

Über die Bedeutung der Cellulose im Haushalte des Menschen.

I. Mitteilung.

Von

Dr. Hans Lohrisch, II. Arzt.

(Aus der I. inneren Abteilung des Stadtkrankenhauses Friedrichstadt zu Dresden
Oberarzt Prof. Dr. Ad. Schmidt.)

(Der Redaktion zugegangen am 31. Januar 1906.)

Die Cellulose bildet einen Teil der Zellwand der pflanzlichen Gebilde. In der Wand der jungen Zelle ist die Cellulose in reiner Form enthalten. Sie erleidet aber je nach der physiologischen Leistung und mit zunehmendem Alter der einzelnen Zelle in ihrer chemischen Zusammensetzung und physikalischen Struktur Modifikationen in dem Sinne, daß außer anorganischen Salzen (SiO_2) und Proteinsubstanzen sich noch andersartige organische Substanzen in die Cellulose einlagern. Diese sind hauptsächlich das Lignin (Holzstoff), welches den eigentlichen Pflanzenzellstoff, die Cellulose, inkrustiert, d. h. in inniger Weise durchdringt und nach F. Schulze¹⁾ etwa in derselben Menge wie Cellulose in den Pflanzen vorhanden ist; ferner Korkstoffe und Kutikularsubstanzen (Bestandteile der pflanzlichen Epidermis). Dieses Gemenge reiner Cellulose mit den genannten Substanzen wird nach dem Vorschlage von Henneberg und Stohmann²⁾ Rohfaser genannt. Wir verstehen mit Henneberg und Stohmann²⁾, denen wir die ersten einwandfreien Untersuchungen über die chemische Zusammensetzung der Rohfaser der Futtermittel und des Kotes verdanken, unter Rohfaser alles das, was nach Behandlung von Pflanzenteilen mit Wasser, verdünnten Säuren und Alkalien, Alkohol und Äther ungelöst zurückbleibt.

Die bei den Herbivoren im Kot wieder ausgeschiedene Rohfaser besteht nach Henneberg und Stohmann²⁾ aus den

der Verdauung entgangenen Überresten der gleichnamigen Futterbestandteile und enthält keine aus dem Stoffwechsel herrührenden Substanzen. Die Kotrohlfaser ist demnach niemals ein und derselbe Körper, sondern ist analog der mannigfachen chemischen Zusammensetzung der verschiedenen Futterrohlfaserarten chemisch außerordentlich wechselnd zusammengesetzt. So fanden Henneberg und Stohmann²⁾ für verschiedene Arten von Futter- und Kotrohlfaser in wasser- und aschefreiem Zustande folgende prozentische Zusammensetzung:

| Rohfaser aus | Kohlenstoff | Wasserstoff | Sauerstoff |
|-----------------------------|-------------|-------------|------------|
| Weizenstroh | 45,4 | 6,3 | 48,3 |
| Kot von Weizenstroh | 48,1 | 6,8 | 45,1 |
| Wiesenheu | 46,5 | 6,8 | 46,7 |
| Kot von Wiesenheu | 50,7 | 7,1 | 42,2 |
| Kleeheu | 48,4 | 7,0 | 44,6 |
| Kot von Kleeheu | 51,3 | 6,7 | 42,0 |

Aus dieser Tabelle geht hervor, daß die Kotrohlfaser ohne Ausnahme einen höheren Kohlenstoffgehalt besitzt als die Rohfaser der Futterstoffe, die den Kot lieferten. Beim Vergleich der Tabellenwerte mit den Werten für reine Cellulose von der Formel $C_{12}H_{10}O_{10}$, welche prozentisch 44,4 Kohlenstoff, 6,2 Wasserstoff, 49,4 Sauerstoff enthält, zeigt sich, daß die verschiedenen Arten Futter- und Kotrohlfaser durchweg höhere Kohlenstoffwerte besitzen. Diese Tatsache erklärt sich eben daraus, daß die Rohfaser aus einem wechselnden Gemenge von Cellulose mit den genannten Substanzen besteht. Diese letzteren sind sämtlich kohlenstoffreicher: Korkstoff enthält 62—67%, Kutikularsubstanz 73,7%, Lignin 55,3% Kohlenstoff.

Henneberg und Stohmann²⁾ haben damit gezeigt: 1. daß reine Cellulose nicht identisch mit Rohfaser ist; 2. daß die Rohfaser keine konstante chemische Zusammensetzung hat. Es ist wichtig, hierauf besonders hinzuweisen, da in der landwirtschaftlichen und tierärztlichen Literatur der Name Rohfaser ungemein häufig durch die Bezeichnung Cellulose ersetzt wird.

Aber auch die reine Cellulose ist, wie besonders W. Hoffmeister^{3, 4)} gezeigt hat, kein einheitliches chemisches Individuum. Es gelang Hoffmeister, durch Behandlung unreiner Cellulosen mit Natronlaugen verschiedener Konzentration die Cellulose in verschiedene Formen löslicher reiner Cellulose zu zerlegen. Er unterscheidet Rohcellulose (lösliche plus unlösliche Cellulose)⁴⁾, welche er durch ein später näher zu besprechendes Verfahren herstellt, und lösliche Cellulose (reine Cellulose), deren Löslichkeitsverhältnisse in Natronlaugen je nach dem verschiedenen pflanzlichen Ursprung und je nach der Konzentration der Lauge vielfach variieren können. Beide Cellulosearten geben jedoch die typischen Reaktionen: sie sind in Kupferoxydammoniak löslich und geben mit Schwefelsäure und Jod oder mit Jodchlorzink Blaufärbung, allerdings in wechselnder Intensität. Hoffmeister erhielt beim Kochen mit verdünnten Mineralsäuren einen gärungsfähigen Zucker. Diese Angaben gelten für die Cellulose aller Phanerogamen; von den Kryptogamen für die Cellulose des isländischen und Carrageenmooses und einer nicht näher bezeichneten Bacillusart.

Spätere Untersuchungen haben die Ansichten über die Zusammensetzung der pflanzlichen Zellwände und der reinen Cellulose noch in manchen Punkten geändert. Nach E. Schulze, Steiger und Maxwell⁵⁾ ist die eigentliche Cellulose vom chemischen Standpunkt aus ein Anhydrid der Dextrose von der Formel $n(C_6H_{10}O_5)$ mit folgenden Eigenschaften: sie ist in Kupferoxydammoniak löslich, wird dagegen durch stark verdünnte Mineralsäuren selbst in der Wärme nur wenig angegriffen; beim Kochen mit starker Schwefelsäure liefert sie nur Dextrose; durch Jodchlorzink sowie durch Jod und Schwefelsäure erfolgt Blaufärbung. Neben dieser Cellulose, mit ihr nicht chemisch vereinigt, sind in der Zellmembran noch mehrere andere Kohlehydrate enthalten, das Paragalaktan, Araban, Xylan. Es sind das sogenannte Hemicellulosen, die von der Cellulose dadurch typisch verschieden sind, daß sie in Kupferoxydammoniak unlöslich, in verdünnten Mineralsäuren aber außerordentlich leicht löslich sind und dabei verschiedene Zuckerarten (Mannose, Galaktose, Arabinose, Xylose), aber keine Dextrose, liefern. Auch

diese Untersuchungen sind jedoch noch keine definitiv abschließenden. Es ist zur Zeit nicht möglich, eine allgemein gültige einheitliche chemische Definition der Cellulose zu geben.

Die Methoden der quantitativen Rohfaser- und Cellulosebestimmung.

Angesichts unserer geringen Kenntnis von der chemischen Dignität der Cellulose sind naturgemäß eine ganze Anzahl Methoden konstruiert worden, welche mit mehr oder weniger Erfolg bezwecken, Rohfaser oder reine Cellulose quantitativ darzustellen. Eine kurze Rekapitulation derselben dürfte angezeigt sein.

a) Die Methoden der quantitativen Rohfaserbestimmung.

Das älteste diesem Zwecke dienende Verfahren ist das von Henneberg und Stohmann²⁾ angegebene sogenannte Weender Verfahren. Die Autoren geben folgende Vorschrift: ca. 3 g trockene Futterstoffe oder Kot (sehr fettreiche Stoffe werden vorher mit Äther extrahiert) werden mit 50 ccm 5%iger Schwefelsäure und 150 ccm Wasser $\frac{1}{2}$ Stunde lang unter Ersatz des verdampfenden Wassers in einer Porzellanschale gekocht, zum Absetzen stehen gelassen, die Flüssigkeit mit einem kleinen Glasheber abgehoben, der Rückstand zweimal mit Wasser ausgekocht, die jedesmal abgehobene Flüssigkeit mit der ersten vereinigt. Der Rückstand wird danach ganz in derselben Weise zuerst mit einer Mischung von 50 ccm 5%iger Kalilauge und 150 ccm Wasser, dann mit Wasser behandelt und zuletzt auf ein gewogenes Filter gebracht, die kalihaltige Flüssigkeit wird soweit als möglich mit dem Heber abgehoben, der Absatz mit dem Inhalt des Filters vereinigt, letzteres bis zum Verschwinden der alkalischen Reaktion ausgewaschen, der Absatz aus den schwefelsäurehaltigen Flüssigkeiten aufgegeben, darauf successive mit Wasser, Alkohol und Äther vollständig ausgewaschen, getrocknet und gewogen. Der Wert für Asche und Proteinsubstanz ($N \times 6,25$) wird von der Rohfaser in Abzug gebracht.

Das Verfahren wurde in dieser Form zunächst beibehalten. Einzelne Autoren modifizierten es in einzelnen unwesentlichen Punkten. So arbeiteten Hellriegel und Lukanus⁶⁾ mit

1%iger Säure und 4%igem Alkali; mit der Säure wurde 2 Stunden, mit der Lauge $\frac{1}{2}$ Stunde gekocht. V. Hofmeister⁷⁾ behandelte die aufs feinste zerkleinerten Futtermittel zunächst mit kochendem Äther und Alkohol; es folgte zweistündige Digestion mit 3%iger Schwefelsäure bei 80° C. und Auswaschen; darauf zweistündige Digestion mit 3%iger Kalilauge bei 80° und Auswaschen; zum Schluß einstündige Digestion des Rückstandes mit konzentrierter Essigsäure bei Kochhitze auf dem Wasserbade. Das Kochen mit Essigsäure bewirkte geringeren Stickstoffgehalt der Rohfaser. Hofmeister erzielte gute Übereinstimmung mit den nach der ursprünglichen Methode gewonnenen Werten. Kühn⁸⁾ hält dieses Verfahren allerdings für etwas zu energisch.

Es ist nicht zu verkennen, daß dem Weender Verfahren mancherlei Mängel anhaften. Schon Henneberg und Stohmann²⁾ machten darauf aufmerksam, daß der Grad der Zerkleinerung der zu untersuchenden Substanz einen deutlichen Einfluß auf das Resultat der Rohfaserbestimmung ausübt. Kleeheu z. B. gab, wenn es mit der Schere zerkleinert war, 35,8%, wenn es mit der Mühle fein zermahlen war, 33,2% Rohfaser. Ein weiterer ganz wesentlicher Übelstand ist die lange Zeitdauer, die jede einzelne Bestimmung in Anspruch nimmt. Das Absetzenlassen der gekochten und in ein Becherglas gespülten Masse wiederholt sich 6mal und dauert fast jedesmal ungefähr 12 Stunden, sodaß unter ungünstigen Umständen schon dieser Teil des Verfahrens allein 2—3 Tage Zeit erfordert. Dazu kommen dann noch die zahlreichen anderen Manipulationen, das wiederholte Abhebern und das häufige Umspülen aus der Schale in Bechergläser und umgekehrt. Diesen Übelständen versuchte Holdefleiss⁹⁾ zu begegnen, indem er das Verfahren folgendermaßen modifizierte: die Prozedur wird in einem birnförmigen unten durch Asbestpfropfen verschlossenen Glasgefäß ausgeführt. 3 g der zu untersuchenden Substanz werden in das Gefäß gebracht, 200 ccm kochende Flüssigkeit, die 50 ccm einer 5%igen Schwefelsäure enthalten, darauf gegossen und dann durch ein Glasrohr Wasserdampf in die Flüssigkeit eingeleitet, wodurch die kochende Masse ständig in wirbelnder Bewegung

erhalten wird. Nach $\frac{1}{2}$ Stunde wird die Flüssigkeit durch den Asbestpfropfen abgesaugt, zweimal mit heißem Wasser nachgesaugt und darauf mit Kalilauge von derselben Konzentration wie die Säure unter Zuhilfenahme des Dampfstromes gekocht, abgesaugt und mit Wasser, Alkohol und Äther durch Absaugen nachgewaschen. Bis zu diesem Punkte dauert die Methode nur 4—5 Stunden. Schließlich wird die restierende Rohfaser samt dem Glasgefäß bei 100° getrocknet und gewogen. Sodann wird der Gesamtinhalt (Rohfaser+Asbest) in einem gewogenen Platintiegel geglüht und ebenso wie das entleerte Gefäß gewogen. Wird nun das Gewicht des leeren Glasgefäßes+Tiegelinhalt (Asbest und Aschenrückstand aus der Rohfaser) von dem Gewichte des Gefäßes mit Gesamtinhalt abgezogen, so erhält man die aschefreie Rohfaser. Die Holdefleiss'schen Resultate sind hinreichend übereinstimmend mit den Resultaten der Weender Methode.

Der einzige Vorteil, den dieses Verfahren bietet, liegt in einer gewissen Zeitersparnis. Sonst ist es aber offenbar umständlich, schon wegen der vielen Wägungen und der Entwicklung des Dampfstromes. Auch dürfte der erforderliche starke Saugapparat nicht in jedem Laboratorium zu finden sein. Die Methode wird infolgedessen kaum angewendet. Eher zu empfehlen sind von Wattenberg¹⁰⁾ vorgeschlagene Modifikationen: Danach geschieht das Kochen in Porzellanschalen, welchen genau im Niveau von 200 ccm unter der Glasur ein blauer Ring eingebrannt ist. Dadurch läßt sich der Flüssigkeitsstand während des Kochens durch Nachfüllen bis zu dem Ring stets regulieren. Statt des lästigen Abhebers bedient sich Wattenberg eines mit Gaze und Fließpapier überzogenen Trichters, der mit einem Bunsen'schen Saugapparat in Verbindung steht. Auf diese Weise kann man die sauren und alkalischen Flüssigkeiten so vollständig von dem Rückstand absaugen, daß kaum einige Kubikzentimeter bleiben. Es empfiehlt sich, die gekochten Flüssigkeiten möglichst heiß abzusaugen. Sehr fettreiche Substanzen werden vor der Behandlung mit Äther extrahiert. Auf diese Weise kann man die Rohfaserbestimmung an einem Tage fertig stellen.

Auch späterhin haben einzelne Autoren mit kleinen Ab-

änderungen der Weender Methode gearbeitet. v. Knieriem¹¹⁾ behandelte mit Knochen vermischtem Hundekot statt mit Schwefelsäure mit Salzsäure. Hühnerkot wurde erst mit 1 $\frac{1}{4}$ 0/0 iger Natronlauge, dann mit 1 $\frac{1}{4}$ 0/0 iger Schwefelsäure, zuletzt mit verdünnter Kalilauge behandelt. Als wesentlich zeitsparend empfiehlt v. Knieriem die Anwendung der Zentrifuge zum Absetzen der Rückstände. Wicke¹²⁾ kochte 8—10 g Trockensubstanz mit 300 ccm 2 $\frac{1}{2}$ 0/0 iger Schwefelsäure, dann zweimal mit destilliertem Wasser. Nach Filtrieren durch ein gewogenes Filter brachte er den Rückstand in den Kochkolben zurück, kochte mit 300 ccm 2 $\frac{1}{2}$ 0/0 iger Natronlauge und zweimal mit Wasser. Dann wurde auf dem Filter mit Alkohol und Äther gewaschen, verascht und die Asche abgezogen.

Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle noch eines Verfahrens von Grandeau¹³⁾ gedacht: Darstellung der Rohfaser durch Kochen mit 10 0/0 iger Salzsäure. Die Resultate sind, wie Wattenberg¹⁰⁾ bemerkt, sehr unsicher.

Kaum benutzt ist eine bei Lehmann¹⁴⁾ erwähnte Methode von Lebbin. 3—5 g Substanz werden fein zerkleinert, mit Wasser fein verrührt und $\frac{1}{2}$ Stunde gekocht. Dann werden 50 ccm 20 0/0 igen Wasserstoffsperoxyds zugesetzt und noch 20 Minuten gekocht. Zu der Mischung sind während des Kochens 15 ccm 5 0/0 iger Ammoniaklösung in Portionen von 1 ccm zuzugeben. Nach vollendetem Zusatz wird noch 20 Minuten gekocht, filtriert, heiß gewaschen, getrocknet und gewogen. Asche- und Eiweißbestimmung ist nötig, eventuell auch Ätherextraktion. Das Verfahren ist unsicher und liefert sehr hohe Werte, für Schwarzmehl z. B. 13 0/0 Rohfaser, während die Weender Methode in diesem Falle nur 3,65 0/0 ergibt.

Es bleibt uns demnach als brauchbare und einigermaßen genaue Methode zur Rohfaserbestimmung von allen Methoden schließlich nur das Weender Verfahren, wie es von Henneberg und Stohmann angegeben wurde, zur Benutzung übrig. Von den zahlreichen Modifikationen desselben können als empfehlenswert nur die von Wattenberg¹⁰⁾ und die Benutzung der Zentrifuge [v. Knieriem],¹¹⁾ mit welcher auch Schmidt und Strasburger¹⁵⁾ gute Resultate hatten, in Betracht kommen.

Man darf bei Anwendung des Verfahrens jedenfalls nicht übersehen, daß, wie W. Hoffmeister^{3,4)} hervorhebt, die Methode mit großer Zuverlässigkeit diejenigen Mengen von Cellulose, welche im tierischen Organismus ganz oder fast ganz unverdaulich sind, also die Rohfaser, bestimmt, während sie für eine wirkliche oder auch nur annähernd quantitative Gewinnung der Cellulose gänzlich unbrauchbar ist. Denn es gehen nach Kern¹⁶⁾ und W. Hoffmeister³⁾ beim Kochen mit Säuren und Alkalien, auch schon mit Wasser, Stoffe in Lösung, welche zur Cellulose gehören und somit der Bestimmung entgegen. Reine Cellulose in Form von schwedischem Filtrierpapier erleidet durch das Weender Verfahren einen Gewichtsverlust von 8,6^{0/0}.¹⁶⁾

Mit den Unbequemlichkeiten und Übelständen der Methode, die zum Teil schon erwähnt sind, muß man sich abzufinden suchen. W. Hoffmeister³⁾ tadelt vor allem auch, daß das Weender Verfahren mit nur geringen Mengen Substanz zu arbeiten gestatte, da man sonst zu große Mengen von Reagentien brauche. Auf eine nicht zu unterschätzende Fehlerquelle des Weender Verfahrens hat schließlich noch Mann¹⁷⁾ aufmerksam gemacht. Er fand nämlich sehr häufig bei Kotuntersuchungen Weender Rückstände, welche viel größer waren als die eingeführten Rohfasermengen. Dieses auffallende Verhalten erklärt sich so, daß durch die Weender Methode die Eiweißsubstanzen, aber auch N-ärmere resp. N-freie Substanzen im Kot nicht vollständig gelöst werden. Ganz besonders konnte Mann dies für das Elastin der elastischen Fasern des Fleisches nachweisen. Es kann also bei Gegenwart dieser Stoffe im Kot Rohfaser nach der Weender Methode nicht genau bestimmt werden.

Somit fällt dem Weender Verfahren mit all seinen Mängeln in der Hauptsache die Bestimmung der Rohfaser in Futtermitteln und im Kot der Pflanzenfresser bei landwirtschaftlichen und tierphysiologischen Untersuchungen zu. Für klinische Zwecke auf dem Gebiete der menschlichen Physiologie und Pathologie ist die Methode unbrauchbar.

b) Die Methoden der quantitativen Cellulosebestimmung.

Das älteste Verfahren zur Darstellung reiner Cellulose stammt von F. Schulze.¹⁸⁾ Hiernach wird die mit Wasser, Alkohol und Äther ausgezogene fein gepulverte Substanz mit einem Gemisch von chlorsaurem Kali und verdünnter Salpetersäure während 12—14 Tagen unter öfterem Umschütteln in der Kälte behandelt, filtriert, ausgewaschen, dann mit verdünntem Ammoniak digeriert, filtriert, ausgewaschen und getrocknet. Dabei ist darauf zu achten, daß die Temperatur 15° C. nicht übersteigt, da sonst leicht Explosionen eintreten können. Das Verfahren hat den Zweck, die inkrustierenden Substanzen, die die Lösung der Cellulose oft hindern, durch Maceration zu zerstören.

Die Unsicherheit, die fast in allen Cellulose betreffenden Fragen vorherrscht, spiegelt sich am besten wider in der höchst verschiedenen Beurteilung, die diese Methode durch spätere Untersucher erfahren hat. Kühn, Aronstein und H. Schulze⁸⁾ haben damit gearbeitet. Sie tragen kein Bedenken, die Produkte der Methode als im wesentlichen reine Cellulose anzusehen und das Verfahren als brauchbar warm zu empfehlen: «Es braucht kaum hervorgehoben zu werden, wie sehr Chemie und Physiologie Schulze zu Dank verpflichtet sind.» Stohmann¹⁹⁾ konnte mit der Schulze'schen Methode keine befriedigenden Resultate erzielen. König²⁰⁾ fand, daß die Methode nicht immer reine Cellulose lieferte und modifizierte sie so, daß er zur Entfernung der inkrustierenden Substanzen Chlorwasser und unterchlorigsaure Kalklösung einwirken ließ, ein Versuch, der resultatlos verlief. König fand ferner, daß der Grad der Zerkleinerung für die Resultate der Schulze'schen Methode sehr maßgebend war und schlug daher vor, in der agrikulturchemischen Praxis allgemein ein Sieb mit 0,1 mm-Öffnungen anzuwenden. Empfehlenswerter scheint ihm übrigens ein indirekter Weg zur Bestimmung der Cellulose zu sein.^{20, 21)} Derselbe setzt das Bekanntsein des Kohlenstoffgehaltes der nach Schulze dargestellten nicht reinen Cellulose

voraus. Bleibt derselbe für alle Pflanzenarten nahezu gleich, so läßt sich aus dem bekannten Kohlenstoffgehalt der Cellulose und aus dem der Rohfaser berechnen, wieviel Cellulose letztere enthielt. Nach Kern¹⁶⁾ kann dieser indirekte Weg zu bedeutenden Irrtümern führen. v. Knieriem¹¹⁾ erzielte mit der Schulze'schen Methode fast die gleichen Resultate wie mit dem Weender Verfahren: Filtrierpapier ergab nach Henneberg-Stohmann 89,13%, nach Schulze 90,7% Rohfaser, Hasenkot lieferte 31,33 resp. 32,54%.

Am schärfsten geht W. Hoffmeister^{3,4)} mit dem Schulze'schen Verfahren ins Gericht. Danach liefert die Methode zwar reinere Cellulose als das Weender Verfahren, unter Umständen auch reine Cellulose. Die Resultate sind aber stets schwankend und je nach Umständen differierend, da das Schulze'sche Reagens zur Bestimmung der Rohfaser zu schwach, zur Bestimmung der Rohcellulose zu energisch wirke. «Das Verfahren ist unzuweckmäßig und gibt nach keiner Richtung hin brauchbare Resultate.»

Damit kann man wohl von jeder weiteren Benutzung der Schulze'schen Methode absehen. Für klinische Zwecke wäre sie schon wegen der langen Dauer (14 Tage) unbrauchbar.

Lediglich historisches Interesse bietet die Methode von H. Müller²²⁾: 2 g Substanz werden mit Bromwasser im zerstreuten Tageslicht in der Kälte und mit Ammoniak behandelt. Das Verfahren soll in der Hälfte der Zeit, welche die Schulze'sche Methode benötigt, ausführbar sein. Auch so ist es noch immer sehr zeitraubend und liefert nach v. Knieriem¹¹⁾ viel höhere Werte als das Schulze'sche und Weender Verfahren.

Eine eingehendere Besprechung erfordern die von W. Hoffmeister^{3,4)} für seine verschiedenen Cellulosen angegebenen Darstellungsmethoden.

1. Die Chlorgemischmethode.

Dieselbe ist eine Modifikation des Schulze'schen Verfahrens und hat den Zweck, die Stoffe außer der Cellulose zu entfernen und nur die Cellulose ungelöst zu lassen. Die Cellulose, die mit dieser Methode erhalten wird, ist Cellulose im

weiteren Sinne, umfaßt also alles, was zur Cellulose gehört (lösliche und unlösliche Formen) und entspricht der Hoffmeister'schen Rohcellulose.*)

Das möglichst zerkleinerte Rohmaterial wird, wenn nötig, vorher entfettet. Man übergießt die Substanz in einem Kolben mit Salzsäure vom spezifischen Gewicht 1,05, 6 Teile Salzsäure auf 1 Teil Substanz, bei sehr voluminöser Substanz soviel Salzsäure, daß genügend Flüssigkeit über der Substanz steht und das Ganze sich leicht umschütteln läßt. Man fügt dann soviel chloresäures Kali zu, als sich im Verlauf der Reaktion löst, läßt den Kolben bei Zimmertemperatur verschlossen stehen und schüttelt von Zeit zu Zeit um. Meist ist nach 24 Stunden die Reaktion vollendet, d. h. die Substanz hat sich hellgelb gefärbt. Bei sehr hartschaligen Substanzen ist es nötig, die Säure vorsichtig zu verstärken, bis Entfärbung eingetreten ist. Bei zarten Substanzen muß die Säure in größerer Verdünnung einwirken, da sonst Cellulose mit zerstört werden kann. Die Masse im Kolben wird dann mit Wasser verdünnt aufs Filter gebracht und mit kaltem, dann mit heißem Wasser sorgfältig ausgewaschen.

Die so erhaltene Cellulose ist häufig fast farblos, meist strohgelb, enthält Asche und geringe Mengen N. Sie ist nicht ganz so rein, wie die nach Schulze dargestellte. Bei vergleichenden Untersuchungen mit dem Weender Verfahren fand Hoffmeister fast stets Differenzen in den Resultaten, so daß die Weender Werte niedriger waren. Die Differenzen waren um so größer, je leichter angreifbar die Substanz war; bei sehr hartschaligen Cellulosen stimmten die Resultate am besten überein. Vorteile der Methode sind, daß Cellulose in beliebigen Quantitäten hergestellt werden kann und daß die Cellulose nicht angegriffen wird. Aus Filtrierpapier von Schleicher und Schüll gewann Hoffmeister 99,5% Cellulose (nach der

*) Der Name Rohcellulose ist nicht neu. Bereits Kühn¹⁵⁾ benutzte diese Bezeichnung und verstand darunter die bei der Behandlung nach F. Schulze¹⁶⁾ zurückbleibende, noch etwas N-haltige Cellulose, aus welcher sich die Cellulose ergibt, wenn man die dem N-Gehalt entsprechende Quantität Proteinsubstanz in Abzug bringt.

Weender Methode 83,9%). Auch die Mängel der Methode waren Hoffmeister⁴⁾ nicht unbekannt. Da das Rohmaterial von sehr verschiedener Widerstandsfähigkeit gegen das Chlorgemisch ist, muß man je nach der Beschaffenheit desselben die Einwirkung abschwächen oder verstärken, kurz, man muß «mit einem gewissen Spürsinn und nach Umständen verfahren», d. h. es ist für das Resultat die individuelle Beurteilung des Verlaufs der Reaktion durch den Untersucher ganz wesentlich maßgebend, in der Tat ein nicht zu unterschätzender Nachteil. Ferner kommt die Cellulose aus der Behandlung mit dem Chlorgemisch nicht rein heraus: sie enthält Asche, Stickstoff, unter Umständen auch Stärke. Da die Methode außerdem ziemlich viel Zeit in Anspruch nimmt, so erkennt W. Hoffmeister selbst an, daß das Verfahren zu einer «conventionellen» Methode ungeeignet ist.

2. Methode zur quantitativen Bestimmung reiner löslicher Cellulose.

Es gelingt, aus der nach der Chlorgemischmethode erhaltenen Rohcellulose reine Cellulose zu gewinnen, indem man die Rohcellulose mit 5%iger Natronlauge auszieht. Zu diesem Zwecke wird die Rohcellulose mit dem Mehrfachen von 5%iger Natronlauge in einem Kolben übergossen, gut verschlossen und während 24 Stunden unter Umschütteln bei Zimmertemperatur stehen gelassen. Dann filtriert man durch Glaswolle, wäscht aus und neutralisiert das Filtrat mit Salzsäure, wobei ein geringer Säureüberschuß nichts schadet. Es tritt alsbald in der Flüssigkeit die Ausscheidung eines weißen Körpers ein, welche durch Zusatz des gleichen Volumens Alkohol beschleunigt wird. Man filtriert den Niederschlag ab und wäscht die Säure mit 70%igem Alkohol aus. Der auf dem Filter bleibende Körper ist, wenn das Ausgangsmaterial rein war, weiß. Hat man keine weiße Farbe erzielt, so muß man mit Alkohol, der mit Ammoniak verdünnt ist, nachwaschen.

Durch diese Methode erhält man reine lösliche Cellulose. Das Verfahren ist aber auch geeignet, in den Fällen, wo wegen leichter Zerstörbarkeit zarter Faserstoffe das Chlorgemisch nicht

genügend einwirken und darum gleich von vornherein keine reine Cellulose gewonnen werden konnte (Methode 1), doch die ganze Cellulosemenge rein zu bestimmen. Da man den in Natronlauge löslichen Teil, ebenso den unlöslichen Rückstand quantitativ erhält und alle Verunreinigungen mit den sauren und ammoniakalischen Waschflüssigkeiten fortgehen, so ergibt der unlösliche Rückstand minus Asche plus Natronlaugeauszug die Menge der vorhandenen Cellulose in reinem Zustande.

Der unlösliche Rückstand entspricht quantitativ ungefähr derjenigen Menge, die man durch die Weender Methode erhält. Die 5%ige Natronlauge löste aus allen untersuchten Stoffen erhebliche Mengen Cellulose auf, z. B. aus Palmkuchen, Kleie, Rübkkuchen, aus Kuh- und Pferdekot, aus verschiedenen Holzarten. Die Mengenverhältnisse waren sehr wechselnde:

| | Unlöslicher Rück- stand % | Durch Natronlauge gelöst % |
|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Palmkuchenfaser | 22,0 | 78,0 |
| Weizenkleie | 50,6 | 49,4 |
| Pferdekot | 85,4 | 14,6 |
| Kuhkot | 71,3 | 28,7 |

3. Das Aufschließverfahren.

Diese Methode bezweckt die Reindarstellung der Cellulose aus ihrer Lösung in Kupferoxydammoniak nach Auflösung (Aufschließen) der ihre Löslichkeit hindernden inkrustierenden Substanzen. Die Aufschließung wird erreicht durch Digestion des Rohmaterials mit Eisessig bei 88—92° im Wasserbade, worauf Digestion mit starker Ammoniaklösung in Siedehitze folgt. Der hieraus resultierende Rückstand wird mit reichlich Kupferoxydammoniaklösung während 24 Stunden extrahiert; dabei löst sich sämtliche Cellulose auf. Wenn man die Lösung neutralisiert und mit Alkohol versetzt, fällt die Cellulose aus.

Das Aufschließverfahren eignet sich für alle Cellulosen, insbesondere für die stark verholzten, und gestattet, Stoffe rein

darzustellen, welche mit den inkrustierenden Substanzen in innigster Beziehung stehen. Es hat jedoch nach Hoffmeister⁴⁾ nur theoretisches Interesse, da es viel zu umständlich und zeitraubend ist.

So sind leider auch diese vortrefflich erdachten und hinsichtlich der Reinheit der Cellulose gute Resultate gebenden Hoffmeister'schen Methoden ihrer langen Dauer und Umständlichkeit wegen für die Praxis der Klinik, besonders auch für Untersuchung menschlicher Faeces, bei denen es sich meist um sehr kleine Cellulosemengen handelt, unbrauchbar.

Bei Vaubel²³⁾ wird ein Verfahren von Hönig (Chem. Zeitung, Bd. XIV, 1890, S. 868) beschrieben, welches anscheinend in kürzerer Zeit zum Ziele führt und darauf beruht, daß Cellulose durch Glycerin nicht verändert wird.

2 g feinst zerkleinerte Substanz werden mit 60 g möglichst wasserfreien Glycerins im Reagensglase bei eingesetztem Thermometer im Schwefelsäurebad unter fleißigem Umrühren auf 210° C. erhitzt. Die Aufschließung ist in $1\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ Stunde vollendet, worauf man die Glycerinlösung bis auf 130° abkühlen läßt. Dann wird die Lösung in dünnem Strahle in 200 ccm 95%igen Alkohols unter Umrühren eingegossen; die an den Wandungen zurückbleibenden Flüssigkeitsreste und Cellulosepartikel werden mit ca. 50 ccm heißen Wassers ausgespült. Diese alkoholische Lösung läßt man nach guter Durchmischung vollständig erkalten, fügt 40—60 ccm Äther hinzu, filtriert durch ein Faltenfilter und wäscht mit Alkoholäther (5 : 11) aus. Um den größeren Teil des Alkoholäthers zu entfernen, läßt man den Niederschlag im Filter auf einer porösen Tonplatte absaugen. Alsdann spritzt man den Niederschlag mit etwa 100—150 ccm heißen Wassers in einen Kochkolben. Die wässrige Flüssigkeit erhitzt man nun so lange zum Sieden, bis aller Alkohol verjagt ist. Alsdann erhitzt man noch, um ein besseres Filtrieren zu ermöglichen, nach Zusatz von 10 ccm Salzsäure vom spezifischen Gewicht 1,125 $\frac{1}{2}$ Stunde im kochenden Wasserbad mit aufgesetztem Kühlrohr. Nun wird filtriert und die auf gewogenem Filter mit siedendem Wasser bis zum Verschwinden jeder Jodreaktion ausgewaschene Cellulose bei 110° getrocknet und gewogen.

Sie enthält noch viel Asche, von N-Substanzen dagegen sehr wenig (höchstens 1% N). Es genügt daher, den Aschengehalt der trockenen Cellulose in Abzug zu bringen.

Ob die Cellulose rein ist, geht aus der Beschreibung nicht hervor. In der Literatur fand ich die Methode sonst nicht erwähnt. Sie ist jedenfalls mit ihren zahlreichen Manipulationen nichts weniger als einfach.

Der Mangel geeigneter handlicher und kurzer Methoden macht sich, wie schon erwähnt, vor allem bei der Untersuchung menschlicher Nahrungsmittel und Faeces mit ihren oft recht geringen Cellulosemengen sehr bemerkbar. Es war bisher nur die Methode von G. Lange,²⁴⁾ welche in dieser Hinsicht für klinische Zwecke brauchbar war. Lange geht von dem von Hoppe-Seyler²⁵⁾ erbrachten Nachweis aus, daß Cellulose durch Schmelzen mit dem stärksten Alkali selbst bis zu 200° nicht angegriffen wird, während das Lignin dabei eine Lösung erfährt. Die Ausführung ist folgende: Je 10 g Substanz werden mit dem 3—4fachen Gewicht reinen Ätzalkalis und etwa 30—40 ccm Wasser in eine geräumige, ziemlich steile, tubulierte Retorte gebracht, diese sodann mittels eines Glasstöpsels geschlossen und im Ölbade erhitzt. Die Temperatur wird durch ein Thermometer, dessen Kugel sich am Boden der Retorte befindet, gemessen. Bei etwa 140° tritt unter lebhaftem Schäumen das Sieden ein: die Temperatur wird nach und nach bis gegen 180° gesteigert und das Erhitzen etwa eine Stunde fortgesetzt. Das Aufschäumen ist dann vorüber, die Massen in der Retorte fallen zusammen, glätten sich und trocknen schließlich ein: Ende der Reaktion. Die Retorte wird nun aus dem Ölbade entfernt, der Inhalt nach dem Erkalten auf etwa 80° mit heißem Wasser versetzt und vorsichtig, unter gründlichem Nachwaschen mit heißem, schließlich mit kaltem Wasser in ein Becherglas gespült. Nach dem Erkalten säuert man mit verdünnter Schwefelsäure an, wodurch alsbald ein dickflockiger Niederschlag, durchsetzt von Cellulosepartikeln, die in der starken Lauge noch suspendiert geblieben waren, entsteht; durch die Säure wird die Cellulose quantitativ ausgefällt. Der Inhalt des Becherglases wird nun durch vorsichtigen Zusatz sehr verdünnter Natronlauge eben

schwach alkalisch gemacht, sodaß alle ausgefällten Substanzen, mit Ausnahme der Cellulose, wieder in Lösung gehen. Mit starker Wasserstrahlpumpe wird nun über einem siebartig fein durchlöcherten Platinkonus abgesaugt. Das Filtrat wird noch ein bis mehrere Male wie oben angesäuert, wieder schwach alkalisch gemacht und die etwa noch ausgefallene Cellulose zu dem ersten Rückstand im Filter hinzugegeben. Der Gesamtrückstand im Trichter wird tüchtig mit heißem und kaltem Wasser nachgewaschen, in Alkohol digeriert, wieder abgesaugt, mit Äther gewaschen, auf dem Wasserbad getrocknet und gewogen. Nach Abzug der Asche findet man den Gehalt an reiner Cellulose.

Diese Methode liefert reine Cellulose, hat den Vorzug großer Genauigkeit der Resultate und beansprucht, was sehr wesentlich ist, bis zum Trocknen nur etwa 5—6 Stunden Zeit. Indessen enthält sie doch noch so zahlreiche Einzelmanipulationen, daß eine weitere Vereinfachung erwünscht schien.

In dem Bestreben, eine noch einfachere, handliche und kurze, auch für klinische Zwecke brauchbare Methode zu finden, gelangten O. Simon (Karlsbad) und Verfasser²⁶⁾ zu folgendem Verfahren. Dasselbe beruht einerseits auf der Tatsache, von der auch Lange ausging, daß nämlich die inkrustierenden Substanzen der pflanzlichen Zellwände, besonders das Lignin, durch schmelzendes Alkali zersetzt werden, während die Cellulose dadurch zum Teil gelöst, keinesfalls aber zerstört wird. Andererseits liegt ihm die Glycogenbestimmung von Pflüger-Nercking zugrunde, d. h. der gelöste Teil der Cellulose wird wie das Glycogen aus der Lauge durch Fällung mit 96%igem Alkohol quantitativ wieder erhalten; Eiweißstoffe, Seifen, Kohlehydrate bleiben dagegen in Lösung. Die Einwirkung des Alkalis wird noch durch Zusatz von Wasserstoffsperoxyd unterstützt, welches, wie auch die Lebbin'sche Methode zeigt, Cellulose nicht angreift.

Wir führen die Methode jetzt in folgender Weise aus: Menschliche oder tierische Faeces werden getrocknet und kommen möglichst fein zerrieben zur Verarbeitung. Für eine Bestimmung genügen durchschnittlich 5 g trockene Faeces. Gemüse, pflanzliche Gebilde, Früchte werden entweder getrocknet und möglichst fein zerkleinert (gepulvertes Heu) oder auch frisch nach

Möglichkeit zerkleinert (in Form von Brei, gewiegt, usw.) verwendet. Von trockener Pflanzensubstanz genügen 2—3 g, von frischer etwa 5 g zur Untersuchung. Eine vorherige Extraktion sehr fettreicher Substanzen ist nicht nötig. Vorbehandlung reichlich stärkehaltiger Substanzen mit Diastase kann entbehrt werden.

Die Substanz wird in ein ca. 500 ccm fassendes Becherglas gebracht und zunächst mit 100—150 ccm heißen destillierten Wassers übergossen. Mit dem Glasstab wird die Substanz in dem Wasser möglichst fein verrührt, so daß z. B. vom Faecespulver keine gröberen Brocken mehr sichtbar sind. Zu dieser Aufschwemmung setzt man nun soviel Gramm Ätzkali (in Stangen), daß eine 50%ige Lauge entsteht. Es erfolgt beim Schmelzen des Alkalis starke Erhitzung und lebhaftes Aufschäumen. Dadurch wird erreicht, daß das Ätzkali bereits im schmelzenden Zustand bei starker Hitze auf die inkrustierenden Substanzen einwirken kann. Nachdem sich alles Kali gelöst hat, kocht man 1 Stunde im Wasserbade. Nach dieser Zeit ist schon der größte Teil der Substanz gelöst. Man läßt die Flüssigkeit ziemlich erkalten und setzt dann 3—5 ccm 30%iges Wasserstoffsperoxyd (Merck) zu. Der Zusatz muß vorsichtig tropfenweise erfolgen, da die Flüssigkeit stark aufschäumt. Sollte das Aufschäumen so intensiv sein, daß der Inhalt des Becherglases den Rand desselben zu überschreiten droht, so genügt es, aus der Spritzflasche eine kleine Menge 96%igen Alkohols aufzuspritzen, um das Übersäumen zu verhindern. Unter dem H_2O_2 -Zusatz tritt eine neuerliche starke Erhitzung ein, bei der noch die letzten Reste organischer Substanz außer Cellulose zerstört und zersprengt werden. Gleichzeitig entfärbt sich die Flüssigkeit. Selbst anfangs tiefschwarz aussehende Faeces erscheinen jetzt als hellgelbe oder hellbraune Flüssigkeit. Das bietet den Vorteil, daß man noch etwa ungelöste Brocken erkennen kann, in welchem Falle man noch $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ Stunde im Wasserbade kocht. Nachdem dann die helle Flüssigkeit nur etwas abgekühlt ist, setzt man das halbe Volumen 96%igen Alkohols zu. Oft mischen sich die Flüssigkeiten nicht; der Alkohol schwimmt oben auf wie Öl auf Wasser. Es genügt dann

ein Zusatz von 6—7 ccm konzentrierter Essigsäure, welche Cellulose nicht angreift, um eine gleichmäßige Mischung zu erzielen. Die gelöst gewesene Cellulose fällt in Form eines feinen Niederschlags aus; die Flüssigkeit ist dabei natürlich noch so stark alkalisch, daß alle Proteinstoffe in Lösung bleiben. Die Flüssigkeit wird dann noch heiß durch ein gehärtetes Filter (Schleicher und Schüll Nr. 575, 24 cm Durchmesser) abfiltriert. Das Filtrieren geht so schnell von statten, daß man eine Saugpumpe nicht nötig hat. Der Rückstand im Filter ist unlösliche + lösliche Cellulose. Um aus dem Rückstand schon den größten Teil des Alkalis zu entfernen und sich dadurch das spätere Filtrieren zu erleichtern, ist es zweckmäßig, noch ein- bis zweimal mit warmem Wasser nachzuwaschen, was ebenfalls sehr schnell vor sich geht. Nunmehr wird der Rückstand vom Filter ins Becherglas zurückgespritzt, mit reichlich warmem Wasser aufgenommen und auf einem gewogenen Filter (Schleicher und Schüll Nr. 589, 12 $\frac{1}{2}$ cm Durchmesser) filtriert und mit warmem Wasser gewaschen, bis das Spülwasser keine alkalische Reaktion mehr gibt. Dieses Filtrieren geht ebenfalls ziemlich rasch. Dann wird mit verdünnter warmer Essigsäure zur Entfernung der anorganischen Salze gewaschen. Die Essigsäure wird mit Wasser entfernt; zuletzt wird mit Alkohol und Äther gewaschen, getrocknet und gewogen.

Je nach der Natur der Cellulose geht bei dem Kochen mit Kalilauge und H_2O_2 ein verschieden großer Anteil der Cellulose in Lösung. So löst sich von Kartoffelcellulose der größere Teil, von Weizen(Brot)cellulose viel weniger; von präparierter Cellulose (Watte, Filtrierpapier) löst sich auch nach vielstündigem Kochen im Wasserbade nicht der kleinste Teil. Wir erhalten also die Cellulose ähnlich, wie sie Hoffmeister^{3,4)} durch seine Chlorgemischmethode mit anschließender Behandlung mit 5%iger Natronlauge darstellte, nämlich in einer löslichen und unlöslichen Form, befreit von den inkrustierenden Substanzen. Der N-Gehalt unserer Cellulose betrug höchstens 1%, kann also im allgemeinen vernachlässigt werden. Der Aschegehalt ist bei Cellulose von Gemüse, Brot usw. meist sehr gering; in der Faecescellulose ist er dagegen sehr beträchtlich. Eine

Aschenbestimmung ist in jedem Falle unerlässlich. Die Cellulose aus Pflanzen sieht schneeweiß aus, die aus Faeces hat meist, zumal wenn die Cellulosemengen sehr gering sind, eine rauchgraue Farbe, die von nicht völlig zerstörtem Kotfarbstoff herrührt.

Unsere Methode zeichnet sich durch die Kürze der Zeit aus, die sie beansprucht. Vom Beginn des Kochens bis zum Trocknen braucht man bei der nötigen Übung etwa 5 Stunden. Wir vermeiden ferner durch die Alkoholfällung folgenden Nachteil der Lange'schen Methode: Lange fällt beim Ansäuern außer der Cellulose noch eine Menge anderer Substanzen aus, die er dann durch Alkali wieder lösen muß. Dabei ist es sehr schwierig, gerade den Punkt der Alkaleszenz zu treffen, in dem alle Substanzen außer Cellulose sich wieder lösen, ein Nachteil, der um so empfindlicher ist, als das Ansäuern und Alkalisieren wiederholt werden muß.

Im folgenden einige Resultate von verschiedenem Rohmaterial mit Kontrollbestimmungen:

Kartoffelcellulose (Trockensubstanz).

| | I. | II. |
|----|--------|--------|
| 1. | 1,35 ‰ | 1,41 ‰ |
| 2. | 1,5 ‰ | 1,49 ‰ |
| 3. | 1,38 ‰ | 1,38 ‰ |

Brot.

| | I. | II. | III. | |
|----|--------|--------|--------|------------|
| 1. | 0,38 ‰ | 0,34 ‰ | 0,34 ‰ | 0,05 ‰ N |
| 2. | 0,2 ‰ | 0,23 ‰ | 0,23 ‰ | 2 ‰ Asche. |

Rademann's Cellulosebrot (trocken)

3,22 ‰ 3,26 ‰.

Menschliche Faeces.

| | I. | II. | Nach Abzug von |
|----|--------|--------|----------------|
| 1. | 3,93 ‰ | 4,01 ‰ | 20 ‰ Asche |
| 2. | 2,31 ‰ | 2,41 ‰ | 41 ‰ |
| 3. | 1,86 ‰ | 1,85 ‰ | 41,6 ‰ |
| 4. | 1,41 ‰ | 1,47 ‰ | |
| 5. | 3,26 ‰ | 3,29 ‰ | |
| 6. | 1,97 ‰ | 1,96 ‰ | |
| 7. | 3,97 ‰ | 4,07 ‰ | |
| 8. | 1,61 ‰ | 1,55 ‰ | |

Gemüse, Pflanzen.

| | I. | II. |
|-------------------|---------|---------|
| 1. Kohlrabi, roh | 0,725 ‰ | 0,732 ‰ |
| 2. Möhren, roh | 0,73 ‰ | 0,756 ‰ |
| 3. Hafermehl | 0,282 ‰ | 0,208 ‰ |
| 4. Weißkraut, roh | 0,77 ‰ | 0,805 ‰ |
| 5. Agar-Agar | 0,634 ‰ | 0,602 ‰ |

Die Schicksale der Rohfaser und Cellulose im Verdauungskanal der Pflanzenfresser.

Erst im Jahre 1855 wurde durch Haubner²⁷⁾ entdeckt, daß das Rind von der im Futter aufgenommenen Rohfaser nur einen Bruchteil im Kot wieder ausscheidet. Hennebèrg und Stohmann^{2, 28)} führten diese Untersuchungen in exakter Weise weiter und konnten zunächst die Haubner'sche Entdeckung bestätigen; es wurde beim Ochsen stets eine große Quantität Rohfaser des Futters nicht wieder entleert. Ihre Untersuchungen ergaben weiter, daß der nicht wieder ausgeschiedene Anteil der Rohfaser für die Ernährung des Ochsen eine nicht unwesentliche Rolle spielt, insofern als er für einen großen Teil der N-freien Extraktstoffe des Futters, also hauptsächlich der Kohlehydrate, einzutreten vermag, daß also die Rohfaser des Futters einen ganz bestimmten in Zahlen ausdrückbaren Anteil an der Ernährung nimmt. Gleichzeitig konnten die Autoren zum erstenmal den exakten Beweis erbringen, daß der Teil der Rohfaser, der beim Rind zur Ausnutzung gelangt, in der Tat Cellulose von der Formel $C_{12}H_{10}O_{10}$ ist. Die prozentische Zusammensetzung des verdauten Teils der Rohfaser verschiedener Futterarten war nämlich durchschnittlich 43,5 C, 6,6 H, 49,9 O, wie man sieht, fast völlig übereinstimmend mit der Zusammensetzung der Cellulose 44,4 C, 6,2 H, 49,4 O. Von der Cellulose gelangt vor allem derjenige Teil zur Verdauung, der mit den inkrustierenden Substanzen in weniger inniger Verbindung steht. Nicht zur Auflösung gelangen das Lignin, die Kork- und Cutikularsubstanzen. Die Cellulose eines Pflanzengewebes ist also um so verdaulicher, je weniger die Zellwand die Metamorphosen der Verholzung, Verkorkung und Cutinisierung erfahren hat, denn durch diese Metamorphosen wird nicht nur der Gehalt

der Pflanze an eigentlicher Cellulose verringert, sondern auch die Lösung der noch vorhandenen im Darm erschwert. Henneberg und Stohmann waren nach diesen Ergebnissen durchaus berechtigt, eine Resorption der Cellulose im Darm nach vorheriger Lösung nach dem Vorbilde der übrigen Nahrungsbestandteile anzunehmen, den Nährwert der Cellulose gleich dem des Stärkemehls zu setzen und analog der Stärke auch der Cellulose eine eiweißsparende Wirkung zuzuschreiben.

Diese Auffassung von der Verdaulichkeit der Cellulose begegnete zunächst keinem Widerspruch, sie wurde im Gegenteil durch Nachuntersuchungen einzelner Autoren bestätigt. So konnten Kühn, Aronstein und Schulze⁸⁾ die Henneberg-Stohmann'schen Resultate als zweifellos bestätigen. V. Hofmeister⁷⁾ fand dasselbe für das Schaf, ohne allerdings ganz präzise Zahlen bieten zu können.

Erst im Jahre 1884 wurde von Tappeiner²⁹⁾ mit Bestimmtheit eine andere Ansicht über die Bedeutung der Cellulose für die Ernährung ausgesprochen. Vor Tappeiner hatte schon Wildt³⁰⁾ über Zersetzung von Cellulose im Darmkanal des Schafes durch Mikroorganismen berichtet. Zuntz³¹⁾ hatte hervorgehoben, daß durch die Henneberg-Stohmann'schen Versuche nur das eine sicher bewiesen wird, daß ein Teil der Rohfaser, d. h. des Rückstandes, der durch das Weender-Verfahren gewonnen wird, aus dem Kot nicht wieder erhalten werden kann, wobei unentschieden bleibt, ob die Cellulose wirklich verdaut oder nur insoweit verändert wird, daß sie in verdünnten Säuren und Alkalien löslich ist. Er gab der Überzeugung Ausdruck, daß durch niedere Organismen bedingte fäulnisartige Zersetzungsprozesse das wesentliche Lösungsmittel der Cellulose im Darm darstellen.

Sodann hatte noch Popoff³²⁾ gefunden, daß das Sumpfgas des Kloakenschlammes durch Cellulosezersetzung entstehe und dieselbe Möglichkeit auch für den Tierdarm ins Auge gefaßt. Hiervon ausgehend wies Tappeiner nach, daß in Fleischextraktlösung unter dem Einfluß von Pansenbakterien Papier und Baumwolle unter starker Gasentwicklung durch einen Gärungsprozeß gelöst werden. Dabei wird der größere Teil

der Cellulose in flüchtige Fettsäuren (hauptsächlich Essigsäure, weniger Buttersäure) verwandelt, während der kleinere Teil gasförmig in Form von Kohlensäure und Sumpfgas entweicht. Eine etwaige Beteiligung der Eiweißkörper an der Methanbildung wird durch Tappeiner in Abrede gestellt. Da nun einerseits im Pansen und Dickdarm Lösung von Cellulose beobachtet wird, andererseits in diesen Organen aber auch die oben genannten Gärungsprodukte nachgewiesen wurden, wo sie mit größter Wahrscheinlichkeit aus der gelösten Cellulose entstehen, so ist nach Tappeiner die Cellulosesumpfgasgärung der einzige Prozeß, durch welchen die Cellulose im Verdauungskanal der Wiederkäuer gelöst wird. Die im Pansen begonnene, durch den Labmagen unterbrochene Cellulosegärung wird im Dickdarm fortgesetzt. Das Endergebnis der Tappeiner'schen Untersuchungen ist demnach das, daß die Bedeutung der Cellulose als Nährstoff und als Spannkraft lieferndes Material ganz bedeutend herabsinkt, insofern als höchstens den flüchtigen Fettsäuren ein gewisser Nährwert zugesprochen werden kann. Damit würde der Cellulose ein Platz außerhalb der Reihe der übrigen Kohlehydrate angewiesen, denn es würde von 100 Teilen Cellulose nicht viel mehr als die Hälfte der zersetzten Cellulose sich an den Ernährungsvorgängen des Organismus beteiligen können. Nur insoweit hat nach Tappeiner die Cellulosegärung einen gewissen Wert, als sie dazu beiträgt, die Pflanzenzellen mechanisch zu zerstören, wodurch der Aktion der Verdauungsorgane vorgearbeitet und den Verdauungssäften direkter Zugang zum Zellinhalt geschaffen wird.

Diese anscheinend unzweideutigen Tappeiner'schen Untersuchungen sind in der Folge nicht ohne Widerspruch geblieben. Henneberg und Stöhmann³³⁾ betonten in einer Kritik der Tappeiner'schen Arbeit, daß es für die Zwecke der Ernährung gleichgültig sei, ob die Lösung der Cellulose durch ungeformte Fermente oder durch Bakterien erfolge. Sie finden unter Beibehaltung der Tappeiner'schen Zahlen, nach Korrektur eines Berechnungsfehlers bei Tappeiner, daß der Nährwert von 100 g vergorener Cellulose folgendermaßen zusammengesetzt ist: 15% Methan, 74% flüchtige Fettsäuren, 11%

Gärungswärme. Wenn also wirklich nach Tappeiner Gärung stattfindet und die gesamte Sumpfgasmenge für den Organismus verloren geht, so bleibt die Cellulose trotzdem immer noch ein Nährstoff von hoher Bedeutung, da ihr Nährwert eben nur um den Betrag von 15% Sumpfgas verringert wird. Es würden dann noch 266 g Cellulose mit 100 g Fett isodynam sein. Die Gärungswärme und die flüchtigen Fettsäuren kommen dem Organismus zugute, denn es konnte Wilsing³⁴⁾ nachweisen, daß von 157 g im Organismus gebildeter flüchtiger Säuren fast nichts im Harn und Kot ausgeschieden wurde. Ähnliche Resultate hatte v. Knieriem¹¹⁾, auch Mallèvre³⁵⁾ mußte dies bestätigen und E. v. Wolff³⁶⁾ schrieb den flüchtigen Fettsäuren einen Nährwert zu, welcher dem der Kohlehydrate nur wenig nachstehen sollte.

Henneberg und Stohmann³³⁾ bezweifeln übrigens, daß die Zersetzung der Cellulose im Darm so verläuft, wie Tappeiner glaubt. Sie halten vielmehr die Annahme eines Übergangsstadiums für wahrscheinlicher, welches zwischen der unlöslichen Cellulose und den Gärungsprodukten liegt und in welchem die Cellulose in einen löslichen Körper verwandelt wird. Wenn ein solcher Körper existiert, so wird der resorbierte Teil desselben und der Teil, der vergoren wird, je nach der Energie der Gärungserreger und der Resorptionskraft des Darmes ganz verschieden sein müssen. Daß die Energie der Gärungsbakterien nicht sehr groß sein kann, folgern sie aus dem langsamen Eintritt und Verlauf der Gärungen.

Auch Lehmann³⁷⁾ erhebt begründete Bedenken gegen die Tappeiner'sche Lehre. Er ist der Ansicht, daß Tappeiner die Rolle, die Eiweiß und Kohlehydrate als Quelle des Sumpfgases im Darm spielen, unterschätzt. Er bemängelt vor allem, daß Tappeiner keinesfalls die Nichtbeteiligung der N-freien Extraktstoffe an der Sumpfgasgärung überzeugend dargetan hat, und folgert daraus weiter, daß der von Henneberg und Stohmann³³⁾ berechnete Verlust von 15% Spannkraft (welcher sich auf Grund neuer Zahlen von Tappeiner³⁸⁾ auf 17% erhöhen würde) eher zu hoch als zu tief gegriffen sei. Hoppe-Seyler³⁹⁾ bemerkt zur Frage der Sumpfgasentwicklung

im Darm, daß das Auftreten von Sumpfgas im Darm des Menschen und der Tiere nicht allein auf Spaltung von Cellulose zu beziehen sei, sondern auf Fäulnis der übrigen, mit der Nahrung eingeführten Körper. Die gleiche Ansicht äußern Henneberg und Pfeiffer⁴⁰⁾ und verweisen dabei auf Versuche von Pettenkofer und Voit, welche beim Hund bei reiner Fleischnahrung Methan nachweisen konnten.

Was die Tierversuche betrifft, welche über den Nährwert der Cellulose in positiver Weise Auskunft geben, so handelt es sich um Versuche von v. Knieriem¹¹⁾ und Lehmann.³⁷⁾ v. Knieriem experimentierte mit Kaninchen und fand, daß durch die bei der Lösung der Cellulose entstehenden Produkte sowohl Eiweiß wie Fett gespart werden. Allerdings ist keiner der Versuche so ausgeführt, daß die Berechnung eines Vertretungswertes der Cellulose möglich wäre. Lehmann hat in sehr ausführlichen und exakten Versuchen an Hammeln nachgewiesen, daß der verdauten Rohfaser eiweißsparende Wirkung zukommt und daß 100 g Cellulose in dieser Beziehung etwa 75 g Rohrzucker gleichkommen.

Aber auch Anhänger hat die Tappeiner'sche Lehre gefunden. Hier sind vor allem die Tierversuche von Weiske⁴¹⁾ zu nennen. Dieser Autor zeigte am Hammel, daß die reine Cellulose des Haferstrohs keine eiweißsparende Wirkung ausübt, sondern lediglich die N-freien Extraktivstoffe des Rohmaterials. Gleichzeitig unterzog er v. Knieriem's¹¹⁾ Versuche einer ungünstigen Kritik, was v. Knieriem¹²⁾ zu einer Entgegnung veranlaßte, indem er auf Fehler in den Weiske'schen Versuchen aufmerksam machte. Weiske⁴³⁾ hat daraufhin zur Sicherung seiner Resultate einen von v. Knieriem¹¹⁾ ausgeführten Kaninchenversuch nach etwas anderen und wohl auch richtigeren Prinzipien wiederholt und dieselben Resultate wie beim Hammel⁴¹⁾ erzielt. Endlich hat noch E. v. Wolff⁴⁴⁾ die Bedeutungslosigkeit der Cellulose für das Pferd nachgewiesen. Versuche, welche indessen nach Lehmann³⁷⁾ die Frage über den Nährwert der Cellulose noch nicht gelöst haben. Weiske⁴⁵⁾ hat dann später noch gefunden, daß auch die Essigsäure nicht eiweißsparend wirkt, zu welcher Ansicht sich auch Mallèvre³⁵⁾ bekennt, der

den von Henneberg und Stohmann³³⁾ berechneten Nährwert der Cellulose für zu hoch erklärt. Für die Tappeiner'sche Lehre plädieren schließlich noch Zuntz⁴⁶⁾, welcher die Gleichwertigkeit der Cellulose mit der Stärke für eine nur scheinbare hält, und endlich in neuerer Zeit Müller⁴⁷⁾, welcher auf Grund seiner später näher zu besprechenden Versuche glaubt, der Cellulose für den Stoffwechsel nur die Bedeutung zusprechen zu sollen, die Tappeiner ihr gegeben hat.

Aus dem Vorstehenden dürfte zur Genüge hervorgehen, wie große Unklarheiten in bezug auf den Nährwert und die Verdaulichkeit der Cellulose auch heute noch existieren und wie sich die Ansichten der einzelnen Autoren häufig diametral gegenüberstehen. Eine Frage insbesondere harret der Lösung:

Wird die Cellulose im Verdauungskanal der Pflanzenfresser durch ungeformte Verdauungsfermente in ein lösliches Stadium (Zucker?) übergeführt und resorbiert, oder erfolgt die Lösung der Cellulose ausschließlich durch Gärungs- und Fäulnisvorgänge unter der Mitwirkung von Mikroorganismen?

Wenn man die Literatur daraufhin durchsieht, so stößt man hin und wieder auf Beobachtungen, welche die Möglichkeit einer Lösung der Cellulose im Darm durch ungeformte Fermente näher rücken. Tappeiner²⁹⁾ begründete seine Lehre unter anderem auch damit, daß, wenn die Cellulose wirklich ein für den Organismus wertvoller Nährstoff sei, wohl zu erwarten wäre, daß dessen Ausnutzung nicht der Mitwirkung der Bakterien überlassen bliebe, sondern wie in allen anderen Fällen durch ein spezifisches vom Organismus selbst geliefertes Enzym vermittelt würde. Nun lehrt aber schon die Pflanzenphysiologie, daß solche Enzyme in der Tat existieren. Hierher gehören z. B. die Vorgänge bei der Keimung mancher Pflanzensamen, wobei die Zellstoffe zweifellos durch Einwirkung eines noch unbekanntes Enzyms gelöst werden. Auch das Eindringen von Pilzmycelien in Holz läßt sich nur durch die Annahme erklären, daß die Pilze an ihre Spitze holzlösende Fermente ausscheiden. Ich brauche auf diese pflanzenphysiologischen Tatsachen nicht näher einzugehen, um so weniger als sich bei Biedermann und Moritz⁴⁸⁾

ausführliche Literaturangaben hierüber finden. Aus diesen geht hervor, daß in der Pflanzenphysiologie neben der zuckerlösenden Diastase auch ein spezifisches Celluloseenzym, eine Cytase, existiert.

Berichte über das Vorkommen celluloselösender Enzyme beim Tier sind sehr spärlich. Mac Gillawry [Archiv neerland. Bd. XI; cit. nach Biedermann und Moritz⁴⁸)] will aus dem Processus vermiformis des Kaninchens ein Cellulose lösendes Ferment durch Glycerin extrahiert haben. Schmulewitsch [Über das Verhalten der Verdauungssäfte zur Rohfaser der Nahrungsmittel. Bulletin de l'Académie Imp. de St. Petersburg, 1879; cit. nach Biedermann und Moritz⁴⁸)] erzielte eine Lösung nicht präparierter Futterstoffe (Heu, Gras, Gemüseblätter) durch Einwirkung von Pankreatin. Durch V. Hofmeister⁴⁹) wurden später ausgedehnte Versuche über die Wirkung des gemischten Speichels vom Schaf, Rind und Pferd⁵⁰) auf lufttrockene Rohfaser ausgeführt mit dem Resultat, daß Schafspeichel Cellulose reichlich löste, schon weniger Rinderspeichel; Pferdespeichel versagte vollständig. Beim Schaf geht die Lösung der Cellulose im Pansen unter Einwirkung des gemischten Speichels vor sich. Der Magensaft der Haustiere übt nach Hofmeister keine Wirkung auf Cellulose aus, ebenso wenig der Pankreassaft. Dagegen lösen wieder Cellulose die Coecalflüssigkeit, sowie die Flüssigkeit aus den ventralen und dorsalen Lagen des Colon, ferner die Rektalflüssigkeit. Öfters, aber nicht immer, gelang es Hofmeister, das zu erwartende Umwandlungsprodukt der Cellulose, nämlich Zucker, nachzuweisen. Doch war es dabei nicht ausgeschlossen, daß die inkrustierenden Substanzen den Zucker geliefert hatten.

Im Jahre 1897 hat Knauthe⁵¹) angegeben, daß ein Extrakt des Hepatopankreas vom Karpfen Cellulose unter Zuckerbildung kräftig zu lösen vermöge. Biedermann und Moritz⁴⁸) fügten hierzu im Jahre 1898 die interessante Entdeckung, daß das Sekret der Mitteldarmdrüse (Leber) unserer einheimischen großen Landschnecken (*Helix pomatia*) ein überaus wirksames Enzym enthält, welches Cellulose höchst energisch unter Bildung von Zucker löst. Da Knauthe und Biedermann und Moritz ihre

Lösungen immer mit Thymol und Chloroform versetzten, kann eine Mitwirkung von Spaltpilzen wohl ausgeschlossen werden. Beide Arbeiten sind 1901 von Müller⁴⁷⁾ einer Nachprüfung unterzogen worden, wobei die Ergebnisse von Biedermann und Moritz bestätigt wurden, während dagegen die Knauthé'schen Resultate in neuen entsprechenden Versuchen nicht wieder erhalten werden konnten. Bei seinen eigenen Untersuchungen konnte Müller mit Panseninhalt der Ziege keinen Zucker aus Cellulose herstellen.

Durch alle diese Arbeiten wird die Existenz einer Cytase auch beim Tier wenn nicht sicher bewiesen, so doch sehr wahrscheinlich gemacht. Die Reingewinnung derselben ist allerdings noch nicht gelungen.

Der Vollständigkeit halber sei noch darauf hingewiesen, daß man in der Pflanzenphysiologie auch Lösung von Cellulose durch Bakterien vielfach beobachtet hat. So fand Mitscherlich [cit. nach Tappeiner²⁹⁾], daß bei der Naßfäule der Kartoffeln die Zellwände durch Bakterien gelöst werden. Vielfach sind auch Bakterien gefunden und gezüchtet worden, welche Cellulose zu lösen vermögen (*Amylobacter butyricus*, *Vibrio Regula* u. a.). Genauere Literaturangaben hierüber sind bei Biedermann und Moritz⁴⁸⁾ S. 224 zu finden. In neuerer Zeit sind hierher gehörende Beobachtungen von van Iterson⁵²⁾ gemacht worden: danach wird Cellulose auch bei völligem Luftzutritt von Mikroben zerstört, besonders von *Bacillus ferrugineus*. Die aeroben Bakterien spalten aus der Cellulose Produkte ab, welche für bestimmte andere Mikrobenarten, nämlich Spirillen, als Nahrung dienen können. Die Cellulose soll somit an erster Stelle die Verbreitung der Spirillen in der Natur beherrschen. Auch von anaeroben Bakterien wird nach van Iterson Cellulose gelöst. Fungi liefern ein spezifisches Enzym «Cellulase», welches die Verdauung der Cellulose zustande bringt.

Weitere Beobachtungen über die Zersetzung der Cellulose durch Mikroorganismen sind die bereits erwähnten Popoff'schen³²⁾ Untersuchungen über die Schlammgärung der Cellulose und Untersuchungen von Weiske⁵³⁾ über die beim Einsäuern des Grünfutters entstehenden Rohfaserverluste. Er fand, daß das

trockene Lupinensauerfutter 18,1 % Rohfaser weniger enthielt als die gewöhnliche dem Einsäuern nicht unterworfenene trockene Lupine; beim Maissauerfutter betrug der Verlust an Rohfaser 29,4 %, bei Luzernesauerfutter 12,4 %. Weiske bezieht diesen Rohfaserverlust auf Gärungsvorgänge infolge von Spaltpilzwirkung.

Eine feste Stellungnahme zu der einen oder anderen Frage ist, wie aus dem Vorstehenden hervorgeht, auf Grund des bisher beigebrachten Materials noch nicht möglich. Wahrscheinlich kommen in Wirklichkeit sowohl Celluloseverdauung wie Cellulosegärung vor. Ich beschließe dieses Kapitel, indem ich den vermittelnden Standpunkt, den Ellenberger⁵⁴⁾ zu der noch offenen Frage einnimmt, kurz zitiere: «Tappeiner's Versuche beweisen, daß die Cellulose der Sumpfgasgärung verfallen kann und daß dieselbe im Verdauungsschlauch teilweise tatsächlich in Methan übergeht. Es ist damit aber nicht dargetan, daß die gesamte gelöste Cellulose zu Sumpfgas wird und daß dieses Gas für den Körper wertlos ist. Es ist wohl möglich, daß die Cellulose zu Sumpfgas wird, wenn sie überflüssig ist, während sie im gelösten Zustande resorbiert wird, wenn sie nötig ist. Die Cellulose geht wahrscheinlich zunächst in eine zuckerähnliche lösliche Modifikation über, welche teilweise resorbiert wird und teilweise der Sumpfgasgärung verfällt. Die Resorptionskraft im Darmkanal entscheidet darüber, ob viel oder wenig Cellulose zu Sumpfgas wird.»

Die Ausnutzung der Rohfaser beim Tier.

I. Ausnutzung unter normalen Verhältnissen.

a) Beim Pflanzenfresser.

Wie schon erwähnt, hatte Haubner²⁷⁾ die Ausnutzung der Rohfaser im Darm der Pflanzenfresser zuerst festgestellt. Diese Ausnutzungsversuche sind seitdem in großer Anzahl weitergeführt worden. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über den Umfang der Rohfaserausnutzung der verschiedensten Futtermittel bei den wichtigsten Pflanzenfressern.

| Citat | Tier | Futter | Ausnutzung der Rohfaser in Prozent |
|--|---------|--------------------------------------|---|
| Haubner- Susssdorf ²⁷⁾ | Kuh | Wiesenheu | 61 |
| | | Wiesenheu + Gerstenstroh | 61 |
| Haubner- Susssdorf ⁵⁵⁾ | Kuh | Wiesenheu | 78 |
| Henneberg und Stohmann ²⁾ | Ochse | Haferstroh | 55 |
| | | Weizenstroh | 52 |
| | | Bohnenstroh | 36 |
| | | Kleeheu | 39 |
| | | Wiesenheu | 60 |
| V. Hofmeister ⁷⁾ | Hammel | Wiesenheu | 53,9 |
| Derselbe ⁵⁶⁾ | Pferd | Hafer + Heu + Strohhäcksel | 20,04 (für das Pferd zum erstenmal nachgewiesen) |
| Kühn, Aronstein und Schulze ⁸⁾ | Ochse | Kleeheu | 53,6 |
| | | Wiesenheu | 64,8 |
| | | Haferstroh | 63,8 |
| Stohmann ⁵⁷⁾ | Ziege | Wiesenheu | 58 |
| V. Hofmeister ⁵⁸⁾ | Schaf | Wiesenheu + Haferstroh + Rüben | 40 |
| Kühn und Fleischer ⁵⁹⁾ | Kuh | Wiesenheu | 60 |
| Henneberg ⁶⁰⁾ | Hammel | Wiesenheu | 59,7 |
| Weiske ⁶¹⁾ | Schwein | Wicken + Hafer | 48,87 |
| Derselbe ⁶²⁾ | Hammel | Eicheln | 62,24 |
| Wilsing ³⁴⁾ | Ziege | Wiesenheu | 60 |

| Citat | Tier | Futter | Ausnutzung der Rohfaser in Prozent |
|--|-----------|---|--|
| v. Knieriem ⁴¹⁾ | Kaninchen | Schnittkohl | 25,36 |
| | | Heu | 52,47 |
| | | Filtrierpapier | 54,3 |
| | | Filtrierpapier | 28,08 |
| | | Möhrenmehl | 65,3 |
| | | Sägespäne | 20,49 |
| | | Kohlblätter | 77,99 |
| | | Nußschalenpulver | 5,03 |
| | | Kleeheukotrohffaser (welche bereits einmal den Darmkanal passiert hat) | 40,79 |
| | | Kleeheukotrohffaser (welche den Darm bereits zweimal passiert hat) | 22,04 |
| | | Strohrohffaser | 22,59 |
| Weiske, Schulze und Flechsig ⁴¹⁾ | Hammel | Haferstroh | 47,48 |
| | | Bohnenschrot | 52,74 |
| Lehmann ³⁷⁾ | Hammel | Wiesenheu + Erbsen | 62,2 |
| Henneberg und Pfeiffer ⁴⁰⁾ | Hammel | Wiesenheu + Gerstenschrot | 55,8 60,6 |
| | | | |
| Lehmann und Vogel ⁶³⁾ | Hammel | Wiesenheu | 60,71 |
| | | Reisfuttermehl | 34,37 |
| | | Steckrüben | 100 |
| | | Gerstenschrot | 100 |

Die Tabelle zeigt, daß von sämtlichen verfütterten Rohfaserarten bei sämtlichen Tieren mehr oder weniger große Anteile ausgenutzt wurden; selbst die härteste Rohfaser (Nußschalenpulver, Sägespäne) konnte sich der Ausnutzung nicht ganz entziehen. Die höchsten Ausnutzungswerte sind die für Steckrüben und Gerstenschrot beim Hammel ⁶³⁾, deren Roh-

faser vollständig zur Ausnutzung kam. Die Untersuchungen wurden alle mittels des Weender-Verfahrens in der ursprünglichen Form oder mit kleinen Modifikationen ausgeführt.

b) Beim Fleischfresser.

Hierüber existieren nur einige wenige Untersuchungen, welche die folgende Tabelle wiedergibt.

| Citat | Tier | Futter | Ausnutzung der Rohfaser |
|---------------------------------|------|---------------|-------------------------|
| Voit und Hofmann ⁶⁴⁾ | Hund | — | 0 |
| v. Knieriem ¹¹⁾ | Hund | Watte | 0 |
| | | Leinwand | 0 |
| | | Gras | 0 |
| | Igel | Strohrohfaser | 0 |

Es findet sich beim Fleischfresser die interessante Tatsache, daß der Verdauungskanal desselben Rohfaser auszunutzen nicht imstande ist.

c) Bei Vögeln.

Die Untersuchungen über die Rohfaserausnutzung bei Vögeln sind spärlich. Sie haben, wie die Tabelle zeigt, auch für den Vogel das Unvermögen, Rohfaser auszunutzen, dargetan.

| Citat | Tier | Futter | Ausnutzung der Rohfaser |
|----------------------------|--------|----------------|-------------------------|
| Weiske ⁶⁵⁾ | Gans | Leontodum | 0 |
| | | Taraxacum | |
| | | Schachtelhalm | 0 |
| v. Knieriem ¹¹⁾ | Hühner | Watte | 0 |
| | | Filtrierpapier | 0 |
| | | Roggenstroh | 0 |
| | | Schnittkohl | 0 |

II. Ausnutzung der Rohfaser unter dem Einfluß verschiedener Faktoren.

Der Grad der Ausnutzung der Rohfaser durch den Pflanzenfresser kann durch die verschiedensten Einflüsse verändert

werden. So spielt das Alter der Tiere eine nicht unwesentliche Rolle. Nach Enzmann⁶⁶⁾ verdauen Tiere um so weniger Holzfaser, je jünger sie sind. Auch die Ausnutzung bei verschiedenen Tierrassen ist untersucht worden: V. Hofmeister⁶⁷⁾ verfütterte Rapskuchen, Kartoffeln, Heu- und Haferstroh an Merino-Hammel und Southdown-Franken-Hammel und fand bei den ersteren einen Ausnutzungskoeffizienten von 45,3%, bei letzteren 41,5%: die Differenz hält er für unwesentlich. Weiske⁶⁸⁾ fand bei einem Futtergemisch von Heu, Gerste und Bohnen beim Southdown-Merino-Hammel 62%, beim Rambouillet-Hammel 63% Ausnutzung, also auch hier kein wesentlicher Unterschied.

Durch Weiske⁶⁹⁾ wurde die Ausnutzung gleicher Quantitäten ein und desselben Futters je nach Verabreichung desselben in einer oder mehreren Portionen studiert. Er gab einem Hammel Heu mit Hafer und erzielte, wenn er dieses Futter auf einmal verabreichte, 36,06%, wenn es in 4 Portionen gereicht wurde, nur 33,8% Rohfaserausnutzung. Derselbe Autor⁷⁰⁾ untersuchte ferner den Einfluß größerer oder kleinerer Portionen desselben Futters auf die Rohfaserausnutzung: von 93,5 g Hafer wurden 19,6% Rohfaser, von 84,5 g Hafer 10,4%, von 52 g Hafer 34,7% Rohfaser ausgenützt.

Daß der Körperzustand des jeweiligen Tieres die Verdauung der Rohfaser bedeutend beeinflussen muß, ist a priori zu erwarten. v. Knieriem⁴²⁾ hat in dieser Hinsicht nachgewiesen, daß im Stickstoffhunger die Verdauungsfähigkeit der Tiere für Rohfaser bedeutend geschwächt ist. Ein Kaninchen, welches im N-Gleichgewicht 57,64% Rohfaser verdaute, nutzte im N-Hunger nur 34,29% aus.

Weiterhin hat der Zustand des Futters eine nicht zu unterschätzende Bedeutung für die Rohfaserverdauung. Kühn⁷¹⁾ fand bei Kühen die Rohfaser des frischen Grünklee zu 58,2%, die des trockenen Grünklee zu 52% ausgenutzt. Pfeiffer⁷²⁾ verfütterte an Hammel frische Rübenschnitzel mit 73,65 und 73,14%, trockene Rübenschnitzel mit 70,93 und 70,94% Rohfaserausnutzung. Schon die mehr oder weniger sorgfältige Art

und Weise, wie das Futter getrocknet wird, ist für die Rohfaserverdauung maßgebend, wie Kellner⁷³⁾ gezeigt hat: Sorgfältig getrocknete Luzerne ergab beim Hammel einen Verdauungskoeffizienten von 48,13%, auf dem Felde beregnete und getrocknete Luzerne einen solchen von 45,26%. Auch die sonstige Zubereitung des Futters kommt in Frage. Weiske⁷⁴⁾ fand die Rohfaser der grünen Esparsette beim Hammel zu 42,16%, die des Esparsettesauerfutters nur zu 28,77% verdaut. Die Rohfaser von bei Hochdruck gedämpften Lupinen wurde nach Gabriel⁷⁵⁾ beim Hammel zu 68,92%, die der ursprünglichen Lupinen zu 77,18% ausgenutzt.

Interessant ist schließlich noch der Einfluß des verschiedenen zum Rauhfutter gereichten Beifutters auf die Verdauung der Pflanzenfaser. Als erster hat wohl Crusius⁷⁶⁾ beobachtet, daß beim Rind die Rohfaserausnutzung durch Zusatz von Öl von 34% auf 53% gesteigert wurde. Das gleiche Resultat erzielten später beim Rind Henneberg und Stohmann²⁾ durch Beigaben von Rüböl; auch hierbei zeigte sich das Fett als ein mächtiges Beförderungsmittel der Rohfaserverdauung, ein Verhalten, welches um so größeres Interesse bietet, als ein gleich günstiger Einfluß des Fettes auf die Verdauung der sonstigen stickstofffreien Nährstoffe nicht beobachtet werden konnte. Nur auf die Verdauung der Protein-substanz schien das Fett gleichfalls fördernd einzuwirken. Für andere Tierarten konnte der günstige Einfluß des Fettes allerdings nicht konstatiert werden. V. Hofmeister⁷⁾ verfütterte an Hammel, welche vom Wiesenheu-Haferfutter die Rohfaser zu 43,41% verdauten, zu diesem Futter Baumöl in steigenden Mengen und sah den Ausnutzungskoeffizienten der Rohfaser mit der steigenden Öldosis sinken: bei Zusatz von 4 Lot Baumöl wurden 19,23%, bei 6 Lot Öl 12,19%, bei 8 Lot Öl 7,06% Rohfaser verdaut. Ähnliche Verhältnisse fand Stohmann⁵⁷⁾ für die Ziege: Hier wurde der Wiesenheuausnutzungskoeffizient der Rohfaser durch Zusatz von Mohnöl von 58% auf 53% herabgedrückt. Wicke und Weiske⁷⁷⁾ führten zwei Versuchsreihen an Hammeln mit Ölbeifutter aus:

| | Hammel I. | Hammel II. |
|------------------------------|-----------|------------|
| Rohfaserausnutzung | | |
| Wiesenheu + Weizenkleie | 62,68 % | 66,93 % |
| Wiesenheu + Weizenkleie + Öl | 60,45 % | 60,5 % |

Auch hier hatte also das Fett keinen günstigen Einfluß.

Verschiedentlich ist ferner der Einfluß von Stärkebeigaben zum Rauhfutter geprüft worden. Henneberg und Stohmann²⁾ sahen dabei eine verminderte Ausnutzung der Rohfaser beim Rind. Spätere Untersuchungen von Stohmann⁵⁷⁾ an Ziegen ergaben dasselbe Resultat: Der Verdauungskoeffizient der Rohfaser bei Wiesenheufutter sank nach Zulage von Stärkemehl von 58% auf 49%. Wicke und Weiske⁷⁷⁾ untersuchten den Einfluß des Stärkebeifutters an 2 Hammeln:

| | Hammel I. | Hammel II. |
|----------------------------------|-----------|------------|
| Rohfaserausnutzung | | |
| Wiesenheu + Weizenkleie | 62,68 % | 66,93 % |
| Wiesenheu + Weizenkleie + Stärke | 57,59 % | 57,34 % |

In derselben Weise wie reines Stärkemehl wirken auch stärkehaltige Futtermittel, und zwar spielt dabei vor allem auch die Quantität, in der das stärkehaltige Beifutter verabreicht wird, eine Rolle, wie Hofmeister⁷⁾ gezeigt hat. Derselbe fand den Ausnutzungskoeffizienten der Wiesenheurohfaser beim Hammel zu 43,41%, nach Zulage von 2 Pfund Hafer zu 35,78%, nach Zulage von 3 Pfund Hafer zu 22,76%.

Die Wirkung von Zuckerbeigaben zum Rauhfutter entspricht der der Stärke. Stohmann⁵⁷⁾ verfütterte in zwei Fällen an Ziegen Zucker zum Wiesenheu und erzielte damit Sinken der Rohfaserausnutzung von 58% auf 52 resp. 50%. Weiske⁴⁵⁾ fand beim Hammel bei einem Futter, welches aus Heu, Erdnußkuchen, Stärke, Rohrzucker und Kochsalz zusammengesetzt war, 66,6% Rohfaserausnutzung, nach Zusatz von Traubenzucker nur 58,4%.

Es war demnach die Wirkung von Stärke und Zucker eine ungünstige und zwar sowohl beim Rind wie beim Schaf, im Gegensatz zu der wechselnden Wirkung des Fettes. Tappeiner²⁹⁾ erklärt diese bei Kohlehydratbeifutter eintretende Verdauungsdepression vom Standpunkt seiner Gärungstheorie

so, daß die Gärungserreger sich auf die Kohlehydrate werfen und die Rohfaser teilweise unangegriffen lassen.

Zum Schluß seien noch einige Untersuchungen von Weiske über den Einfluß von Säuren auf die Ausnutzung der Rohfaser erwähnt. In dem einen Falle⁷⁸⁾ verfütterte Weiske an einen Hammel einmal normales Heu mit 63,23% Rohfaserausnutzung, darauf Heu, welches mit verdünnter Schwefelsäure getränkt war, mit 63,69% Ausnutzung. Die Ausnutzung blieb in diesem Falle also fast unverändert. In einem anderen Falle⁴⁵⁾ prüfte Weiske den Einfluß der Milchsäure (in Form von milchsaurem Calcium) beim Hammel und sah dabei die Rohfaserausnutzung von 60,8% auf 57,7% sinken.

Die Verdaulichkeit der Rohfaser und Cellulose beim Menschen.

Die zuerst hierüber angestellten Versuche von Frerichs und später von Hofmann [cit. nach Weiske⁷⁹⁾] schienen die Frage, ob Cellulose für den Menschen ein Nährstoff sei, zu verneinen. Indessen war in allen diesen Versuchen eigentlich nur nachgewiesen, daß entweder durch künstliche Einwirkung von menschlichen Verdauungssäften auf rohe Pflanzenteile, oder bei Aufnahme von präparierter, jedenfalls älterer Cellulose neben hinreichend anderen Nahrungsstoffen eine wesentliche Veränderung der Cellulose nicht erfolgte. Es war mithin immer noch möglich, daß eine Verdauung der Cellulose bei ausschließlich vegetabilischer Nahrung stattfinden konnte und daß, wenn auch nicht die ältere, so doch ganz junge Cellulose, und zwar in Form von gekochtem Gemüse, der Einwirkung der Verdauungssäfte beim Menschen nicht ganz entging. Von dieser Überlegung ausgehend hat Weiske⁷⁹⁾ die ersten exakten Rohfaserausnutzungsversuche am Menschen ausgeführt und dabei in der Tat eine ziemlich gute Ausnutzung der Rohfaser gefunden. Die Resultate der Versuche finden sich in der folgenden Tabelle, welche sämtliche bisher ausgeführten Untersuchungen über die Ausnutzung der Rohfaser beim Menschen in chronologischer Reihenfolge enthält. Interessanterweise fand Weiske, wie Henneberg und Stohmann²⁾ für das Rind, daß der von der

Rohfaser zur Verdauung gelangte Anteil mit großer Wahrscheinlichkeit aus Cellulose bestanden hat.

| Citat | Nr. | Dauer des Versuchs | Nahrung | Rohfasergehalt der Nahrung | Rohfasergehalt des Kotes | Ausnutzung der Rohfaser in Prozent |
|-----------------------------|-----|--------------------|--|----------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| Weiske ⁷⁹⁾ | 1 | 3 Tage | Möhrengemüse Selleriesalat Kohlgemüse | 37,48 | 13,963 | 62,7 |
| | 2 | 3 Tage | Dieselbe Nahrung | 31,057 | 16,372 | 47,3 |
| v. Knieriem ¹¹⁾ | 1 | 1 Tag | Gekochte Schwarzwurzel | 3,3675 | 3,2196 | 4,4 |
| | 2 | 1 Tag | Kopfsalat roh ohne Mittelrippen | 1,263 | 0,9133 | 25,32 |
| Wicke ¹²⁾ | 1 | 3 Tage | Brot aus geschältem Roggen | 20,24 | 14,72 | 27,3 |
| | 2 | 3 Tage | Brot aus ungeschältem Roggen | 27,9 | 25,9 | 7,1 |
| Rubner-Wicke ¹²⁾ | 1 | | Brot I | 0,59 | 0,3 | 49,2 |
| | 2 | | Brot II (stärker cellulosehaltig) | 2,04 | 0,96 | 53 |
| | 3 | | Brot III (viel Cellulose enthaltend) | 8,27 | 7,96 | 4,1 |
| Mann ¹⁷⁾ | 1 | | Feines Weizenbrot | | | ca. 50 |
| Bárány ⁸²⁾ | 1 | 4 Tage | Rademanns Cellulosebrot, daneben Fleisch, Eier, Butter, Rahm, Zucker | 137,7 | 80,1 | 58,2 |
| | 2 | 4 Tage | Dieselbe Nahrung | 96,4 | 72,2 | 74,9 |

Es war nämlich der Kohlenstoffgehalt der Faecesrohfasern nicht unbedeutend höher als der der Nahrungsrohfasern, wie die folgende Zusammenstellung ergibt:

einer täglichen Zufuhr von 53,8 g Hülsen in den Faeces nur 23,9 g. Das Übrige mußte zerkleinert worden sein.

Schließlich haben noch Mann¹⁷⁾ Ausnutzungsversuche mit Weizenbrot und Bárány⁸²⁾ mit Rademann's Cellulosebrot ausgeführt, deren Resultate aus der Tabelle zu ersehen sind.

Es darf nicht übersehen werden, daß sämtliche genannten Untersuchungen am Menschen mit Hilfe des Weender-Verfahrens ausgeführt wurden, daß die gefundenen Werte also auf Rohfaser zu beziehen sind.

Die Ergebnisse der Versuche lassen sich kurz dahin zusammenfassen: Daß der Mensch in gleicher Weise wie der Pflanzenfresser imstande ist, Rohfaser — und zwar wahrscheinlich die Cellulose der Rohfaser — zu verdauen, daß dabei die Beschaffenheit der Rohfaser eine große Rolle spielt und daß, wie auch Schmidt und Strasburger¹⁵⁾ meinen, die persönliche Fähigkeit, Cellulose zu lösen, individuell verschieden ist.

Bezüglich der Versuche von Bárány muß darauf hingewiesen werden, daß bei der stark eiweißhaltigen Kost (Fleisch, Eier) derselben das Weender-Verfahren nach Mann¹⁷⁾ wohl nicht ganz einwandfreie Werte ergeben haben dürfte.

Es sind also im ganzen noch recht wenig Untersuchungen am Menschen ausgeführt worden, und diese bestimmen, wie gesagt, nur die Rohfaserausnutzung. Dagegen fehlt es so gut wie gänzlich an Versuchen, bei denen mit einer Methode gearbeitet worden ist, welche die eigentliche Cellulose in Nahrungsmitteln und Faeces bestimmt. Der einzige hierher gehörige Versuch stammt von W. Hoffmeister.³⁾ Dieser prüfte an sich selbst die Ausnutzung seiner Rohcellulose und seiner löslichen Cellulose; für die Rohcellulose, von der er 50 g in der Nahrung nahm, fand er 5,6% Ausnutzung, von 50 g löslicher Cellulose wurden 75,7% ausgenützt.

Ich bin nun in der Lage, über eigene Untersuchungen über die Celluloseausnutzung des Menschen berichten zu können. Meine Versuche unterscheiden sich von den Hoffmeister'schen prinzipiell dadurch, daß dabei die Cellulose in ihrer natürlichen Form verabreicht wurde, nicht wie bei Hoffmeister in Form

präparierter Cellulose. Von dieser letzteren mit mehr oder weniger eingreifenden Chemikalien behandelten kann man wohl ohne weiteres annehmen, daß sie der Einwirkung der Verdauungssäfte größeren Widerstand entgegenstellen wird als die natürliche Pflanzencellulose. Die Ausnutzung der Cellulose wurde durch Vergleich der aufgenommenen mit der in den Faeces ausgeschiedenen Cellulose berechnet. Die quantitativen Cellulosebestimmungen in Nahrungsmitteln und Faeces wurden nach der Methode von O. Simon und Verfasser ausgeführt.

Ich schicke zunächst eine Übersicht über die Cellulosewerte einiger Nahrungsmittel und Pflanzen voraus, von denen ein Teil bei den Versuchen zur Ernährung verwendet wurde.

| | Cellulosegehalt in % |
|--|----------------------|
| Tischfertiger Spinat | 0,364 |
| Junger zarter Staudensalat, ohne Rippen, roh | 0,479 |
| Junger zarter Kohlrabi, roh | 0,728 |
| Junge Möhren, roh | 0,743 |
| Junges zartes Weißkraut, roh | 0,787 |
| Gurke, roh, ohne Kerne und Schale | 0,114 |
| Kartoffel, trocken | 1,22 |
| › gekocht | 0,25 |
| › roh | 0,21 |
| Linsen, roh | 3,39 |
| Hafermehl, trocken | 0,245 |
| Roggenbrot, frisch | 0,15 |
| Grahambrot, frisch | 0,94 |
| Rademann's Cellulosebrot (Trockensubstanz) | 3,24 |
| Kakaopulver, trocken | 2,29 |
| Pulverisiertes Heu, trocken | 17,5 |
| Agar-Agar, trocken | 0,618 |

Die Untersuchungen erstreckten sich zunächst auf die Ausnutzungskraft des normal arbeitenden menschlichen Magen-darmkanals, geprüft an verschiedenen Vegetabilien, besonders auch an der Kartoffel, welche neben Brot wohl das meist genossene pflanzliche Nahrungsmittel unserer Bevölkerung bildet. Von Gemüsen wurden nur ganz junge und zarte Sorten, deren Cellulose noch wenig verhärtet sein konnte, verabreicht, um in dieser Beziehung möglichst günstige Verhältnisse für die Ausnutzung zu schaffen. Zu Ausnutzungsversuchen mit Kartoffeln

eignet sich sehr gut die Probediät von Schmidt-Strasburger.¹⁵⁾

Diese hat folgende Zusammensetzung:

- Morgens: 0,5 l Milch, dazu 50 g Zwieback.
Vormittags: 0,5 l Haferschleim (aus 40 g Hafergrütze, 10 g Butter, 200 g Milch, 300 g Wasser und 1 Ei bereitet).
Mittags: 125 g gehacktes Rindfleisch (Rohgewicht) mit 20 g Butter leicht übergebraten, 250 g Kartoffelbrei (aus 190 g gemahlene Kartoffeln, 100 g Milch und 10 g Butter bereitet).
Nachmittags: wie morgens.
Abends: wie vormittags.

Es erfolgt also bei Anwendung dieser Diät die Aufnahme der Cellulose in einer gemischten Kost, welche dem physiologischen Nahrungsbedürfnis des Menschen entspricht, und bei der nicht durch einseitige Steigerung der Zufuhr des einen oder des anderen Nahrungsbestandteils abnorme Versuchsbedingungen geschaffen werden. Den Hauptanteil der Probediätcellulose liefert die Kartoffel. Der Cellulosegehalt der Probediät beträgt durchschnittlich 0,8916 g pro Tag.

Die erste Versuchsreihe wurde so angestellt, daß zunächst die Ausnutzung der Probediät festgestellt wurde. Sodann wurden zur Probediät verschiedene junge Gemüse in genau abgewogener Menge zugelegt, deren Cellulosegehalt vorher genau festgestellt wurde. Es wurde dann die Ausnutzung der in Probediät + Gemüsezulage enthaltenen Cellulosemenge bestimmt. Die Abgrenzung des Kotes geschah in der bekannten Weise mit Karmin.

Die folgende Tabelle I gibt die Resultate dieser ersten Versuchsreihe wieder: Zunächst die Ausnutzung verschiedener Vegetabilien bei einer Person, dann einige Einzelversuche.

Wie die Tabelle zeigt, ist der menschliche Verdauungstraktus wohl befähigt, Cellulose auszunutzen, zum Teil in recht erheblichen Werten. Auf den ersten Blick scheint es, als sei die Kartoffelcellulose verhältnismäßig schwer verdaulich und als werde bei Zulage von Gemüse zur Probediät die Ausnutzungskraft relativ und absolut gesteigert. Dieses Verhalten kann einerseits so erklärt werden, daß die Cellulose der jungen Gemüse an sich leichter angreifbar ist als die der Kartoffel. Andererseits liegt aber auch die Möglichkeit vor, daß bei Zulage von größeren Cellulosemengen in Form von Gemüse ein

stärkerer Reiz auf die Verdauungsorgane im Sinne Pawlow's ausgeübt wird, insofern als dadurch eine stärkere Saftsekretion, speziell der celluloselösenden Fermente, angeregt wird, während die reizlose Probediät für sich diesen Effekt nicht hervorbringt.

Tabelle I.

| Nr. | Name, Geschlecht | Zahl der Ver- suchs- tage | Nahrung | Cellulosegehalt | | Aus- nutzung der Cellu- lose in Prozent |
|-----|---------------------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------|---------------|---|
| | | | | der Nahrung | der Faeces | |
| 1 | Ho. Frau | 1 | Probediät | 0,8916 | 0,4947 | 44,5 |
| 2 | „ | 1 | Probediät + Weißkraut | 2,8591 | 0,3514 | 87,7 |
| 3 | „ | 1 | Probediät + Kohlrabi | 3,0756 | 0,95 | 69,2 |
| 4 | „ | 1 | Probediät + Spinat. | 1,9836 | 0,59 | 70,3 |
| 5 | „ | 1 | Probediät + Brot | 1,8666 | 0,6080 | 67,4 |
| 6 | „ | 1 | Probediät + Linsen | 4,9576 | 2,608 | 47,4 |
| 7 | J. Mann | 1 | Probediät | 0,8916 | 0,4531 | 49,2 |
| 8 | „ | 2 | Probediät + Weißkraut | 6,1132 | 0,936 | 84,7 |
| 9 | G. Mann | 1 | Probediät | 0,8916 | 0,327 | 63,4 |
| 10 | „ | 1 | Probediät + Möhren | 2,7491 | 0,3318 | 87,8 |

In diesem Sinne sind vielleicht auch die Resultate der folgenden Versuchsreihe (Tab. II) zu verwerten. Hierzu wurden dieselben Personen wie in Tabelle I verwendet. Der Kartoffelbrei der Probediät wurde durch Gemüse unter Weglassung des Zwiebacks ersetzt. Dabei wurden die in Tabelle II ersichtlichen Resultate erhalten.

Die Cellulose der jungen Gemüse wird, wie die Tabelle zeigt, vom Menschen außerordentlich gut ausgenutzt. Besonders leicht angreifbar scheint die Cellulose des Weißkrauts zu sein; von dieser, die schon in der ersten Versuchsreihe hohe Ausnutzungswerte zeigte, wird in den letzten Versuchen nichts oder fast nichts im Kot wieder ausgeschieden. Die makroskopische Untersuchung der Faeces zeigte denn auch durchgängig keine mit bloßem Auge sichtbaren Gemüsereste (außer bei den Ver-

suchen mit Linsen, von denen ein Teil unverändert abging, und bei Fall 10 der Tabelle II, bei dem große Mengen Gemüse eingeführt wurden). Mikroskopisch fanden sich nur spärliche Cellulosereste. Die geringere Ausnutzung der Linsencellulose zeigt den Einfluß, den die zartere oder härtere Beschaffenheit der Cellulose auf die Verdaulichkeit ausübt.

Tabelle II.

| Nr. | Name, Geschlecht | Zahl der Versuchstage | Nahrung | Cellulosegehalt | | Ausnutzung der Cellulose in Prozent |
|-----|---|-----------------------|--|-----------------|------------|-------------------------------------|
| | | | | der Nahrung | der Faeces | |
| 1 | Ho. Frau | 1 | Kohlrabi | 3,244 | 0,678 | 79,1 |
| 2 | » | 1 | Spinat | 1,892 | 0,1797 | 90,5 |
| 3 | » | 1 | Weißkraut | 2,4566 | 0 | 100 |
| 4 | » | 1 | Brot | 1,0564 | 0,1606 | 84,8 |
| 5 | » | 1 | Linsen | 5,703 | 3,1366 | 45 |
| 6 | J. Mann | 2 | Weißkraut | 5,25 | 0,0360 | 99,5 |
| 7 | » | 1 | Kohlrabi | 1,456 | 0,2648 | 81,8 |
| 8 | » | 1 | Brot | 0,718 | 0,296 | 58,8 |
| 9 | G. Mann | 1 | Möhren | 2,3694 | 0,1090 | 95,4 |
| 10 | Sch. Frau (Diabetes mit normalem Magen-darm) | 3 | Gemüsetag: Kohlrabi, Hafermehl, Weißkraut, Salat | 13,38 | 2,85 | 78,7 |

Die Untersuchungen zeigen, um kurz zu rekapitulieren, daß der normal arbeitende menschliche Verdauungskanal befähigt ist, Cellulose je nach ihrem Alter, ihrem Ursprung, ihrer härteren oder zarteren Beschaffenheit mehr oder weniger gut, unter Umständen fast vollständig, auszunutzen.

Unter diesen Verhältnissen erhebt sich ganz von selbst

die Frage: Wie gestaltet sich die Ausnutzung der Cellulose beim Menschen unter dem Einfluß krankhafter Zustände des Magens und Darms? Diese Frage, welche bezüglich des Eiweißes, des Fettes und der Kohlehydrate häufig genug untersucht worden ist, ist bisher für die Cellulose völlig unentschieden geblieben. Eine Beantwortung derselben hat um so mehr Interesse, als man angesichts der mannigfachen früher skizzierten Ansichten über die Verwertung der Cellulose im Darm der Pflanzenfresser auch für den Menschen von dem einen oder dem anderen Standpunkt aus ganz verschiedenartige Resultate erwarten muß.

Um dieser Frage näher treten zu können, ist es zwecks Erzielung vergleichbarer Resultate nötig, bei den Versuchen von einer einheitlichen Versuchsnahrung, welche alle Versuchspersonen gleichmäßig genießen müssen, auszugehen. Dieselbe kann natürlich verschieden zusammengesetzt sein. Ich habe zu den vergleichenden Celluloseausnutzungsversuchen wiederum die Probediät von Schmidt-Strasburger gewählt. Diese Kost erwies sich dank ihrer zweckmäßigen Zusammensetzung und ihrer leichten Verdaulichkeit auch im kranken Magen-Darmkanal als sehr geeignet. Jeder Versuch dauerte 3 Tage. Die Abgrenzung des Kotes erfolgte durch Karmin. Zur Untersuchung kamen Fälle mit normaler Magen-Darmfunktion, Fälle von chronischer habitueller Obstipation, von Gärungsdyspepsie, Achylia gastrica, Ikterus und Pankreasaffektion. Die folgende Tabelle III stellt die einzelnen Versuche mit ihren Resultaten zusammen.

Die Versuchsergebnisse sind geeignet, in verschiedener Hinsicht Interesse zu erwecken. Einmal bringen die Untersuchungen (Nr. 6—11) an Personen, die an chronischer habitueller Obstipation leiden, eine Bestätigung und Ergänzung meiner früheren Untersuchungen⁶³⁾ über die Ausnutzung der verschiedenen Nahrungsbestandteile bei der genannten Darmstörung. Die für Eiweiß, Fett und Kohlehydrate damals gefundene «zu gute» Ausnutzung im Vergleich zum Normaldarm wird jetzt auch für die Cellulose erwiesen: der durchschnittlichen Normalausnutzung von 57,9% steht beim Obstipierten eine solche von 81,4% entgegen.

Tabelle III.

| Nr. | Diagnose | Name | Kot- Trocken- substanz (3 Tage) | Cellulosegehalt | | Aus- nutzung der Cellu- lose in Prozent |
|--------------|--|------|--|------------------------------------|--------------|---|
| | | | | der Nahrung | des Kotes | |
| 1 | normale | Sch. | 51,6 | 2,6748 | 0,9424 | 64,8 |
| 2 | | Ho. | 51 | 2,6748 | 1,4841 | 44,5 |
| 3 | | J. | 69 | 2,6748 | 1,3593 | 49,2 |
| 4 | | G. | 40 | 2,6748 | 0,98 | 63,4 |
| 5 | | P. | 55 | 2,6748 | 0,869 | 67,5 |
| Mittelwerte: | | | 53,3 | 2,6748 | 1,1269 | 57,9 |
| 6 | chronische habituelle Obstipation | Gr. | 37 | 2,6748 | 0,4716 | 82,4 |
| 7 | | M. | 30,8 | 2,4548 | 0,3316 | 86,5 |
| 8 | | Lo. | 30 | 2,6748 | 0,421 | 84,3 |
| 9 | | H. | 38 | 2,6748 | 0,684 | 74,4 |
| 10 | | Fr. | 31 | 2,6748 | 0,5766 | 78,4 |
| 11 | Gü. | 33 | 2,6748 | 0,4752 | 82,2 | |
| Mittelwerte: | | | 33,3 | 2,6381 | 0,4934 | 81,4 |
| 12 | Gärungs- dyspepsie | F. | 123 | 2,6748 | 1,4514 | 46,2 |
| 13 | | Gl. | 105 | 2,6748 | 1,89 | 29,3 |
| Mittelwerte: | | | 114 | 2,6748 | 1,6707 | 37,8 |
| 14 | gastrogene Diarrhöe bei Achyilia gastrica | Ja. | 112,2 | 3,5908 (Probediät mit Kakao) | 2,4381 | 32,1 |
| 15 | | Lu. | 85,6 | 2,6748 | 1,9688 | 26,9 |
| Mittelwerte: | | | 98,9 | 3,1328 | 2,2035 | 29,5 |
| 16 | Fettstuhl bei Ikterus | V. | 202 | 2,6748 | 1,93 | 27,8 |
| 17 | Fettstuhl bei Pankreas- erkrankung | B. | 147 | 2,6748 | 2,1168 | 20,9 |

Daß dieses Verhalten nicht nur bei Probediät zu finden ist, zeigt folgender Vergleich zwischen einer normalen (Ho., Tab. I, 4) und einer obstipierten Person (Gü., Tab. III, 11). Beiden wurde zur Probediät Gemüse in Form annähernd gleicher Mengen Spinat während eines Tages zugelegt. Die normale Person nahm

1,9836 g Cellulose auf und schied 29,7% davon aus: die Person, welche an Obstipation litt, nahm 1,7409 g Cellulose und entleerte im Kot 17,3%.

Abgesehen hiervon gewinnen die Versuche eine gewisse Bedeutung, wenn man ihre Resultate vom Standpunkte der verschiedenen Theorien aus, die über die Verdaulichkeit und Resorption resp. die Gärung der Cellulose aufgestellt worden sind, betrachtet. Mir scheinen in dieser Beziehung vor allem folgende Punkte wichtig zu sein:

1. Bei den Obstipierten wird im Kot außerordentlich wenig Cellulose ausgeschieden. Wir können nun auf Grund unserer heutigen Kenntnis von dem Umfang der Gärungs- und Fäulnisvorgänge im Darm bei chronischer habitueller Obstipation nicht annehmen, daß der reichliche Celluloseverlust etwa auf Gärung oder Fäulnis derselben unter der Einwirkung von Mikroorganismen zurückzuführen wäre. Ich habe schon gelegentlich meiner oben zitierten früheren Untersuchungen die Gründe, die gegen diese Möglichkeit bezüglich der übrigen Nahrungsbestandteile sprechen, ausführlich dargelegt. Ich brauche nur kurz zu wiederholen, daß Strasburger⁸⁴⁾ die Bakterienmenge im Obstipationskot etwa um die Hälfte geringer fand als im Normalkot, und daß seine hierauf gegründete Ansicht, daß mit der Abnahme der Bakterienmenge auch ihre Gesamtleistung, speziell ihre Fäulniswirkung, geringer wird, nicht widerlegt worden ist. Sodann ist bisher eine Zunahme der Fäulnisprodukte im Urin und Kot bei chronisch habitueller Obstipierten mit Sicherheit noch nicht erwiesen worden. Schließlich fehlten bei unseren Fällen auch klinisch alle Zeichen vermehrter Fäulnis oder Gärung im Darm. Die Personen waren nicht durch starke Gasbildung belästigt: die Faeces waren hart, knollig, fast geruchlos und verhielten sich bei der Brutschrankprobe negativ. Es findet sich demnach meiner Ansicht nach kein Grund, bei unseren Fällen eine Zersetzung der Cellulose ausschließlich durch Gärung oder Fäulnis anzunehmen, zumal wenn man hinzunimmt, worauf auch Henneberg und Stohmann³³⁾ aufmerksam machten, daß die Tappeiner'schen Gärungen so außerordentlich langsam verliefen und erst am 3.—5.—8. Tage

begannen, Zeitpunkte, die für menschliche Darmverhältnisse eigentlich kaum in Betracht kommen können. Die Faeces unserer Obstipierten wurden niemals so lange Zeit im Darm belassen.

2. Genau die umgekehrten Gesichtspunkte ergeben sich aus den Versuchen an den Fällen von Gärungsdyspepsie. Bei der Gärungsdyspepsie, wie sie von Schmidt und Strasburger⁸⁵⁾ beschrieben worden ist, findet bekanntlich eine reine Kohlehydratgärung statt. Man würde in diesen Fällen das Verschwinden des größten oder eines großen Anteils der Cellulose im Darm nicht auffällig finden, würde vielmehr a priori die Möglichkeit, daß die zu Verlust gegangene Cellulose durch Gärungsvorgänge zersetzt worden sei, unbedenklich zugeben. Die Gelegenheit zur Vergärung der Cellulose ist ja in diesen Fällen reiner Kohlehydratgärung zweifellos in reichstem Maße gegeben. Auch die klinischen Symptome, besonders die starke Gasbildung im Darm, würden eine weitere Stütze für die Annahme einer Cellulose(sumpfgas)gärung (Tappeiner) darstellen. Und gerade in diesen Fällen findet sich nun ein durchschnittlicher Cellulosegehalt der Faeces, der noch höher ist als der der Normalkote; der Gärungskot enthält 62,2% der eingeführten Cellulose, der Normalkot nur 42,1%. Einige weitere Untersuchungen, an Fall Nr. 13 der Tab. III angestellt, führten zu denselben Resultaten: Es erhielt eine normale Versuchsperson (Ho., Tab. I, 6) zur Probediät eine Zulage von Linsen für einen Tag; es wurden von 4,9576 g aufgenommener Cellulose 2,608 g = 52,6% ausgeschieden. Die an Gärungsdyspepsie leidende Person bekam eine ähnliche Linsenzulage zur Probediät, nahm im ganzen 3,6036 g Cellulose auf und schied aus 3,0932 g = 85,8%. Noch deutlicher wird der Unterschied, wenn an dieselben Versuchspersonen die Cellulose nur in Form von Linsen verabreicht wurde: die normale Person (Tab. II, 5) schied dann von der genossenen Linsencellulose 55% im Kot aus, die Person mit Gärungsdyspepsie 91,8%. Es würden also bei dieser Auffassung die Fälle von Gärungsdyspepsie hinsichtlich ihrer Fähigkeit, Cellulose anzugreifen, gewissermaßen das genaue Negativ der Fälle von chronischer Obstipation sein.

Ich verkenne dabei nicht, daß man auch andere Erklärungen

für die geringe Ausnutzung der Cellulose in diesen Fällen heranziehen kann. Man könnte sagen, die bei der Gärungsdyspepsie oft vorhandene, vermehrte Peristaltik veranlasse eine schnellere Passage des Darminhaltes und häufigere Entleerungen und verhindere dadurch eine ausgiebige Cellulosegärung. Diese Möglichkeit ist natürlich nicht von der Hand zu weisen. Ich bemerke dazu, daß bei meinen Fällen höchstens zwei Stühle pro Tag entleert wurden. Ferner könnte man auch hier wiederum auf den langsamen Verlauf der Tappeiner'schen Gärungen hinweisen und annehmen, die Cellulose habe gar nicht Zeit gehabt, in größerer Menge zu vergären. Nach Tappeiner wäre auch die Möglichkeit gegeben, daß die Gärungserreger hauptsächlich die reichlich vorhandene Stärke angegriffen und die Cellulose verschont hätten. Alle diese Eventualitäten sind zu berücksichtigen. Immerhin bleibt das oben skizzierte Verhalten der Cellulose bei den Gärungsdyspepsien ein auffallendes und bemerkenswertes.

3. Es verhält sich bei allen Fällen der Tabelle III der Ausnutzungskoeffizient der Cellulose genau wie der des Eiweißes, Fettes und der Kohlehydrate, d. h. bei den höchsten Ausnutzungswerten dieser Nahrungsbestandteile findet sich auch die größte Ausnutzung der Cellulose und umgekehrt. Dies zeigt sehr deutlich die folgende Übersicht, welche neben den Ausnutzungswerten der Cellulosen auch die von mir durch Analyse gefundenen prozentischen Ausnutzungswerte der übrigen Nährstoffe enthält. Der Kürze halber ist von jeder Abteilung der Tabelle III nur ein Fall aufgeführt.

| Nr. (Tab. III) | Diagnose | Prozentische Ausnutzung von | | | |
|-------------------|-------------------|-----------------------------|------|---|-----------|
| | | N | Fett | Kohlehydraten (als Stärke berechnet) | Cellulose |
| 1 | normal | 93,6 | 96,9 | 99,6 | 64,8 |
| 6 | Obstipation | 96,5 | 97,4 | 99,7 | 82,4 |
| 13 | Gärungsdyspepsie | 83,7 | 93,5 | 99,08 | 29,3 |
| 15 | Achylia gastrica | 90,3 | 94,0 | 99,1 | 26,9 |
| 16 | Ikterus | 86,5 | 65,1 | 99,6 | 27,8 |
| 17 | Pankreasaffektion | 87,8 | 82,2 | 99,4 | 20,9 |

Ich glaube, daß man vorläufig berechtigt ist, aus den vorstehenden Untersuchungen und Überlegungen folgende Rückschlüsse zu ziehen:

Die Cellulose wird im Verdauungskanal des Menschen zu einem größeren oder kleineren Teil je nach ihrer Abstammung und ihrem Alter gelöst. Die Lösung des in dem Darm verschwindenden Anteils der Cellulose erfolgt mit größter Wahrscheinlichkeit in derselben Weise wie die der übrigen Nahrungsbestandteile, speziell der Kohlehydrate, d. h. die Cellulose wird unter der Einwirkung eines oder mehrerer bisher noch nicht bekannter ungeformter Fermente in ein lösliches Stadium übergeführt, in dem sie je nach der Resorptionskraft des Darms mehr oder weniger ausgiebig resorbiert werden kann. Die Cellulose würde danach auf der gleichen Stufe wie Eiweiß, Fett und Kohlehydrate stehen. Es liegen keinerlei Anhaltspunkte dafür vor, daß die Lösung der Cellulose im menschlichen Darm ausschließlich durch Gärungs- oder Fäulnisvorgänge unter der Einwirkung von Bakterien erfolgt (cf. Obstipation und Gärungsdyspepsie). Durch die Tappeiner'schen Untersuchungen, die im allgemeinen wohl auch für die Verhältnisse des menschlichen Darms Gültigkeit haben, wird nur bewiesen, daß im Darm eine Cellulosesumpfgasgärung stattfinden kann. Wahrscheinlich können Lösung und Gärung zusammen vorkommen. Damit treffen wir beim Menschen auf dieselben Verhältnisse, wie sie von Henneberg und Stohmann³³⁾ und Ellenberger⁵⁴⁾ für den Pflanzenfresser als die wahrscheinlichsten angenommen werden.

Mit absoluter Sicherheit wird sich die ganze Frage allerdings erst dann beantworten lassen, wenn die celluloselösenden Fermente des Menschen und Pflanzenfressers gefunden sein werden. Dies dürfte die vornehmste Aufgabe aller weiteren Untersuchungen sein.

Herrn Prof. Ad. Schmidt und Herrn Dr. Simon-Karlsbad spreche ich für ihre freundlichst erteilten Ratschläge bei Ausführung der Arbeit meinen verbindlichsten Dank aus.

Literatur.

1. F. Schulze, Beitrag zur Kenntnis des Lignins. Rostock 1856.
2. Henneberg und Stohmann, Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer. II. Heft, 1864.
3. W. Hoffmeister, Die Rohfaser und einige Formen der Cellulose. Landwirtschaftliche Jahrbücher 1888, Bd. XVII.
4. Derselbe, Die Cellulose und ihre Formen. Landwirtschaftliche Jahrbücher 1889, Bd. XVIII.
5. F. Schulze, E. Steiger und W. Maxwell, Zur Chemie der Pflanzenzellmembranen. Diese Zeitschrift, 1890, Bd. XIV.
6. Hellriegel und Lukanus, Über den Nährwert des Brühhäcksels. Landwirtschaftliche Versuchsstationen 1865, Bd. VII.
7. V. Hofmeister, Fütterungsversuche mit Schafen. Landwirtschaftliche Versuchsstationen 1864, Bd. VI.
8. Kühn, Aronstein und H. Schulze, Berichte über die auf der landwirtschaftlichen Versuchsstation Weende ausgeführten Versuche. Journal für Landwirtschaft 1866, 14. Jahrgang.
9. Holdefleiß, Eine abgekürzte Methode der Rohfaserbestimmung. Landwirtsch. Jahrbücher 1877, Supplement.
10. Wattenberg, Eine vereinfachte Methode der Weender Rohfaserbestimmung. Journal f. Landwirtschaft, 1881, 28. Jahrgang.
11. v. Knieriem, Über die Verwertung der Cellulose im tierischen Organismus. Zeitschrift für Biologie 1885, Neue Folge, Bd. III.
12. Wicke, Die Dekortikation des Getreides und ihre hygienische Bedeutung. Archiv für Hygiene, 1890, Bd. XI.
13. Grandeau, Handbuch f. agrikultur-chemische Analysen, S. 233.
14. K. B. Lehmann, Die Methoden der praktischen Hygiene. Wiesbaden 1901.
15. Schmidt und Strasburger, Die Faeces des Menschen. Berlin 1905, S. 191.
16. Kern, Zur Bestimmung der Cellulose. Zentralblatt für Agrikulturchemie 1876, Bd. IX, S. 197.
17. Mann, Zur Cellulosebestimmung im Kote. Arch. f. Hygiene 1899, Bd. XXXVI.
18. F. Schulze, Chemisches Zentralblatt 1857.
19. Stohmann, Über die Ernährungsvorgänge des Milch produzierenden Tieres. Journal f. Landwirtschaft 1868, 16. Jahrgang.
20. König, Über die Bestimmung der Cellulose. Zentralblatt für Agrikulturchemie, 1874, Bd. V.
21. Derselbe, Zur Bestimmung der Cellulose. Zentralblatt für Agrikulturchemie 1877, Bd. XI.
22. H. Müller, Eine neue Methode zur quantitativen Bestimmung der Rohfaser. Zentralblatt für Agrikulturchemie 1877, Bd. XI.

23. Vaubel, Die physikalischen und chemischen Methoden der quantitativen Bestimmung organischer Verbindungen. Berlin 1902, Bd. I, S. 166.

24. G. Lange. Zur Kenntnis des Lignins. I. u. II. Mitteilung. Diese Zeitschrift 1890, Bd. XIV.

25. Hoppe-Seyler, Diese Zeitschrift, Bd. XIII, S. 84.

26. O. Simon und H. Lohrisch, Eine neue Methode der quantitativen Cellulosebestimmung in Nahrungsmitteln und Faeces. Diese Zeitschrift 1904, Bd. XLII, Heft 1 u. 2.

27. Haubner, Journal f. Landwirtschaft 1855.

28. Henneberg und Stohmann, Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer, I. Heft, 1860.

29. Tappeiner, Untersuchungen über die Gärung der Cellulose, insbesondere über deren Lösung im Darmkanale. Zeitschr. f. Biologie 1884, N. F., Bd. II.

30. Wildt, Journal f. Landwirtschaft 1874.

31. Zuntz, Landwirtschaftliche Jahrbücher, Bd. VIII.

32. Popoff, Über die Sumpfgasgärung. Pflüger's Archiv 1875, Bd. X.

33. Henneberg und Stohmann, Über die Bedeutung der Cellulosegärung für die Ernährung der Tiere. Zeitschrift f. Biologie 1885, N. F. Bd. III.

34. Wilsing, Über die Mengen der vom Wiederkäuer in den Entleerungen ausgeschiedenen flüchtigen Säuren. Zeitschrift f. Biologie 1885, N. F., Bd. III.

35. Mallèvre, Der Einfluß der als Gärungsprodukte der Cellulose gebildeten Essigsäure auf den Gaswechsel. Pflüger's Archiv 1891, Bd. XLIX.

36. E. v. Wolff, Die rationelle Fütterung der landwirtschaftlichen Nutztiere, 5. Auflage.

37. Fr. Lehmann, Versuche über die Bedeutung der Cellulose als Nährstoff. Journ. f. Landwirtschaft 1889, 37. Jahrgang.

38. Tappeiner, Nachträge zu den Untersuchungen über die Gärung der Cellulose. Zeitschrift f. Biologie 1888, N. F., Bd. VI.

39. Hoppe-Seyler, Diese Zeitschrift, Bd. X.

40. Henneberg und Pfeiffer, Über den Einfluß eines einseitig gesteigerten Zusatzes von Eiweißstoffen zum Beharrungsfutter auf den Gesamtstoffwechsel des ausgewachsenen Tieres. Journal f. Landwirtschaft 1890, 38. Jahrgang.

41. H. Weiske, B. Schulze und E. Flechsig, Kommt der Cellulose eiweißsparende Wirkung bei der Ernährung der Herbivoren zu? Zeitschrift f. Biologie 1886, N. F., Bd. IV.

42. v. Knieriem, Über die eiweißsparende Wirkung der Cellulose bei der Ernährung der Herbivoren. Entgegnung. Zeitschrift f. Biologie 1888, N. F., Bd. VI.

43. Weiske, Kommt der Cellulose eiweißsparende Wirkung bei der Ernährung der Herbivoren zu? Ebenda.
44. E. v. Wolff, Landwirtschaftliche Jahrbücher, Bd. XVI, S. 1. Suppl. III.
45. Weiske und Flechsig, Kommt den in pflanzlichen Futtermitteln enthaltenen organischen Säuren eine den Kohlehydraten ähnliche eiweißsparende Wirkung zu? Journal f. Landwirtschaft 1889, 37. Jahrgang.
46. Zuntz, Bemerkungen über die Verdauung und den Nährwert der Cellulose. Pflüger's Archiv 1891, Bd. XLIX.
47. E. Müller, Ein Beitrag zur Frage der Celluloseverdauung im Darmkanal. Pflüger's Archiv 1901, Bd. LXXXIII.
48. Biedermann und Moritz, Über ein celluloselösendes Enzym im Lebersekret der Schnecke (*Helix pomatia*). Pflüger's Archiv 1898, Bd. LXXIII.
49. V. Hofmeister, Über Celluloseverdauung. Archiv für wissenschaftl. u. prakt. Tierheilkunde 1881, Bd. VII.
50. Ellenberger und Hofmeister, Über die Verdauungssäfte und die Verdauung des Pferdes. Ebenda.
51. Knauthe, Untersuchungen über Verdauung und Stoffwechsel bei Fischen. Zeitschrift f. Fischerei 1897, 5 Jahrgang.
52. G. van Iterson, De aantasting van cellulose door aerobe microorganismen. Afd. Wis. en natuurk. 1903, S. 807 (Ref. Biochemisches Zentralblatt 1903, Bd. I, S. 678).
53. Weiske und B. Schulze, Versuche über die beim Einsäuern des Grünfutters entstehenden Veränderungen und Verluste. Journal f. Landwirtschaft 1884, 32. Jahrgang.
54. Ellenberger, Vergleichende Physiologie der Haussäugetiere 1890, I. Teil.
55. Haubner-Sußdorf, Chem. Ackersmann 1861.
56. V. Hofmeister, Verdaut das Pferd Pflanzenfaser? Landwirtsch. Versuchsstationen 1865, Bd. VII.
57. Stohmann, Über die Ernährungsvorgänge des Milch produzierenden Tieres. 1. Arbeit, Journal f. Landwirtschaft 1868, Bd. III; 2. Arbeit, Zeitschrift f. Biologie 1870, Bd. VI.
58. V. Hofmeister, Fütterungsversuche mit Schafen. Landwirtschaftl. Versuchsstationen 1869, Bd. XI.
59. Kühn und Fleischer, Verhandlungen der V. Wanderversammlung deutscher Agrikulturchemiker usw. Ebenda, S. 129.
60. Henneberg, Neue Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Wiederkäuer. I. Heft, 1870.
61. Weiske, Über die Verdaulichkeit der Cellulose beim Schwein. Landwirtschaftl. Versuchsstationen 1872, Bd. XV.
62. Weiske, Kennepohl und Schulze, Versuche über die Ver-

daulichkeit und den Nährwert der Eicheln. Journal f. Landwirtschaft 1881, 28. Jahrgang.

63. Lehmann und Vogel, Über die Verdaulichkeit von Wiesenheu, Bohnenschrot, Gerstenschrot, Steckrüben und Reisfuttermehl. Journal f. Landwirtschaft 1890, 38. Jahrgang.

64. Voit und Hofmann, Sitzungsberichte der bayerischen Akademie. 1869 (Ref. bei Tappeiner 29).

65. Weiske und Mehlig, Über das Verhalten der Rohfaser im Verdauungsapparate der Gänse. Landwirtschaftl. Versuchsstationen 1878, Bd. XXI.

66. Enzmann, Kritische Betrachtungen über die gegenwärtigen Verfahren, die Wissenschaft von der Ernährung tierischer Organismen vom Standpunkte der heutigen organischen Chemie zu rektifizieren; anknüpfend an Produktionsfütterungen der Schafe. Landwirtschaftl. Versuchsstationen 1866, Bd. VIII.

67. V. Hofmeister, Fütterungsversuch mit Merino- und Southdown-Frankenhammeln. Landwirtschaftl. Versuchsstationen 1866, Bd. VIII.

68. Weiske, Kennepohl und Schulze, Beiträge zur Frage über das Futtermittelvermögen verschiedener Schafrassen. Zentralblatt für Agrikulturchemie 1882, XI. Jahrgang.

69. Weiske, Über die Ausnutzung gleicher Quantitäten ein und desselben Futters durch Herbivoren je nach Verabreichung desselben in einer oder mehreren Portionen. Journal f. Landwirtschaft 1884, 32. Jahrgang.

70. Derselbe, Zur Frage über den Einfluß einmaliger oder fraktionierter Aufnahme der Nahrung auf die Ausnutzung derselben. Diese Zeitschrift 1894, Bd. XVIII.

71. Kühn, Fleischer und Striedter, Fütterungsversuche mit Grünklee. Journal f. Landwirtschaft 1869, 17. Jahrgang.

72. Pfeiffer und Lehmann, Vergleichende Untersuchungen über die Verdaulichkeit von frischen und getrockneten Schnitzeln. Journal f. Landwirtschaft 1885, 33. Jahrgang.

73. Wolff, Funke und Kellner, Untersuchungen über die Zusammensetzung und Verdaulichkeit der sorgfältig getrockneten und der auf dem Felde in Dürre umgewandelten Luzerne. Landwirtschaftl. Versuchsstationen 1878, Bd. XXI.

74. Weiske, Untersuchungen über die Zusammensetzung und Ausnutzung der nach verschiedenen Erntemethoden gewonnenen Esparsette. Journal f. Landwirtschaft, Bd. XXV.

75. Gabriel, Über den Einfluß des Dämpfens auf den Nährwert der Lupinen. Journal f. Landwirtschaft 1890, 38. Jahrgang.

76. Crusius, Versuch mit Mastochsen. Chem. Ackermann 1860, S. 247.

77. Wicke und Weiske, Über den Einfluß einer Fett- resp. Stärkebeigabe auf die Ausnutzung der Nährstoffe, sowie auf den Stickstoffumsatz und -Ansatz im tierischen Organismus. Diese Zeitschrift 1895/96, Bd. XXI.

78. Weiske, Versuche über etwaige Einflüsse, welche die Aufnahme freier Säure auf die Verdauungsvorgänge sowie auf den Stickstoff- und Mineralstoffumsatz im Körper der Herbivoren ausübt. Journal f. Landwirtschaft 1885, 33. Jahrgang.

79. Derselbe, Untersuchungen über die Verdaulichkeit der Cellulose beim Menschen. Zeitschrift f. Biologie 1870, Bd. VI.

80. G. Meyer, Ernährungsversuche mit Brot am Hund und Menschen. Zeitschrift f. Biologie 1871, Bd. VII.

81. Rubner, Über den Wert der Weizenkleie für die Ernährung des Menschen. Zeitschrift f. Biologie 1883, N. F., Bd. I.

82. Bárány, Über ein neues cellulosereiches Brot und seine Verwendung bei Darmträgheit, Fettleibigkeit und Diabetes. Wiener medizinische Wochenschrift 1902, Nr. 9.

83. Lohrisch, Die Ursachen der chronischen habituellen Obstipation im Lichte systematischer Ausnutzungsversuche. Deutsch. Arch. für klin. Medizin, Bd. LXXIX.

84. Strasburger, Untersuchungen über die Bakterienmenge in menschlichen Faeces. Zeitschrift für klinische Medizin, Bd. XLVI.

85. Schmidt und Strasburger, Über die intestinale Gärungsdyspepsie der Erwachsenen. Deutsch. Archiv für klin. Medizin, Bd. LXIX.