweise könnte hier die Messung der Veränderung des Redoxpotentials im Weideboden zu einem besseren Erfolg führen. Bessere Parameter könnten auch eine klarere Deutung des Zusammenhanges zwischen Co und Mo ermöglichen.

Der Bedarf der Milchkuh an Mo liegt wahrscheinlich unter 1 ppm i. d. Trm., während bis zu 5 ppm vom Rind noch toleriert werden (KIRCHGESSNER 1970).

Damit ist weder ein Überschuß noch ein Mangel an Mo gegeben.

dd) Mangan (siehe Abb. 20)

Die Regressionsanalyse (s. Abb. 21) zeigt wieder den positiven Zusammenhang zwischen Mn- und Zn-Gehalt. Die Veränderung des Zn-Gehaltes liefert den größten Anteil zur Varianzerklärung des Mn-Gehaltes. Weitere wichtige Einflußgrößen sind hier die Temperatursumme 10 Tage vor der Ernte, der Pentadendurchschnitt der Minimumtemperatur, das Reifestadium und die Jahreszeit. Der negative Einfluß der Temperatur konnte auch für die Mn-Gehalte von Luzernepflanzen gezeigt werden (VOIGTLÄNDER u. a. 1972). Möglicherweise begünstigen höhere Temperaturen durch

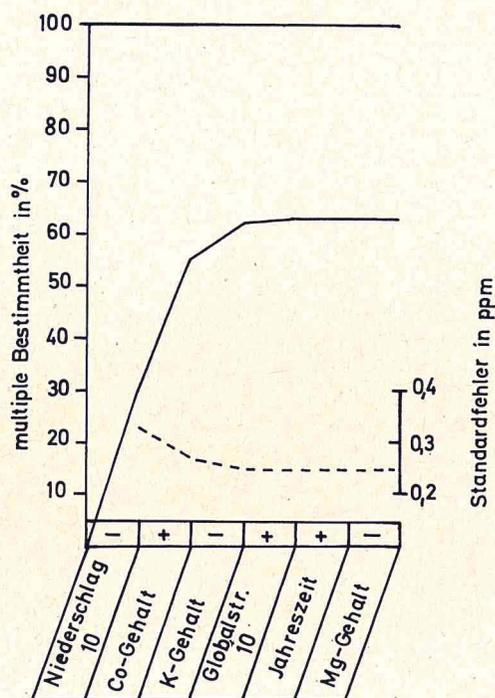


Abb. 19: Zunahme der multiplen Bestimmtheit durch die Variablen, die zur Erklärung der Varianz der Mo-Gehalte im Weidefutter 1969 und 1970 dienen

Beeinflussung des Luft- und Wasserhaushaltes oxydative Verhältnisse im Boden. Für Wiesenschwingelpflanzen ergab sich ein negativer Zusammenhang mit der Globalstrahlung (LANG u. a. 1972).

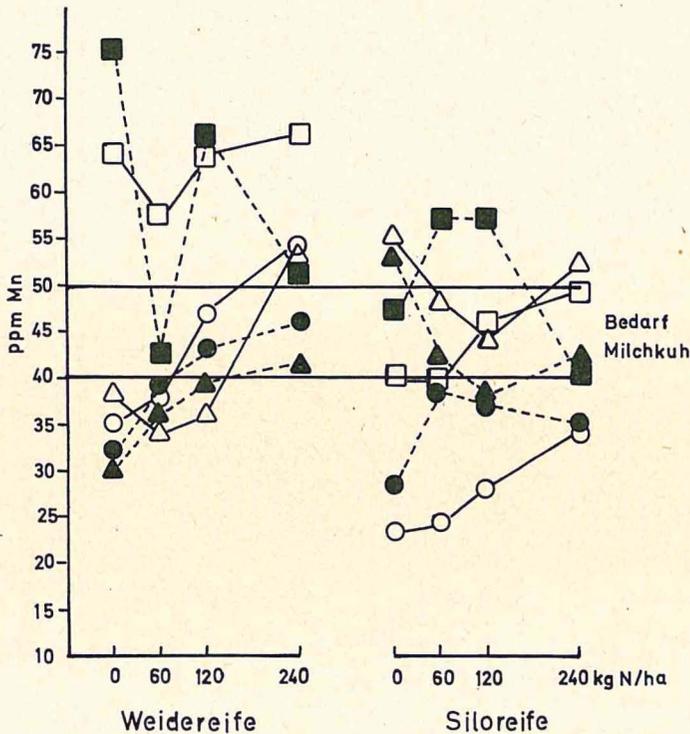
Strahlung und Temperatur korrelieren positiv (vgl. Abschnitt über Kohlenhydrate). Eine Trennung der beiden Einflußgrößen auf mathematisch-statistischem Wege ist daher schwierig (REINER 71/72). Die Messung der Bodenfeuchte würde hier wahrscheinlich die bessere Information liefern (PAHL u. a. 1971, FLEMING 1965). Der hier festgestellte Einfluß des Reifestadiums und der Jahreszeit deckt sich mit den Angaben von FLEMING (1968), HEMINGWAY (1962) u. McNAUGHT u. DOROFÄEFF (1968). Insgesamt kann das Ergebnis der Regressionsanalyse nicht befriedigen. Die Höhe des Bestimmtheitsmaßes deutet darauf hin, daß noch wesentliche Informationen über die Varianz der Mn-Gehalte fehlen. Eine Zunahme der Mn-Gehalte

mit der Jahreszeit und eine Abnahme mit steigender Temperatur erscheint widersprüchlich, da die Temperatur mit fortschreitender Jahreszeit zunahm. Es erweist sich hier als Mangel, daß das Blatt:Stengelverhältnis nicht erfaßt wurde; ein höherer Blattanteil begünstigt sicher die Mn-Konzentration.

Der positive jahreszeitliche Einfluß äußert sich möglicherweise über das Blatt:Stengelverhältnis.

Die Gehalte schwanken innerhalb der Versuchsvarianten erheblich. Solche Schwankungen sind auch auf der gleichen Fläche nicht außergewöhnlich (KLAPP 1969).

Es ist bekannt, daß gerade das Mn am empfindlichsten auf die Veränderung des Redoxpotentials reagiert (MENGEL 1968). Mn kommt im Boden in zwei-, drei- oder vierwertiger Form vor; pflanzenverfügbar ist nur die zweiwertige Form. In terrestrischen Böden kann sich das Redoxpotential auf kleinstem



(Mai: ○ 1969, ● 1970; Juli: △ 1969, ▲ 1970; August: □ 1969, ■ 1970)

Abb. 20: Die Mn-Gehalte des Weidefutters 1969 und 1970 in Abhängigkeit von der N-Düngung, dem Reifestadium und der Jahreszeit

Raum ändern, da entlang von Spalten und Hohlräumen andere Bedingungen herrschen als im Inneren von Aggregaten (SCHEFFER—SCHACHTSCHABEL 1970).

Eine eindeutige kausale Aussage über die Veränderung des Mn-Gehaltes kann nicht getroffen werden. Wesentliche Informationen, wie z. B. die Bodenfeuchte, das Blatt:Stengelverhältnis fehlen und sind nach Abschluß des Versuches nicht mehr zu gewinnen.

Futter von Moorböden enthält im allgemeinen zu wenig Mn für die Versorgung des Rindes (KIRCHGESSNER u. a. 1968). Eine sichere Bedarfsdeckung war über alle N-Stufen hinweg nur im August 1969 gegeben (siehe Abb. 20).

Der Ertragsgrenzwert für Gras wird von FINCK (1968) auf 40 ppm geschätzt. Dieser Wert wird teilweise unterschritten (vgl. Abb. 20). Es ist aber fraglich, ob dieser Grenzwert auch für Bestände

mit hohem Anteil an *Poa pratensis* und *Festuca pratensis* zutrifft, denn nach ANKE (1962) gehören beide Pflanzen zu den manganarmen Grasarten.

ee) Zink (siehe Abb. 22)

Die Regressionsanalyse (s. Abb. 23) zeigt klar, warum die Ca-, Mg- und Zn-Gehalte immer im gleichen Faktor hoch geladen waren. Die Minimumtemperatur der Nacht vor der Ernte liefert für jedes Element den größten Beitrag zur Varianzerklärung, und zwar in fast der gleichen Höhe. Es bestehen keine direkten Beziehungen zwischen den genannten Elementen, da ihre partiellen Korrelationen nicht mehr eng sind (vgl. Abschnitt über Mg und Ca). Die Korrelation zwischen Zn und Mn bleibt dagegen erhalten; wohl deshalb, weil der Grund dafür nicht mit in die statistische Verrechnung einging. Möglicherweise

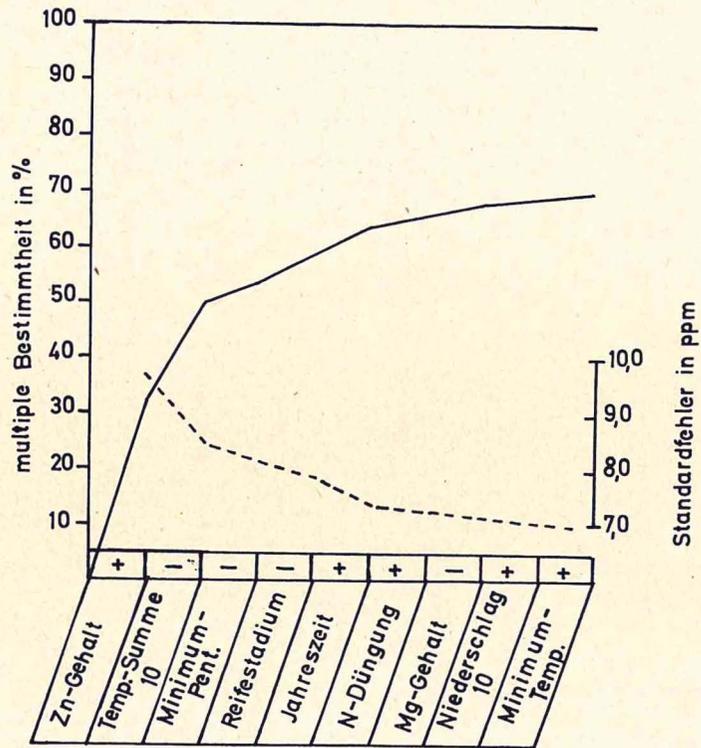


Abb. 21: Erklärung der Variabilität der Zn-Gehalte

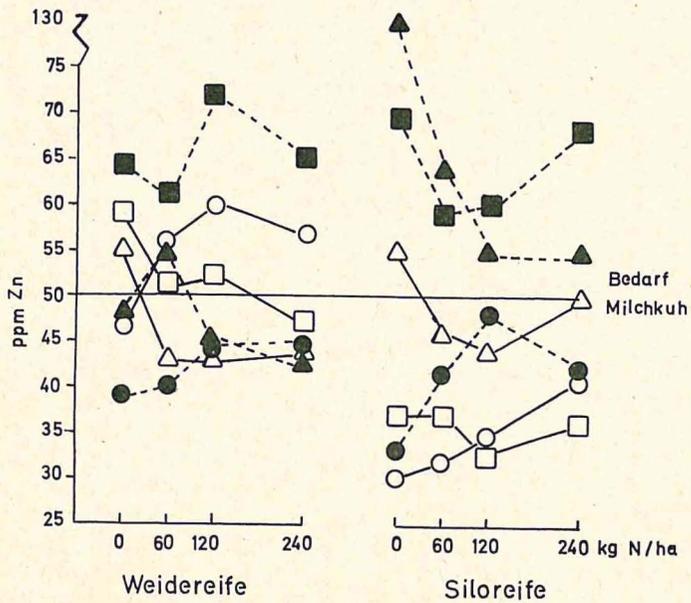


Abb. 22: Die Zn-Gehalte des Weidefutters 1969 und 1970 in Abhängigkeit von der N-Düngung, dem Reifestadium und der Jahreszeit

(Mai: ○ 1969, ● 1970; Juli: △ 1969, ▲ 1970; August: □ 1969, ■ 1970)

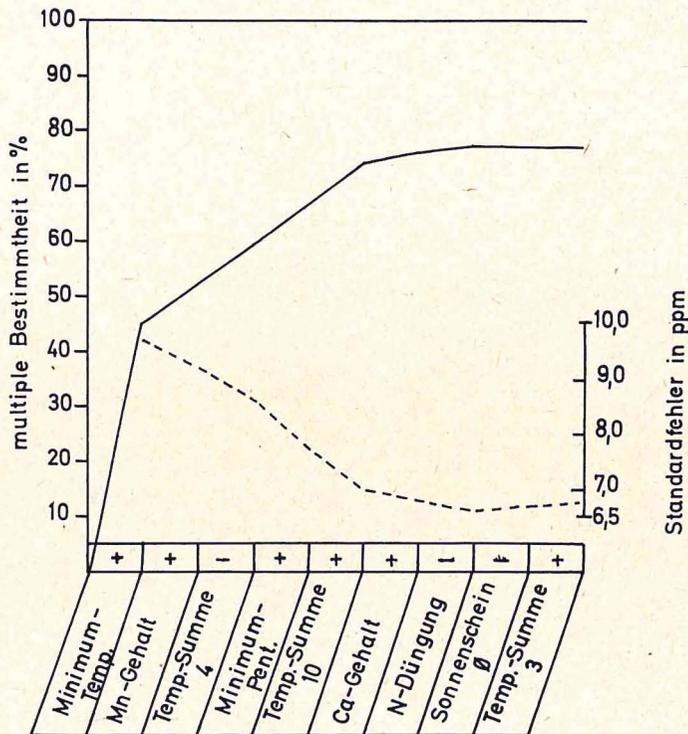


Abb. 23: Beitrag zum multiplen B der Variablen, die zur Erklärung der Varianz der Zn-Gehalte dienen

würde hier das Blatt:Stengel-Verhältnis oder auch die Bodenfeuchte mehr Klarheit bringen.

Der Bedarf an Zn wird über das Grundfutter im allgemeinen nicht gedeckt (KIRCHGESSNER u. a. 1968, PAHL u. a. 1970, KIRCHGESSNER u. a. 1971, VOIGTLÄNDER u. a. 1972, LANG u. a. 1972). Bei guter Versorgung des Bodens ist es offenbar möglich, die notwendige Konzentration zumindest zeitweise zu erreichen (s. Abb. 22). Das Ergebnis der Regressionsanalyse ermöglicht eine Aussage über das Unter- oder Überschreiten der 50-ppm-Marke. Beim Unterschreiten der Bedarfsnorm betrug die Minimumtemperatur der Nacht vor der Ernte jeweils: 1,6/2,9/—6,1/1,0/0,0/5,2° C, der Pentadendurchschnitt der Minimumtemperatur jeweils 6,8/5,5/0,9/4,2/6,2/1,6° C; in diesem Temperaturbereich (Minimum Nacht vor Ernte etwa <5° C; Minimum-Pentadendurchschnitt vor Ernte etwa

<7° C) muß mit einem zu geringen Zn-Gehalt gerechnet werden.

Ist der Ca- oder der Mg-Gehalt bekannt, so kann auch damit der Zn-Gehalt beurteilt werden. Der Vergleich der Zn- und Mg-Gehalte zeigt, daß bei ausreichenden Mg-Gehalten auch ausreichende Zn-Gehalte erreicht wurden (vgl. Abb. 22 mit Abb. 24). Jedoch muß auf die Höhe der Stickstoffdüngung geachtet werden, da sie die Mg-Aufnahme mehr förderte als die Zn-Aufnahme. Eine eindeutiger Aussage ist bei einer Anwendung von 0 und 60 kg N/ha möglich.

Die Versorgung der Pflanzen mit Zn war wohl gewährleistet. Nach KNAUER (1968) reichen für Grünland 20—30 ppm Zn i. d. Trm. zur Erzielung des höchsten Pflanzenertrages aus. Über eine Zn-Düngung können die Gehalte der Pflanzensubstanz zwar erhöht werden (MENGEL 1968), doch wird das kaum

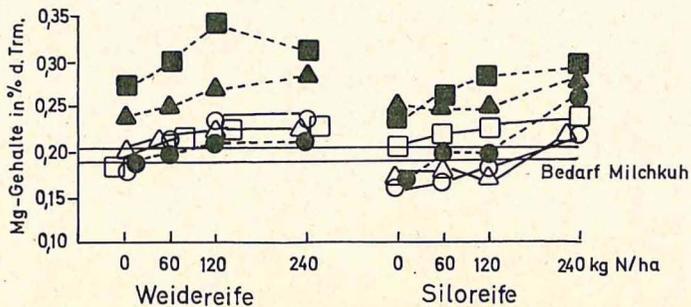


Abb. 24: Die Magnesiumgehalte des Weidefutters 1969 und 1970 in Abhängigkeit von der N-Düngung, dem Reifestadium und der Jahreszeit

(Mai: ○ 1969, ● 1970; Juli: △ 1969, ▲ 1970; August: □ 1969, ■ 1970)

rentabel sein, da alle Handelsfuttermittel relativ viel Zn enthalten (KIRCHGESSNER u. a. 1968).

7. Magnesium und Calcium

Die Faktorenanalyse ergab, daß die kurzfristigen Temperaturschwankungen vor der Ernte sich als Parameter für die Schätzung des Mg-, Ca- und Zn-Gehaltes eignen. Die Minimum-Temperatur der Nacht vor der Ernte erklärt 50% der Varianz der Mg- und Ca-Gehalte (siehe Abb. 25). Dadurch wird verständlich, daß allgemein eine Zunahme der Gehalte mit der Jahreszeit beobachtet wird. Es läßt sich damit aber auch erklären, warum BERNGRUBER (1971) bei einer gemeinsamen statistischen Auswertung mehrerer Weihenstephaner Weideversuche in der Regel die höchsten Gehalte im 4. und 5. Schnitt fand, während die Gehalte im 6. Schnitt wieder abnahmen.

BERNGRUBER sieht die Ursache für die Zunahme des Mg- und Ca-Gehaltes im physiologischen Alter der Graspflanzen, da mit fortschreitender Jahreszeit zur Erreichung der angestrebten Nutzungsreife oft eine längere Aufwuchszeit notwendig ist. MENGEL (1968) weist darauf hin, daß gerade die Ca-Konzentration in der älteren Pflanze höher sein kann. Beide Elemente korrelieren auch hier positiv mit dem Rohfasergehalt bzw. Reifestadium (siehe Abb. 24 u. 27). Doch kann das physiologische Alter nicht der alleinige Grund für die jahreszeitlichen

Schwankungen sein, denn RIEDER u. REINER (1972) beobachteten mit fortschreitender Jahreszeit steigende Mg- und Ca-Gehalte, obwohl die Aufwüchse (5malige Nutzung) physiologisch immer jünger wurden (zunehmende Rohprotein-, abnehmende Rohfasergehalte). Die Jahreszeit wirkt sicherlich auch auf die Mg- und Ca-Gehalte weitgehend über die Veränderung der Temperatur.

Weitere wichtige Einflußgrößen für die Mg-Gehalte sind die N-Düngung, die Niederschlagssumme 10 Tage vor der Ernte und der Pentadendurchschnitt der Minimumtemperatur. Bei der Besprechung der Faktorenanalysen wurde versucht, diese Zusammenhänge zu deuten. Wird der Aufbauprozess der multiplen Regressionsgleichung nach dem 5. Schritt abgebrochen, dann ergibt sich folgende Gleichung:

$$y_{Mg} = 0,15 + 0,001 \text{ (Minimumtemperatur in } ^\circ\text{C)} + 0,0002 \text{ (N-Düngung = 0,60, 120, 240 kg/ha)} + 0,0005 \text{ (Niederschlag 10 Tage vor Ernte in mm)} + 0,004 \text{ (Minimumpentadendurchschnitt in } ^\circ\text{C)} + 0,003 \text{ (Rohfasergehalt in \% d. Trm.)}$$

B = 88%^{xxx} Standardfehler = ±0,015% i. d. Trm.

Mit Hilfe dieser Formel läßt sich der Mg-Gehalt unseres Weidefutters recht

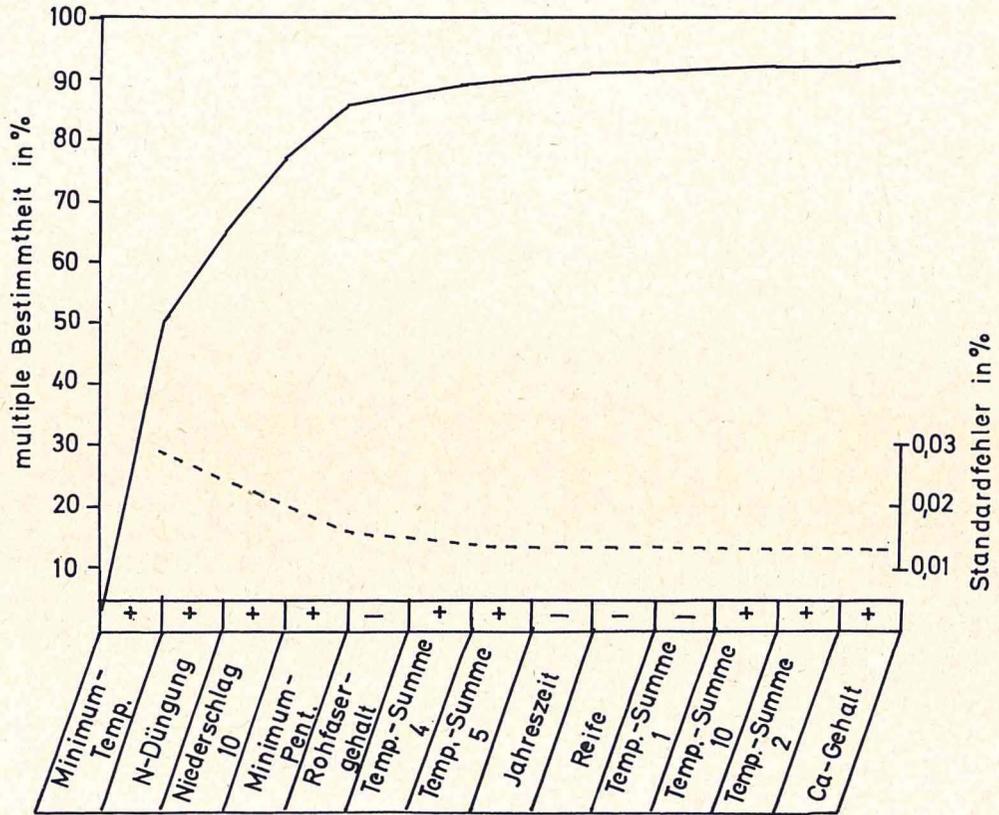
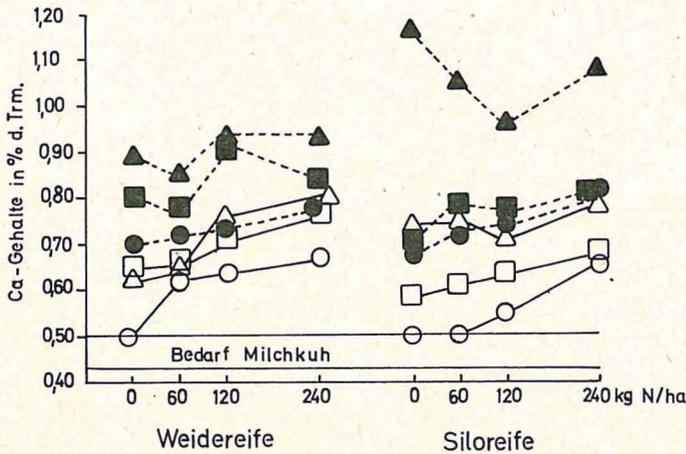


Abb. 25: Zunahme der multiplen Bestimmtheit durch die Variablen, die zur Erklärung der Varianz der Mg-Gehalte dienen



(Mai: ○ 1969, ● 1970; Juli: △ 1969, ▲ 1970; August: □ 1969, ■ 1970)

Abb. 26: Die Ca-Gehalte des Weidefutters 1969 und 1970 in Abhängigkeit von der N-Düngung, dem Reifestadium und der Jahreszeit

genau schätzen. Der Standardfehler ist mit 0,015% ziemlich gering, bei einer Schwankung des Mg-Gehaltes zwischen 0,17 und 0,34% (Mittel 0,23%). Durch die Aufnahme weiterer Einflußgrößen wird das Schätzergebnis nur noch unwesentlich verbessert. Für die Bedarfsdeckung reichliche Mg-Gehalte wurden immer erreicht, wenn die Minimumtemperatur und deren Pentadendurchschnitt vor der Ernte > ca. 5° C waren. Die Stickstoffdüngung wirkt sich eindeutig gehaltssteigernd aus. Auch unter dem Einfluß von zu niedriger Temperatur wurde die Mg-Aufnahme so gefördert, daß bei 120 bzw. 240 kg N/ha die Mg-Gehalte z. T. die Bedarfsnorm überschritten. Es ist jedoch zu berücksichtigen, daß nach DE GROOT und BROUWER (1967) die Mg-Verwertung im Tierkörper durch

steigende Rohprotein- und K-Gehalte im Futter beeinträchtigt wird. Weiter wirken sich höhere Niederschläge und zunehmendes physiologisches Alter günstig auf die Mg-Gehalte aus. Eine Mg-Düngung ist auf diesem Standort wohl nicht notwendig. Eine Einschränkung der K-Düngung wird hier schneller und billiger zum Erfolg führen, denn die Mg-Aufnahme hängt weitgehend vom K-Gehalt des Bodens ab (SCHACHTSCHABEL 1964, MENGEL 1968). Da die K-Gehalte des Bodens und der Pflanzensubstanz auch aus der Sicht der Pflanzenernährung reichlich sind (KNAUER 1966, SCHECHTNER 1967, SCHWERDT 1967, KIEPE 1972), wird ihre Absenkung ohne Ertragseinbuße möglich sein. Mathematisch-formal kann das Ergebnis der Regressionsanalyse als zufrie-

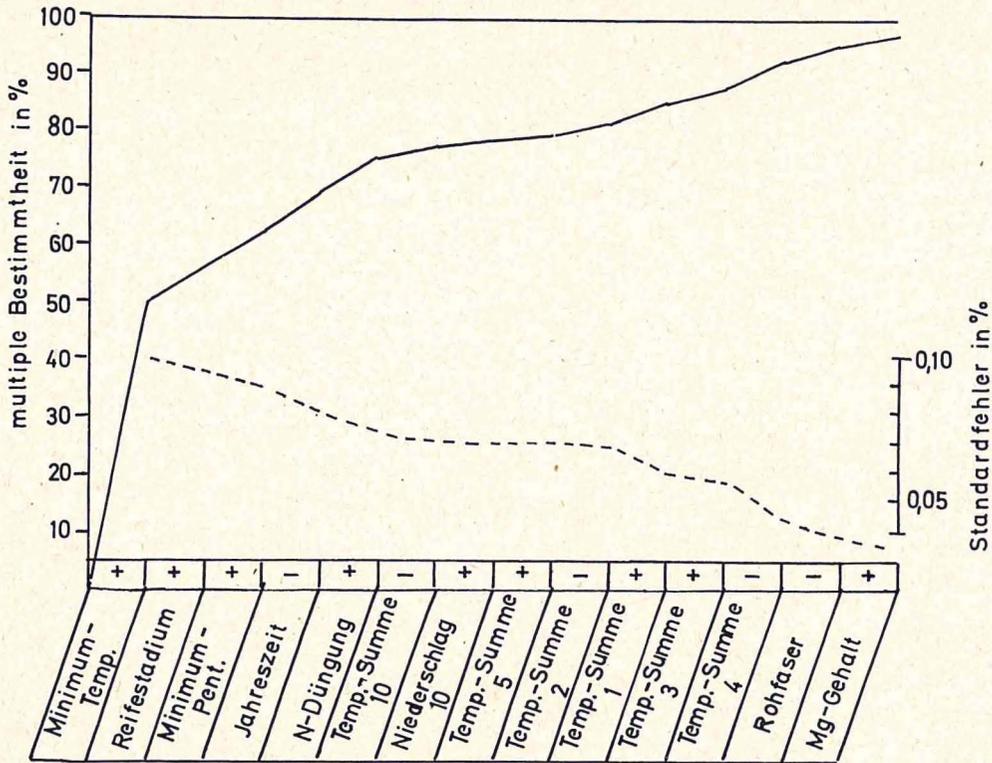


Abb. 27: Varianzerklärung der Ca-Gehalte

denstellend bezeichnet werden, mit jeder weiteren Aufnahme einer Variablen in die multiple Gleichung verringerte sich regelmäßig der Beitrag zur Varianzerklärung (siehe Abb. 25).

Bei der Schätzung der Ca-Gehalte ist das nicht so gut gelungen (siehe Abb. 27). Die Abnahme des Beitrages zum Bestimmtheitsmaß ist nicht so regelmäßig wie bei der Schätzung der Mg-Gehalte. Das Ergebnis der Regressionsanalyse der Ca-Gehalte ist deshalb kritischer zu beurteilen (REINER 1971/72).

Immerhin läßt sich sagen, daß ganz ähnlich wie beim Mg die Temperatur kurz vor der Ernte, das Alter der Pflanze und die N-Düngung sich positiv auf die Ca-Gehalte auswirken. Die Korrelation zwischen Ca und Mg wird unbedeutend. Gleiche Ursachen bewirken die Varianz der Gehalte der beiden Elemente.

Die Ca-Konzentration im weide- und siloreifen Weidefutter lag immer über dem Bedarf der Milchkuh. Die Pflanzenanalyse kann kaum etwas über die Versorgung der Pflanze mit Ca aussagen, da Ca in den älteren Blättern festgelegt wird. Es müßte der mobile Anteil erfaßt werden können (KNAUER 1968). Allerdings ist auf kalkreichem Niedermoor weder ein Mangel der Pflanze noch des Bodens zu erwarten. Der pH-Wert ist bereits so hoch, daß die Verfügbarkeit des Mn beeinträchtigt wird. Auf dem Versuchsgut Grünschwaige muß Hafer besonders in einem trockenen Frühjahr mit $MnSO_4$ gespritzt werden, um Ernteausfälle, die bis zum Totalverlust gehen können, zu vermeiden (VOIGTLÄNDER mündl.).

8. Temperatureinfluß und die Gehalte an Zn, Mg und Ca

Es überrascht, daß sich die Gehalte an Zn, Mg und Ca so kurzfristig verändern können. Die Temperatur der Nacht vor der Ernte ist sicher nicht der allein ausschlaggebende Faktor. Diese Einfluß-

größe ist in unserem Fall ein Parameter, der den Zusammenhang zwischen der Temperatur und den Gehalten am besten charakterisiert.

Aus dem Ergebnis der statistischen Verrechnung kann nicht eindeutig abgeleitet werden, worin die eigentliche Ursache liegt. Wie bereits beschrieben, kann durch steigende Temperatur der Transport von Ca, Zn und Mg aus den Wurzeln in die oberirdischen Pflanzenteile gefördert werden. Andererseits korreliert in diesem Versuch gerade der Trockenmasseertrag negativ mit den Temperaturen kurz vor der Ernte. Das bedeutet, daß eine Förderung des Transportes aus den Wurzeln in die oberirdischen Pflanzenteile verbunden ist mit einem geringeren Zuwachs an organischer Substanz und umgekehrt. So ist denkbar, daß sich Konzentrationsunterschiede ziemlich rasch bemerkbar machen können.

Nach SCHARRER u. MENGEL (1960) verlaufen Wachstum und Mg-Aufnahme nicht parallel. Die Mg-Konzentration resultiert daher aus der Mg-Aufnahme und der Wachstumsintensität. Durch die Divergenz zwischen Substanzproduktion und Mg-Aufnahme können selbst tägliche Schwankungen im Mg-Gehalt der oberirdischen Pflanzensubstanz auftreten (SCHARRER u. MENGEL 1960).

Ähnliches gilt möglicherweise auch für Zn und Ca. Ein klarer Nachweis dieser auf statistischem Wege gewonnenen Zusammenhänge wäre gegeben, wenn die Änderung des täglichen Zuwachses an Trockenmasse bekannt wäre.

F. Diskussion

In der Einleitung wurde gefordert, daß die Wirkung der Stickstoffdüngung auf die chemische Zusammensetzung des Futters im Zusammenwirken mit möglichst vielen weiteren Einflußgrößen beurteilt werden sollte. Mit Hilfe multivariater biometrischer Methoden war es

möglich, dieser Forderung nachzukommen. Die Faktorenanalyse ermöglichte eine gleichzeitige Auswertung aller Inhaltsstoffe in Verbindung mit den Angaben über N-Düngung, Erntezeitpunkt und Witterung. Die gemeinsame Betrachtung kommt der biologischen Wirklichkeit näher, weil die Wechselbeziehungen mit erfaßt werden (FERRARI 1967, SCHÄFER 1970, REINER 1971).

Bei statistischen Auswertungen ist zu beachten, daß selbst gültige korrelative Beziehungen nicht unbedingt kausale Zusammenhänge beinhalten müssen (WALLIS u. ROBERTS 1962). Die Entscheidung, ob eine korrelative Beziehung auch kausalen Charakter hat, wird durch die Faktorenanalyse erleichtert. Die allgemein anerkannten Zusammenhänge zwischen dem Alter der Weidepflanzen und den Trm.-Erträgen, Rohfaser- und Rohproteingehalten (KLAPP 1971, FARRIES 1965, MÜLLER u. a. 1971, WOLF 1971) konnten im Faktor „Reifestadium“ klar und auf einfache Weise dargestellt werden. Daraus läßt sich folgendes ableiten:

1. Durch die Faktorenanalyse lassen sich sachlogische Zusammenhänge darstellen. Ein umfangreiches Datenmaterial wird in eine überschaubare Form transformiert, die das Erkennen der charakteristischen Beziehungen erleichtert (SCHÄFER 1970, REINER 1971, ÜBERLA 1968).
2. Das verwendete Datenmaterial ist geeignet, richtige Informationen zu liefern, weil sich damit bereits gesicherte Erkenntnisse nachweisen lassen.

Ein Teil der auf statistischem Wege gefundenen Zusammenhänge konnte durch experimentelle Ergebnisse aus der Literatur unterstützt werden. War das nicht möglich, so wurde gezeigt, daß bestimmte Korrelationen auch in anderen Untersuchungen an Futterpflanzen immer wieder auftreten; so konnte z. B. die positive Korrelation zwischen den Zn- und Mn-Gehalten, die für Rotklee,

Luzerne, Wiesenschwingel und Goldhaferwiesen bekannt ist, auch auf unserer Weidelgras-Weißklee-Weide gefunden werden.

Empirisch gewonnene Erkenntnisse werden nicht genügen, den Wissensstand in der pflanzlichen Produktion zu sichern und voranzutreiben. Doch sind sie notwendig, um dem Pflanzenbauer Hinweise geben zu können, da die Erkenntnisse der Physiologie und der Biochemie noch unvollständig sind (PAHL 1968).

Eine kausale Ausdeutung der Zusammenhänge zwischen den Gehalten an Spurenelementen selbst und des Zusammenhanges mit der Temperatur wird erst dann möglich sein, wenn der biochemische Ablauf der Ionenaufnahme und des Ionentransportes besser bekannt ist. Deswegen auf empirisch gewonnene Erkenntnisse zu verzichten, bedeutet Verzicht auf viele wertvolle Ergebnisse für die praktische Landwirtschaft (FERRARI 1967).

Nun fordert SCHACHTSCHABEL (1954), daß gerade in Stickstoffsteigerungsversuchen auf eine gute Versorgung des Bodens mit den anderen Nährelementen geachtet werden muß, um nicht zu falschen Schlüssen zu kommen. Der Boden der Versuchsfläche zeigte keine gravierenden Mängel an einem Nährstoff. Eine Steigerung des pflanzlichen Ertrages durch Spurenelementdüngung ist nicht zu erwarten (HENKENS 1962, FINCK 1969). Die relativ gute Versorgung mit allen Nährelementen erklärt den geringen direkten Einfluß der Stickstoffdüngung auf die Gehalte an Spurenelementen, die positive Wirkung auf die K- und Mg-Gehalte. Eine indirekte Wirkung des Stickstoffes über die Veränderung des Pflanzenbestandes ist durch die Versuchsanlage ausgeschlossen worden. Für die Erreichung eines hohen Gehaltes des Weideaufwuchses an Mengen- und Spurenelementen sind entscheidend: pH-Wert und Redoxpotential (besonders für Mn: SCHACHTSCHABEL 1954),

Nährstoffangebot aus Boden und Düngung (LAATSCH 1954, HENKENS 1962, WHITEHEAD 1970), Pflanzenbestand (für Na: HASLER u. PULVER 1967, AIGNER u. a. 1971, SAALBACH u. a. 1971; für Cu und Mn: ANKE 1962, BORCHMANN 1962, KNABE 1964/66).

Ermöglichen die Nährstoffversorgung des Bodens und der Pflanzenbestand die Erzeugung eines Futters, das reich an Mengen- und Spurenelementen ist, dann wirkt die Steigerung der Stickstoffgaben nicht qualitätsvermindernd hinsichtlich der wertgebenden mineralischen Bestandteile. Diese Ansicht vertreten auch WHITEHEAD 1970, KLAPP 1971, HEMINGWAY 1962, KNABE 1967, KNABE u. a. 1964.

Für die Zuckergehalte war die Lufttemperatur kurz vor der Ernte entscheidender als die Stickstoffdüngung. Der Gehalt an Fructosan wird jedoch durch die N-Düngung verringert. Doch sollte diese Minderung nicht überschätzt werden, da die Fructosangehalte im Aufwuchs intensiv genutzter Weidebestände im allgemeinen schon gering sind (WAITE 1958, WAITE 1970). Besonders deutlich geht das aus den Fructosangehalten der Nullparzellen hervor. Die Bedeutung des Fructosangehaltes als Qualitätskriterium wird jedoch erst dann klarer beurteilt werden können, wenn mehr über die Abbauvorgänge des Fructosans beim Silierprozeß und im Pansen bekannt ist. Die Kettenlänge hat hier sicherlich einen entscheidenden Einfluß (SCHLUBACH 1957, KÜHBAUCH 1973).

Die Festlegung der Erntetermine erfolgte auf Grund der Schätzung des Trm.-Ertrages. Nicht in jedem Falle ist es gelungen, die geforderten Normen einzuhalten. Die Aussagekraft des Versuches könnte dadurch geschwächt sein. Doch kann die multivariate Auswertung diesen Nachteil zumindest zu einem guten Teil beheben, denn die Aussagen beschränken sich nicht allein auf die beiden sowieso nicht völlig exakt zu

treffenden und zu definierenden Reifestadien, sondern stehen immer im Zusammenhang mit den anderen Inhaltsstoffen und dem jeweils erreichten Ertrag. Zudem wurden in die Auswertung Einflußgrößen aufgenommen, die nicht beliebig variierbar sind, die aber im Falle des Kohlenhydratgehaltes wichtiger waren als die Wahl des Reifestadiums.

Als echter Mangel ist die Unterlassung der Bodenfeuchtebestimmung anzusehen, weil gerade die Bodenfeuchte entscheidend für die Verfügbarkeit der Spuren- und Mengenelemente ist. Die Messung der Niederschlagshöhe während des Wachstums kann nur eine unvollkommene Information liefern, da zumindest für den Frühjahrsaufwuchs die Feuchtigkeit aus den Winterniederschlägen außer acht gelassen wird. Gleiche Niederschlagshöhen werden sich außerdem in Abhängigkeit von der Verteilung verschieden auswirken.

Sicher hätte auch die Erfassung des Blatt-Stengelverhältnisses weitere interessante Informationen bringen können (WAITE u. BOYD 1953). So konnte nur auf Grund der positiven Korrelationen zwischen den überwiegend in den Blättern lokalisierten Elementen auf seine Bedeutung hingewiesen, sein Einfluß aber statistisch nicht nachgewiesen werden.

Sicherlich könnte die Reihe noch zu erfassender Meßdaten weiter fortgesetzt werden (z. B. Bodentemperatur usw.). Es ist aber zu überlegen, wieweit im einzelnen Fall der Aufwand an Zeit und Geld noch zu vertreten ist.

Mit Hilfe der Faktorenanalyse konnten qualitative Aussagen getroffen werden. Mit der multiplen Regressionsanalyse wurde versucht, die Zusammenhänge zu quantifizieren. Eine Quantifizierung ermöglicht eine gezieltere Aussage und eine bessere Anwendung der Ergebnisse (FERRARI 1967). Gelingt es, bestimmte Inhaltsstoffe unter Verwendung einfach zu bestimmender Variablen zu schätzen,

dann könnte mit weniger Analysenarbeit die Futterqualität bestimmt werden (REIHER u. RÖSTEL 1962, REINER 1971/72, BRAUN 1970).

Für den Gehalt an löslichen Kohlenhydraten, Cu, Mg und Ca konnten Schätzggleichungen gefunden werden, die sich aus wenigen relativ einfach zu bestimmenden Einflußgrößen zusammensetzen. Das Schätzergebnis einer Regressionsanalyse gilt zunächst nur für die Bedingungen des betreffenden Versuches (WALLIS u. ROBERTS 1962), so daß wir die Ergebnisse nicht verallgemeinern möchten. Um zu allgemein gültigen Ergebnissen zu kommen, bedarf es der gemeinsamen Auswertung mehrerer Versuche, die über einen möglichst großen Raum verstreut sind (SCHÄFER 1970).

Bei SCHÄFER (1970), BERNGRUBER (1971), RIEDER u. REINER (1972) finden sich bereits Ansätze für eine Auswertung eines umfangreicheren Datenmaterials mit der Faktorenanalyse, wobei auch die Aufnahme wichtiger botanischer Arten in die Verrechnung weitere interessante Interpretationsmöglichkeiten erschließt (RIEDER u. REINER 1972). Die Ergebnisse lassen sich jedoch nicht direkt vergleichen, da die Auswahl der unabhängigen und abhängigen Variablen nicht gleich ist. Ziel aller dieser Arbeiten kann es aber nur sein, die ermittelten Zusammenhänge nutzbar zu machen für die Beurteilung der Futterqualität zu einem bestimmten Erntezeitpunkt. Sollte es gelingen, die hier gefundenen Zusammenhänge auch über mehrere Jahre und für verschiedene Standorte nachzuweisen, dann hätte man ein einfaches Verfahren, das es ermöglicht, die Gehalte an löslichen Kohlenhydraten und an einzelnen Mengen- und Spurenelementen ohne Analyse zu beurteilen. Das hätte zur Folge, daß das Mähweidfutter in der praktischen Tierernährung noch planvoller und damit rationeller eingesetzt werden könnte.

G. Literaturverzeichnis

- Aigner, H. und Saalbach, E., 1971: Über den Einfluß der Natriumdüngung auf den Kationengehalt verschiedener Gras- und Kleearten. *Landw. Forsch.* 24, 159—165.
- Alberda, Th., 1957: The effects of cutting, light intensity and night temperature on growth and soluble carbohydrate content of *Lolium perenne* L. *Plant and Soil* 8, 199—230.
- , 1965: The influence of temperature, light intensity and nitrate concentration on dry-matter production and chemical composition of *Lolium perenne* L. *Nethl. J. Agric. Sci.* 13, 335—360.
- Amberger, A., 1967/1968: Pflanzenernährung. Vorlesung WS 1967/1968.
- , 1969/1970: Pflanzenqualität. Vorlesung WS 1969/1970.
- Anderson, B. K. und Jackson, N., 1970: Conservation of wilted and unwilted grass ensiled in air-tight metal containers with and without the addition of molasses. *J. Sci. Food Agr.* 21, 235—241.
- Anke, M., 1961: Der Spurenelementgehalt von Grünland- u. Ackerpflanzen verschiedener Böden in Thüringen. *Z. Acker- u. Pflanzenbau* 112, 113—140.
- , 1967: Der Mengen- und Spurenelementgehalt des Rinderhaares als Indikator der Ca, Mg, P, K, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Co-Versorgung. 5. Mitteilung: Die Mineralstoffversorgung der Milchkühe auf Verwitterungsböden verschiedener geologischer Herkunft, gemessen am Mineralstoffgehalt des schwarzen Rinderhaares und des Ackerrotklee. *Archiv Tierernährung* 17, 1—26.
- , 1962: Der Mineralstoffgehalt des Futters auf verschiedenen geologischen Formationen. Tagungsber. Dt. Akad. Landwirtschaftswiss. Berlin 56, 105—126.
- Archibald, J. G., 1961: Influence of weather on sugar content of forage crops. *J. Dairy Sci.* 44, 511—514.
- Armstrong, D. G., 1967: Roughages for ruminants — net energy value in relation to chemical composition. *J. Sci. Food Agr.* 18, 400—405.
- Bachmann, F., 1968: Magnesium im schweizerischen Grün- und Dürrfutter. *Schweiz. Landw. Forsch.* 7, 95—106.
- Baker, H. K., 1960: The production of early spring grass. I. The effect auf autumn management and different levels of nitro-

- genous manuring on the production of early spring grass from a general purpose ley. *J. Brit. Grassl. Soc.* 15, 275—280.
- Balks, R. und Reekers, I.*, 1960: Nitratbestimmung in Pflanzensubstanz mit 1,2,4-Xylenol. *Landw. Forsch.* 13, 134—136.
- Barshad, J.*, 1951: Factors affecting the molybdenum content of pasture plants: I. Nature of soil molybdenum, growth of plants, and soil pH. *Soil Sci.* 71, 297—313.
- Beck, Th.*, 1972: Mikroflora des Gärfutters. Vortrag an der TU München in Weihenstephan.
- Beeson, K. C. und MacDonald, H. A.*, 1951: Absorption of mineral elements by forage plants. III. The relation of stage of growth to the micronutrient element content of timothy and some legumes. *Agron. J.* 43, 589—593.
- Bergmann, W., Büchel, L., Ebelin, R. und Witter, B.*, 1962: Die Magnesium- und Mikronährstoffversorgung der Böden Thüringens. Tagungsber. Dt. Akad. Landwirtschaftswiss. Berlin 56, 35—54.
- Bergmeyer, H. U. und Berndt, E.*, 1962: Glucosebestimmung im Blut mit Glucoseoxydase und Peroxydase. In: Methoden der enzymatischen Analyse, 384—388, herausgegeben v. H. U. Bergmeyer, Weinheim, Verlag Chemie.
- Berngruber, K.*, 1971: Nähr- und Mineralstoffgehalte im Weidefutter und ihre Abhängigkeit von einigen Faktoren des Standortes und der Bewirtschaftung. Diplomarbeit-TU München.
- Blaser, R. E., Brown, R. H. und Bryant, H. T.*, 1966: The relationship between carbohydrate accumulation and growth of grasses under different microclimates. *Proc. 10th Int. Grassl. Congr., Helsinki*, 147—150.
- Bogdan, G.*, 1970: Über Ertrags- und Qualitätseigenschaften bei Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne* L.) und Rotklee (*Trifolium pratense* L.). *Z. Acker- und Pflanzenbau* 131, 286—301.
- Bommer, D.*, 1966: Influence of cutting frequency and nitrogen level on the carbohydrate reserves of three grass species. *Proc. 10th Int. Grassl. Congr., Helsinki*, 156—160.
- Borchmann, W.*, 1962: Der Mikronährstoffgehalt im Wiesenheu und seine Beeinflussung durch äußere Faktoren. Tagungsber. Dt. Akad. Landwirtschaftswiss. Berlin 56, 127—145.
- , 1966: Untersuchungen über den Einfluß der KP-Düngung auf den Mikronährstoffgehalt der Gramineen. Tagungsber. Dt. Akad. Landwirtschaftswiss. Berlin 85, 147—164.
- Braun, H.*, 1970: Die Erzeugung proteinreicher Aufmischweizen mit Hilfe ausgewählter Sorten und spezifischer Ernährungsbedingungen. *Z. Acker- u. Pflanzenbau* 132, 135—150.
- Brown, A. L., Krantz, B. A. und Martin, D. E.*, 1962: Plant uptake and fate of soilapplied zinc. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 26, 167—170.
- Brown, R. H. und Blaser, R. E.*, 1965: Relationships between reserve carbohydrate accumulation and growth rate in orchardgrass and tall fescue. *Crop Sci.* 5, 577—582.
- Brougham, R. W. und Glenday, A. C.*, 1969: Weather fluctuation and the daily rate of growth of pure stands of three grass species. *New Zealand J. Agr. Res.* 12, 125—136.
- Brüggemann, J., Bronsch, K., Drepper, K., Tiews, J. und Gross, F.*, 1960: Über Inhaltsstoffe verschiedener Arten des Dauergrünlandes und ihre Beeinflussung durch die Düngung. *Bay. Landw. Jb.* 37, 273.
- Brunnacker, K.*, 1959: Geologische Karte von Bayern, 1:25 000, Blatt Nr. 7636 Freising Süd mit Erläuterungen, München.
- , 1960: Bodenkarte von Bayern, 1:25 000, Blatt Nr. 7636 Freising Süd mit Erläuterungen, München.
- Buckner, R. C., Todd, J. R., Burrus, P. B. und Barnes, R. F.*, 1967: Chemical composition, palatability, and digestibility of ryegrass-tall fescue-hybrids, Kenwell, and Kentucky 31, tall fescue varieties. *Agron. J.* 59, 345—349.
- Burg, P. F. J. van.*, 1966: Nitrate as an indicator of the nitrogen nutrition status of grass. *Proc. 10th Int. Grassl. Congr., Helsinki*, 267—272.
- Centraal Veevoederbureau in Nederland*, 1965: Handleiding voor de Berekening van de Voederwaarde van Ruwvoeder-middelen, Mariendaal.
- Davidson, J. L. und Milthorpe, F. L.*, 1965: Carbohydrate reserves in the regrowth of cocksfoot. *J. Brit. Grassl. Soc.* 20, 15—18.
- Dhein, A. und Ahrens, E.*, 1962: Einfluß von Kulturmaßnahmen auf den Spurenelementgehalt des Wiesenheues. *Z. Acker- u. Pflanzenbau* 114, 387—412.

- Deinum, B.*, 1966: Influence of some climatological factors on the chemical composition and feeding value of herbage. Proc. 10th Int. Grassl. Congr., Helsinki, 415—418.
- , 1969: Climatic conditions and nutrient contents of forage crops. Ber. 3. Kongr. Europ. Grünlandvereinig. 15—20.
- Eagles, C. F.*, 1967: Variation in the soluble carbohydrate content of climatic races of *Dactylis glomerata* (cocksfoot) at different temperatures. Ann. Bot. 31, 645—651.
- Egner, H.* und *Riehm, H.*, zit. im Handbuch der landw. Versuchs- und Untersuchungsmethodik (Methodenbuch) Bd. I, Neumann Verlag, Radebeul, Berlin, 1955.
- Eimern, J. van*, 1960: Kleiner Leitfaden der Wetterkunde. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Epstein, E.*, 1971: Effect of soil temperature on mineral element composition and morphology of the potato plant. Agron. J. 63, 644—666.
- Farries, E.*, 1966: Zum Nährwert von Weidegras in unterschiedlichen Vegetationsstadien. Wirtschaftseig. Futter 12, 77—83.
- Ferrari, Th. J., Pijl, H.* und *Venekamp, J. T. N.*, 1957: Factor analysis in agricultural research. Neth. J. Agric. Sci. 5, 211—221.
- und *Mol, J.*, 1967: Factor analysis of causal models. Neth. J. Agric. Sci. 15, 38—49.
- Ferrari, Th. J.*, 1967: Versuchsauswertung nach dem Prinzip mehrdimensionaler Systeme, insbesondere bei der Bodenfruchtbarkeitsforschung. Tagungsber. Dt. Akad. Landwirtschaftswiss. Berlin 86, 85—96.
- Finck, A.*, 1969: Pflanzenernährung in Stichworten. Verlag Ferdinand Hirt, Kiel.
- Fleming, G. A.* und *Murphy, W. E.*, 1968: The uptake of some major and trace elements by grasses as affected by season and stage of maturity. J. Brit. Grassl. Soc. 23, 174—185.
- , 1965: Trace elements in plants with particular reference to pasture species. Outl. Agric. 4, 270—285.
- , 1968: Seasonal changes in herbage mineral content. Agri Digest 14, 28—32.
- , 1970: The influence of stage of maturity and season on trace element levels in perennial ryegrass. Agri Digest 19, 25—32.
- Gausseres, B.*, 1965: Etude des variations des teneurs en glucides cytoplasmiques et membranaires du dactyle au cours de l'année. Ann. Biol. Anim. Biochim. Biophys. 5, 361—381.
- Gericke, S.* und *Kurmies, B.*, 1952: Die kolorimetrische Phosphorsäurebestimmung mit Ammonium-Vanadat-Molybdat in der Modifikation von S. Gericke und B. Kurmies. Z. Pflanzenernähr., Bodenk. 59, 235.
- Green, G. D.* und *Beard, B. J.*, 1969: Seasonal relationship between nitrogen nutrition and soluble carbohydrates in the leaves of *Agrostis palustris* Huds., and *Poa pratensis* L. Crop Sci. 61, 107—111.
- Groot, Th. de* und *Brouwer, E.*, 1967: Betrouwbaarheid van de voorspelling van het serum-magnesium-gehalte met behulp van de methode Kemp-Rameau. Stikstof 5, 258—262.
- Gupta, U. C., Calder, F. W.* und *McLeod, L. B.*, 1971: Influence of added limestone and fertilizers upon the micro-nutrient content of forage tissue and soil. Plant and soil 35, 249—256.
- Handreck, K. A.* und *Riceman, D. S.*, 1968: Cobalt distribution in several pasture species grown in culture solutions. Aust. J. Agric. Res. 20, 213—226.
- Hart, M. L.*, 1967: Über den Einfluß von Klima, Düngung, Alter und genetischer Herkunft auf die chemische Zusammensetzung von Gras. Z. Acker- u. Pflanzenbau 125, 47—56.
- Hasler, A.* und *Zuber, R.*, 1955: Beitrag zur Kenntnis des Kobaltgehaltes im schweizerischen Wiesenfutter. Schweiz. Landw. Monatshefte 33, 192—202.
- und *Pulver, H.*, 1957: Zur Kenntnis des Mangangehaltes im Wiesenfutter. Landw. Jb. d. Schweiz 71, 457—472.
- Hasler, A.*, 1962: Zur Kenntnis des Natriumgehaltes von Rauhfutter und einigen Futterpflanzen. Schweiz. Landw. Forsch. 1, 60—73.
- Hehl, G.*, 1971: Der Einfluß der Ernährung und des physiologischen Alters auf den Kohlenhydratgehalt sowie die einzelnen Kohlenhydratfraktionen bei einigen Gramineen und Leguminosen. Dissertation-Universität Gießen.
- Heiland, H. W.*, 1968: Die Faktorenanalyse. Ber. Landw. 46, 47—78.
- Hemingway, R. G.*, 1961: Magnesium, potassium, sodium and calcium contents of herbage as influenced by fertilizer treatments over a three-year period. J. Brit. Grassl. Soc. 16, 106—116.
- , 1962: Copper, molybdenum, manganese and iron contents of herbage as influenced by fertilizer treatments over a three-year period. J. Brit. Grassl. Soc. 23, 182—187.

- Henkens, Ch. H.*, 1962: Bedeutung des Kupfers für Ackerbau und Grünland. *Landw. Forsch.* 15, 56—65.
- , 1965: Richtlinien für die Düngung mit Spurenelementen in Holland. *Landw. Forsch.* 18, 108.
- Hiepko, G.*, 1959: Untersuchungen zum Reservestoffwechsel mehrjährig und jährlich mehrfach genutzter Futterpflanzen. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 108, 339—364.
- Jensen, E. H. und Lesperance, A. L.*, 1971: Molybdenum accumulation by forage plants. *Agron. J.* 63, 201—204.
- Jones, D. J. H., Griffith, G. und Walters, R. J. K.*, 1965: The effect of nitrogen fertilizers on the watersoluble carbohydrate content of grasses. *J. Agric. Sci.* 64, 323 bis 328.
- Kiepe, H.*, 1972: Das Nährstoffangebot des Weidebodens im Verlauf des Jahres. *DLP* 10, 9.
- Kirchgeßner, M.*, 1957a: Der Einfluß der botanischen Zusammensetzung, Erntezeit und -art auf den Mengen- und Spurenelementgehalt des Wiesenheues. *Z. Tierernährung und Futtermittelkde.* 12, 304 bis 314.
- , 1957b: Der Einfluß verschiedener Wachstumsstadien auf den Makro- und Mikronährstoffgehalt von Wiesen gras. *Landw. Forsch.* 10, 45—50.
- , 1963: Mineral- und Wirkstoffe in der Nutztierhaltung. *Wirtschaftseig. Futter* 9, 230—241.
- , *Merz, G. und Oelschläger, W.*, 1960: Der Einfluß des Vegetationsstadiums auf den Mengen- und Spurenelementgehalt dreier Grasarten. *Archiv für Tierernährung* 10, 414—427.
- , 1970: Tierernährung. DLG-Verlag, Frankfurt (Main).
- , *Voigtländer, G., Maier, D. A. und Pahl, E.*, 1968: Zum Einfluß des Vegetationsstadiums auf den Spurenelementgehalt von Rotklee (*Trifolium pratense* L.) und Luzerne (*Medicago varia* Mart.). *Wirtschaftseig. Futter* 14, 112—122.
- , *Kaiser, E., Plank, P. und Maier, D.*, 1968: Zur Manganversorgung des Rindes über das wirtschaftseigene Futter. *Bay. Landw. Jb.* 45, 301—304.
- , *Müller, H. L. und Voigtländer, G.*, 1971: Spurenelementgehalte (Fe, Mn, Cu, Zn, Co, Mo) des Weidegrases in Abhängigkeit von Wachstumsdauer und Vegetationsperiode. *Wirtschaftseig. Futter* 17, 179 bis 189.
- Kjeldahl, J.*, 1883: zit. n. Handbuch der landw. Versuchs- und Untersuchungsmethodik (Methodenbuch) Bd. III, S. 18. Neumann Verlag, Radebeul, Berlin, 1951.
- Klapp, E.*, 1969: Einfluß der Basenversorgung auf die Mineralstoffgehalte der Grünlandpflanzen. *Landw. Forsch. Sonderh.* 23, 157—163.
- , 1971: Wiesen und Weiden. 4. Aufl. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- , 1942: Entwicklung, Wurzelbildung und Stoffspeicherung von Futterpflanzen. *Pflanzenbau* 18, 347—352, 367—387.
- , und *Schulze, E.*, 1957: Versuche über Stoffbildung und Stoffspeicherung bei mehrjährigen und mehrschnittigen Futterpflanzen (2.—4. Mitt.). *Z. Acker- u. Pflanzenbau* 103, 361—379, 104, 1—24, 113 bis 136.
- , — und *Hiepko, G.*, 1957: Versuche über Stoffbildung und Stoffspeicherung bei mehrjährigen und mehrschnittigen Futterpflanzen (5. Mitt. — Schlußbetrachtung). *Z. Acker- u. Pflanzenbau* 104, 409 bis 422.
- Knabe, O., Knabe, B. und Kreil, W.*, 1964: Einfluß der N-Düngung auf den Kupfergehalt im Weidegras. *Z. Landeskult.* 5, 245—258.
- , 1966: Ertrag und Cu-Gehalt verschiedener Gräser in Abhängigkeit vom Cu-Versorgungsgrad der Niedermoorböden. *Tagungsber. Dt. Akad. Landwirtschaftswiss.* Berlin 85, 193—199.
- , 1967: Einfluß der N-Düngung auf den Mg-, Cu- und Mn-Gehalt im Weidelgras. *Z. Landeskult.* 8, 99—106.
- Knauer, N.*, 1963: Über die Brauchbarkeit der Pflanzenanalyse als Maßstab für die Nährstoffversorgung und das Düngebedürfnis von Grünland. *Schriftenreihe d. Landw. Fak. Univ. Kiel*, 33.
- , 1966: The use of plant analysis for determining the P and K needs of grasslands. *Proc. 10th Int. Grassl. Congr., Helsinki*, 171—174.
- , 1968: Grundlagen der Grünlanddüngung. *Schriftenreihe d. Landw. Fak. Univ. Kiel* 42, 39—76.
- Könekamp, A. H.*, 1971: Repetitorium über Weidewirtschaft. *Wirtschaftseig. Futter* 14, 112—122.
- Kühbauch, W.*, 1973: Veränderungen von Kohlenhydratfraktionen in Blättern und Stengeln einiger Knaulgrassorten während des Wachstums. *Landw. Forsch.* 26, 213—220.

- Kursanov, A. I.*, 1958: The root system as an organ of metabolism. *Radiois. i. scientific Res.* 4, 494.
- Laatsch, W.*, 1954: Die Schwermetallernährung der Weidepflanzen in Schleswig-Holstein. *Schriftenreihe d. Landw. Fak. Univ. Kiel* 10, 58—74.
- Laidlaw, R. A. und Reid, S. G.*, 1952: Analytical studies on the carbohydrates of grasses and clovers. I. Development of methods for estimation of the free sugar and fructosan contents. *J. Sci. Food Agric.* 3, 19—25.
- Lampeter, W. und Arnold, H.*, 1967: Schmackhaftigkeit des Weidefutters in Abhängigkeit von der botanischen Zusammensetzung der Narbe und der Düngung. *Tierzucht* 21, 37—42.
- und *Rötschke, W.*, 1970: Untersuchungen über den Trockenmassezuwachs auf einer Mittelgebirgsweide in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung und der Witterung sowie die Veränderungen 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. Landeskult.* 11, 433—457.
- Landis, J.*, 1968: Die Vorgänge im Silo und ihre Beeinflussung durch siliertechnische Maßnahmen. *Grüne* 96, 549—552.
- Lang, V., Kirchgessner, M. und Voigtländer, G.*, 1972: Spurenelementgehalte des Wiesenschwingsels (*Festuca pratensis* Huds.) in Abhängigkeit von Wuchshöhe, Entwicklung und Witterung. *Z. Acker- und Pflanzenbau* 135, 216—225.
- Lepper, W.*, 1933: zit. n. *Handbuch der landw. Versuchs- und Untersuchungsmethodik (Methodenbuch)* Bd. III, S. 24, Neumann Verlag, Radebeul, Berlin, 1951.
- Long, M. I. E. und Fredriksen, S.*, 1970: The relation between extractable soil cobalt and the cobalt content of some grasses from the lake shore areas of Uganda. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 126, 238—244.
- Linsler, H. und Titze-Bettner, L.*, 1971: P₂O₅-Aufnahme und System-(Protein-)Syntheseleistung. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 128, 235—242.
- Marambio, J.*, 1971: Der Einfluß gesteigerter Stickstoffgaben auf die Nähr- und Mineralstoffgehalte von Mähweidefuttern. *Diss. TU München.*
- May, H. L.*, 1960: The utilization of carbohydrate reserves in pasture plants after defoliation. *Herb. Abstracts* 30, 239 bis 245.
- Mayr, E.*, 1969: Der Aussagewert von einfachen Korrelationen und Teilkorrelationen zwischen meteorologischen Meßwerten und dem Ertrag sowie der Vegetationsdauer, untersucht an Sommergerste und Sommerweizen. *Z. Acker- u. Pflanzenbau* 129, 112—120.
- McKell, C. M., Youngner, V. B., Nudge, F. J. und Chatterton, N. J.*, 1969: Carbohydrate accumulation of Coastal bermudagrass and Kentucky bluegrass in relation to temperature regimes. *Crop Sci.* 9, 534 bis 537.
- McIlroy, R. J.*, 1967: Carbohydrates of grassland herbage. *Herb. Abstr.* 37, 79—87.
- McMillan, K. und Hamilton, H. A.*, 1971: Carrot response to soil temperature and copper, manganese, zinc and magnesium. *Can. J. Soil Sci.* 51, 293—297.
- McNaught, K. J., Dorofaeff, F. D. und Karlovsky, J.*, 1968: Effect of magnesium fertilizers and season on levels of inorganic nutrients in a pasture on Hamilton clay loam. I. Magnesium and calcium. *New Zealand J. Agr. Res.* 11, 533—550.
- , —, 1968: Effect of magnesium fertilizers and season on levels of inorganic nutrients in a pasture on Hamilton clay loam. II. Nitrogen, phosphorus, sulphur, potassium, sodium, and trace elements. *New Zealand J. Agr. Res.* 11, 551—559.
- Mengel, K.*, 1968: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. 3. Aufl. Verlag Gustav Fischer, Stuttgart.
- Mitchell, R. L., Reith, J. W. S. und Johnston, Isabel M.*, 1957: Trace element uptake in relation to soil content. *J. Sci. Food Agr.* 8, 51.
- Mitteilung Lufa*, 1965: 1, S. 20.
- Mitteilung Lufa*, 1965: 4, S. 101.
- Mitteilung Lufa*, 1967: 4, S. 63.
- Müller, H. L., Voigtländer, G. und Kirchgessner, M.*, 1971: Veränderungen des Gehaltes an Mengenelementen (Ca, Mg, P, Na, K) von Weidegras in Abhängigkeit von Wachstumsdauer und Vegetationsperiode. *Wirtschaftseig. Futter* 17, 165 bis 178.
- Mudra, A.*, 1958: Statistische Methoden für landwirtschaftliche Versuche. Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg.
- Nelson, C. J. und Smith, D.*, 1969: Growth of birdsfoot trefoil and alfalfa. IV. Carbohydrate reserve levels and growth

- analysis under two temperature regimes. *Crop Sci.* 9, 589—591.
- Nielsen, K. F. und Cunningham, R. K., 1964: The effects of soil temperature and form and level of nitrogen on growth and chemical composition of Italian ryegrass. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 28, 213—218.
- Nowakowski, T. T., 1962: Effects of nitrogen fertilizer on total nitrogen, soluble nitrogen and soluble carbohydrate contents of grass. *J. Agric. Sci.* 59, 387—392.
- Ojima, K. und Isawa, T., 1968: The variation of carbohydrate in various species of grasses and legumes. *Canad. J. Bot.* 46, 1507—1511.
- Oehring, M., 1967: Über die Siliereignung einiger Grasarten. *Z. Acker- u. Pflanzenbau* 125, 145—157.
- , 1968: Die Siliereignung von Gräsern des Feldfutterbaues. *Wirtschaftseig. Futter* 14, 206—217.
- Pahl, E., 1968: Jahreszeitliche Schwankungen der Futterproduktion auf einigen Weiden und ihre Abhängigkeit von der Evapotranspiration und von Witterungsfaktoren. *Diss. TH München.*
- , Voigtländer, G. und Kirchgessner, M., 1970: Untersuchungen über den Spurenelementgehalt (Fe, Mn, Cu, Zn, Co, Mo) des Weidefutters einer mehrfach genutzten Weidelgras-Weißklee-weide während zweier Vegetationsperioden. *Z. Acker- u. Pflanzenbau* 131, 70—83.
- Papendick, K., 1973: Zur Ausnutzung des Grünfutters aus der Sicht der Tierernährung. *Landw. Forsch.* 26, 47—55.
- Plate, D., 1965: Der Gehalt an Inhaltsstoffen einiger Grünlandpflanzen in Abhängigkeit vom Standort und Vegetationszeitpunkt. *Diss. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.*
- Podkowa, W., 1969: Bewertung und Klassifizierung von Futterpflanzen im Hinblick auf die Gärfähigkeit. *Ber. 3. Kongr. Europ. Grünlandvereinig.* 41—52.
- Reiher, W. und Röstel, H. J., 1962: Die Anwendung der Faktoranalyse in der Pflanzenzüchtung. *Z. Pflanzenzüchtung* 48, 14 bis 28.
- Reiner, L., 1971: Die Faktorenanalyse in der brautechnologischen Forschung. *Brauwissenschaft* 24, 403—412.
- , 1971/72: Biometrie in der Pflanzenproduktion, dargestellt an programmierten Beispielen. *Seminar — Techn. Univ. München — Weihenstephan.*
- und Hanus, H., 1967: Die Auswertung von Untersuchungsdaten mit Hilfe programmgesteuerter Rechenanlagen. I. Mitteilung. *Brauwissenschaft* 20, 439—443.
- , — und Piendl, A., 1967: Die Auswertung von Untersuchungsdaten mit Hilfe programmgesteuerter Rechenanlagen. II. Mitteilung. *Brauwissenschaft* 20, 479 bis 485.
- Reith, J. W. S., Inkson, R. H. E., Holmes, W., Maclusky, D. A., Reid, D., Heddle, R. G. und Copeman, G. J. F., 1964: The effect of fertilizers on herbage production. II. The effect of nitrogen, phosphorus and potassium on botanical and chemical composition. *J. Agric. Sci.* 63, 205—219.
- Renner, E., 1970: *Mathematisch-statistische Methoden in der praktischen Anwendung.* Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- Rieder, J. B. und Reiner, L., 1972: Hohe Nährstoffgaben zu voralpinen Grünlandflächen in Verbindung mit Vielschnittnutzung und Heißlufttrocknung. *Bay. Landw. Jb.* 49, 425—453.
- Riehm, H. und Scholl, W., 1957: Neuere Untersuchungen über die Kobaltmangelerscheinungen im Schwarzwald. *Landw. Forsch.* 10, 123—129.
- Resnik, M. C., Lunt, O. R. und Wallace, A., 1969: Transport von Cs, K, Sr und Ca in zwei verschiedenen Pflanzenarten. *Soil Sci.* 108, 64—73.
- Römpp, H., 1954: *Spurenelemente.* Kosmos-Verlag, Stuttgart.
- Romney, E. M. und Toth, S. J., 1954: Plant and soil studies with radioactive manganese. *Soil Sci.* 77, 107—117.
- Saalbach, E., Stählin, A. und Würtele, K. H., 1971: Über den Mineralstoffgehalt von Zuchtgräsern. I. Der Einfluß einer Natriumdüngung auf den Natriumgehalt. *Z. Acker- u. Pflanzenbau* 134, 227—238.
- Saunders, W. M. H. und Metson, A. J., 1971: Seasonal variation of phosphorus in soil and pasture. *New Zealand J. Agr. Res.* 14, 307—328.
- Schaaf, D. van der, 1967: Suikergehalten in gras van de eerste snede. *Landbouwk. T.* 79, 286—291.
- Schachtschabel, P., 1954: Das pflanzenverfügbare Magnesium des Bodens und seine Bestimmung. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 67, 9—23.
- , 1956: Die Bestimmung des Manganversorgungsgrades von Böden und seine Beziehung zum Auftreten der Dörrflecken-

- krankheit bei Hafer. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 78, 147—167.
- Schäfer, P., 1970: Zusammenhänge zwischen einigen Bodenmerkmalen, mineralischer Düngung, Flora und Mineralstoffgehalten des Futters sowie der Ertragsbildung auf Naturheuwiesen und Alpweiden. Schweiz. Landw. Forsch. 9, 391—421.
- und Hanus, H., 1970: Zur Quantifizierung von Einflüssen der Mineraldüngung sowie einiger Bodeneigenschaften auf die Ertragsbildung bei Weizen. Landw. Forsch. 23, 227—257.
- Schaller, K., 1971: Wertgebende Inhaltsstoffe verschiedener Kartoffelsorten im Hinblick auf ihre technologische Weiterverarbeitung zu Edelerzeugnissen. Diss. TU München.
- Scharrer, K. und Taubel, N., 1954: Über den Einfluß der Düngung auf den Co-Gehalt verschiedener Futterpflanzen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 67, 248—261.
- und Mengel, K., 1960: Über das vorübergehende Auftreten sichtbaren Magnesiummangels bei Hafer. Agrochimica 4, 3—24.
- Schechtner, G., 1967: Der Mineralstoffgehalt des Grünlandfutters in Abhängigkeit von Düngung und Nutzung. Förderungsdienst 15, 1—12.
- Scheffer, F. und Schachtschabel, P., 1970: Lehrbuch der Bodenkunde. 7. Aufl. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Schiller, H., Lengauer, E., Gusenleitner, J. und Hofer, B., 1966: Botanische Zusammensetzung und Nährstoffgehalt des Wiesenfutters. Tagungsber. Dt. Akad. Landwirtschaftswiss. Berlin 85, 131—145.
- Schlichting, E., 1962: Mikronährstoffe in den Böden Deutschlands. Landw. Forsch. 15, 41—55.
- Schlubach, H. H., 1957: Der Kohlenhydratstoffwechsel der Gräser. Angew. Chem. 69, 433—438.
- Schoch, W. und Roulet, M., 1962: Über die Bedeutung der Kohlenhydrate bei der Bereitung von Silage aus Grünfütter. Schweiz. Landw. Forsch. 1, 143—182.
- Scholl, W., 1962: Chemische Bestimmung von Molybdän in Böden, Pflanzen und Gesteinen mit Toluol — 3,4 — Dithiol. Landw. Forsch. 15, SH. 16, 138—146.
- Schulze, B., 1911: zit. n. Handbuch der landw. Versuchs- und Untersuchungsmethodik (Methodenbuch) Bd. III, S. 16, Neumann Verlag, Radebeul, Berlin, 1951.
- Schwerdt, K., 1967: Die anteilige Wirkung des Nährstoffes Kali bei der Kali-Phosphatdüngung der Wiese. Kali-Briefe 8, Fachgeb. 4. 9. Folge, 1—8.
- Seiden, R., 1926: zit. n. Handbuch der landw. Versuchs- und Untersuchungsmethodik (Methodenbuch) Bd. III, S. 25, Neumann Verlag, Radebeul, Berlin, 1951.
- Shaw, E., Menzel, R. G. und Dean, L. A., 1954: Plant uptake of Zinc 65 from soils and fertilizers in the green house. Soil Sci. 77, 205—214.
- Skirde, W., 1968: Nutzungsbeendigung im Herbst und Wachstum im Frühjahr. Wirtschaftseig. Futter 14, 236—246.
- Smilde, K. W. und Luit, B. van, 1967: Invloed van enige bodem- en bemestingsfactoren op het mangaangehalte van weidegras. Verslagen Landbouwk. Onderzoek., 1—39.
- Smith, D., 1969: Influence of temperature on the yield and chemical composition of „Vernal“ alfalfa at first flower. Agron. J. 61, 470—472.
- Springer, W. und Klee, J., 1958: Die gleichzeitige Bestimmung von Kohlenstoff und Stickstoff beim Schnellverfahren nach Springer und Klee. Z. Pflanzenernähr. 82, 121—138.
- Stantchew, L., 1966: Über die Mikronährstoffversorgung der Gebirgswiesen und -weiden Bulgariens. Tagungsber. Dt. Akad. Landwirtschaftswiss. Berlin 85, 157—171.
- Steger, H. und Püschel, F., 1956: Über den Nährstoff-, Mineralstoff- und Spurenelementgehalt von Mineralboden-, Hochmoor- und Niedermoor-Heu. Tierzucht 10, 348—352.
- Stewart, A. B. und Holmes, W., 1953: Manuring of grassland. I. Some effects of heavy dressings of nitrogen on the mineral composition of grassland herbage. J. Sci. Food Agric. 4, 401—408.
- Trobisch, S., 1962: Die Molybdänversorgung der Thüringer Böden. Tagungsber. Dt. Akad. Landwirtschaftswiss. Berlin 56, 55 bis 64.
- Überla, K., 1968: Faktorenanalyse, eine systematische Einführung für Psychologen, Mediziner, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler. Springer-Verlag, Berlin—Heidelberg—New York.
- Urf, W. und Ort, W., 1968: Zur Theorie der Faktoranalyse und ihrer Anwendung in der agrarökonomischen Forschung. Ber. Landw. 46, 15—46.

- Voigtländer, G., 1969: Die Futterproduktion im Hinblick auf die Konservierung. Ber. 3. Kongr. Europ. Grünlandvereinig., 5—14.
- , 1971a: Futterwerbung und Futterkonservierung. In: Klapp E. Wiesen und Weiden. 4. Aufl. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- , 1971b: Der Stickstoff in der Grünlanddüngung. In: Chemie und Landwirtschaftliche Produktion. Herausgegeben von Landw.-Chem. Bundesanstalt Wien.
- , 1971c: Situation und Zukunft der Grünlandwirtschaft. DLG-Verlag, Frankfurt (Main). Sonderdruck aus Archiv der DLG, Band 47.
- , Lang, V. und Kirchgeßner, M., 1972: Spurenelementgehalte der Luzerne (*Medicago varia* Mart.) in Abhängigkeit von Wachstum, Entwicklung und Witterung in drei Versuchsjahren. Z. Acker- u. Pflanzenbau 135, 204—215.
- Waite, R. und Boyd, J., 1953: The water-soluble carbohydrates of grasses. I. Changes occurring during the normal life cycle. J. Sci. Food Agr. 4, 197—204.
- , —, 1953: The water-soluble carbohydrates of grasses. II. Grasses cut at grazing height several times during the growing season. J. Sci. Food Agr. 4, 258—261.
- , 1957: The water-soluble carbohydrates of grasses. III. First and second year growth. J. Sci. Food Agr. 8, 422—428.
- , 1958: The water-soluble carbohydrates of grasses. IV. The effect of different levels of fertilizer treatment. J. Sci. Food Agr. 9, 39—43.
- , 1970: The structural carbohydrates and the in vitro digestibility of a ryegrass and a cocksfoot at two levels of nitrogenous fertilizer. J. Agr. Sci. 74, 457—462.
- Walker, T. W., Edwards, G. H. A., Cavell, A. J. und Rose, T. H., 1953: The use of fertilizers on herbage cut for conservation. II. Effects of the mineral composition of herbage cut for silage and correlations of response to phosphate and potash with soil and crop analyses. J. Brit. Grassl. Soc. 7, 135—150.
- Wallace, A., Romney, E. M., Hale, V. Q. und Hoover, R. M., 1969: Effects of soil temperature and zinc application on yields and micronutrient content of four crop species grown together in a glasshouse. Agron. J. 61, 567—568.
- Wallis, W. A. und Roberts, R. V., 1962: Methoden der Statistik, 2. Aufl. Verlag Rudolf Haufe, Freiburg i. Br.
- Watschke, T. L., Schmidt, R. E. und Blaser, R. E., 1970: Responses of some Kentucky Bluegrasses to high temperature and nitrogen fertility. Crop Sci. 10, 372—376.
- Weber, E., 1967: Grundriß der Biologischen Statistik. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Weinmann, H., 1961: Total available carbohydrates in grasses and legumes. Herb. Abstrac. 31, 255—261.
- Wermke, M., 1968: Der Einfluß pflanzenbaulicher und siliertechnischer Maßnahmen auf Ertrag, Rohnährstoffgehalt, Gärverlauf und Verluste bei Grünhafer. Wirtschaftseig. Futter 14, 278—293.
- Westerhoff, H., 1955: Beitrag zur Kupferbestimmung im Boden. Landw. Forsch. 7, 190—193.
- Whitehead, D. C., 1970: The role of nitrogen in grassland productivity. Commonwealth Bureau of Pastures and Field crops, Bulletin 48.
- Wieringa, G. W., 1960: Some factors affecting silage fermentation. Proc. VIII. Intern. Grassland Congr., Reading, 497 bis 502.
- Witt, N., 1967: Undersogelser over graesmarksplanternes sukkerindhold. Tidsskr. Planteavl 70, 498—504.
- , 1970: Grasmaksplanternes inhold of vandoplseelige Kulhydrater ved forskellig slat og udviklingstrin. Tidsskr. Planteavl 74, 378—384.
- Wöhlbier, W., 1962: Der Bedarf der Tiere an Spurenelementen. Landw. Forsch. 15, 18—26.
- und Kirchgeßner, M., 1957: Der Gehalt von einzelnen Gräsern, Leguminosen und Kräutern an Mengen- u. Spurenelementen. Landw. Forsch. 10, 240—251.
- Wolf, H., 1971: Beeinflussung des Natrium- und Magnesium-Gehaltes im Weidegras. Wirtschaftseig. Futter 17, 190—197.
- , 1972: Untersuchungen über den Rohprotein- und Mineralstoffgehalt von Weidefutter in verschiedenen Wachstumsstadien. Landw. Forsch. 25, 24—32.
- Wünsch, A., 1964: Zur Kenntnis der Saccharase und der Hauptzucker der Kartoffel. Diss. TH München.
- und Teicher, K., 1962: Über die Bestimmung von Mg in Pflanzensubstanzen

- durch Absorptions-Flammenspektroskopie. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 97, 101 bis 106.
- Zhurbitzky, Z. J. und Shtrausberg, D. V.*, 1958: The effect of temperature on the mineral nutrition of plants. Radiois. i. scientific Res. Vol. 4, 270—285.
- Zimmer, E.*, 1962: Gärfutterbereitung im Futterbaubetrieb. Landbauforsch. Völknerode 12, 80—81, 87—92.
- , 1966: In Könekamp, A., 1966: Silowirtschaft. BLV München, Basel, Wien, 91 bis 140.
- , 1971: Futterkonservierung als pflanzenbauliches und biotechnisches Problem. Z. Acker- u. Pflanzenbau 133, 85—97.