

ihrer Zusammensetzung mit ihrem hohen Pentosangehalt an die inneren Schichten, an die Samenschalen der Kleberschicht erinnern. Diese selbst gehört zweifellos, wenn man über die Brotfrucht im Vergleich hinausgreifen will, zu den Zellmembranen recht mäßiger Verdaulichkeit. Recht gut resorbierbar ist dagegen die Zellmembran des Mehlkerns. Die Spelzen, die Träger der Körner; haben, wie diese Untersuchungen ergeben, ein ungünstiges Resorptionsverhältnis, weit ungünstiger als die eigentliche Kleie und sind wohl der Strohmasse nahestehend. Auch ihre chemische Zusammensetzung stellt sie dieser offenbar nahe. Der höhere Zellulosegehalt ist an sich nach dieser Richtung bemerkenswert. Von den Produkten, welche sich isolieren lassen, fehlt jetzt nur noch der Embryo, über dessen Bedeutung als Nahrungsstoff und Resorptionsfähigkeit eine der nächst folgenden Abhandlungen nähere Auskunft gibt.

Über die Zusammensetzung und Verdaulichkeit der Keime einiger Zerealien.

Von

Geheimrat **Max Rubner.**

In neuerer Zeit hat man Verfahren gefunden, welche gestatten, durch besondere Art der Vermahlung den Keimling mit etwas beigemengten Hülsen bei Mais, aber auch bei Roggen und Weizen abzuschneiden. Es gelingt aber zurzeit nicht, bei allen Körnerfrüchten diese Scheidung durchzuführen, da die Einbettung der Keimlinge in das Korn nicht überall gleich günstig liegt. Es kommt ganz auf die Art der Technik an, inwieweit man den Keimling möglichst wenig verunreinigt, durch Hülsen oder Stärke abzutrennen vermag; je nach der Güte der Technik erhält man Material mehr oder minder reich an Kleie. Zweck der Entkeimung ist bisher die Ölgewinnung gewesen. Das Keimlingsmehl ist so reich an Fett, daß man dies schon durch Pressen erhalten kann, auch die Extraktion mit fettlösenden Mitteln ist in die Technik eingeführt. Je frischer die Körnerfrüchte entfettet werden, um so fettsäurefreier sind die Fette, aus denen dann durch Beseitigung der Fettsäuren völlig neutral reagierende Öle hergestellt werden. Sie sind bei gewöhnlicher Temperatur flüssig und von gelber Farbe. Das Maisöl z. B. wurde seit Jahren auf italienische Rechnung in Deutschland hergestellt und wahrscheinlich im Heimatlande des Olivenöls zu dessen Streckung verwendet. Das Getreide wird durch die Entfettung haltbarer und besser schmeckend, weil das sonst allmählich eintretende Ranzigwerden des Keimlingfettes ausgeschlossen ist. Die Fettverwertung will ich hier nicht weiter behandeln, nur auf die entfetteten Keimlinge als Nahrungsmittel mag das Augenmerk gelenkt werden. Das Rohmaterial der Maiskeimlinge stellt ein weißliches gelbes Pulver dar, in dem man deutlich die Maisschalen mit bloßem Auge erkennen kann. Roggen- und Weizenkeimlinge sind ein braunes, flockiges Mehl ohne besonderen Geruch oder störenden Geschmack. Derartige Produkte sind seit einigen Jahren bekannt und auch in den Handel eingeführt

worden. Solche Gemenge sind reich an Eiweißstoffen, darunter auch Nukleinsäuren (Tritikonukleinsäure, Osbornes und Harris'¹) und Umsetzungsprodukten des Eiweißes (Asparagin, Glutamin, Cholin, Betain usw.); die Menge des Ätherextraktes ist erheblich, neben Neutralfetten sind Lipoide vorhanden. Auch findet sich die in der Weizenkleie von Posternak nachgewiesene Anhydro-Oxymethylenphosphorsäure², die in Inosit und Phosphorsäure zerfällt. Fettsplattende Fermente finden sich gleichfalls, sie sind es, die zum Verderben des Kornes beitragen können, indem sie auf die Fette zur Wirkung kommen.

Für die Verwendung des Keimlingsmehles scheint sich zuerst Chevalier auf dem 2. Kongreß für Ernährungslehre zu Lüttich 1911 ausgesprochen zu haben. Als Zusammensetzung wurde folgende angeführt: 100 Teile lufttrocken geben:

Wasser	11·5
Eiweiß	38·54
Cholesterin	0·44
Lezithin	1·55
Fett	12·50
Raffinose	} 24·35
Glukose	
Saccharose	
Zellulose	1·71
Asche	4·82

Boruttau gibt für das von der Vollkornbrotfirma Klopfer in den Handel gebrachte Präparat Materna³ 36 Prozent Eiweiß, 28 Prozent lösliche Kohlehydrate und 4·3 Prozent Asche an. Nach Aimé Girard sollen von der Trockensubstanz 46·4 Prozent wasserlöslich sein. Weniger günstig fand ich die Maiskeimlinge zusammengesetzt.

Nach meinen Untersuchungen fand ich:

	Für Weizenkleie nach meiner Analyse	Für Maiskeimlinge
Asche	7·26	2·77
Organisches	92·74	97·23
Rohprotein	11·87	13·50
Fett	2·11	3·72
Zellmembran	34·97	32·17
Stärke	43·97	47·50

¹ Zeitschr. f. phys. Chem. 1900. Bd. II. S. 36.

² Compt. rend. de l'Acad. d. Sc. 1903. Bd. CXXXVII.

³ Zeitschr. f. phys. und diätet. Therapie. 1912. S. 3.

In 100 Teilen Zellmembran der Maiskleie waren:

Zellulose	28·51 Prozent
Pentosan	40·58 „
Rest	30·91 „

Letztere erinnert also an die Zellmembran der Weizenkleie, der Maiskeimling ist sehr aschearm. Nach diesen Ergebnissen kann angenommen werden, daß die Trennung der Keimlinge unvollkommen war und diese Sorten von entfetteten Maiskeimlingen nur der Weizenkleie im Nährwert gleichzustellen sind.

Gewöhnlich gibt man für die Futterkleie in 100 Teilen an:

7·86 Prozent Asche,
16·29 „ Rohprotein,
4·78 „ Fett,
71·07 „ N-freie Extrakte + Zellulose.

Weitere Ernährungsversuche mit derartig wenig reinem Material lohnten nicht.

Wenn man sich die Technik der Keimlingsabscheidung ins Gedächtnis ruft, d. h. ein Rollen der Körner zwischen rotierenden Flächen, deren Abstand größer ist als der kleinste Durchmesser des Kornes und kleiner als der größte Durchmesser, so begreift man, daß bei Mais sehr leicht viel von den Membranen der Schalen abgesprengt wird. Günstiger ist die Sache bei der elliptisch ausgeprägten Form des Roggens und Weizens. Den guten Effekt der Darstellung kann man ohne weiteres aus dem N-Gehalt der Produkte oder aus seinem Zellmembrangehalt ersehen. Da mir neuerdings solche zellmembranarme Produkte geliefert wurden, habe ich es unternommen, mit ihnen Versuche über die Verdaulichkeit zunächst am Hunde auszuführen.

a) Versuch mit Roggenkeimlingen.

Die Versuchsanordnung bestand in der Beimischung von je 70 g lufttrocknen Keimlingsmehlen zu 1000 g Fleisch täglich, nach drei Tagen wurde der Versuch abgeschlossen. Irgendeine auffällige Erscheinung wurde nicht wahrgenommen, die Ausscheidungen glichen dem Fleischkot.

Fütterung und Ausscheidung ergeben sich aus folgenden Tabellen (siehe Tabellen Seite 126):

Das Gesamtergebnis muß als ein sehr günstiges bezeichnet werden, denn die Menge der organischen Bestandteile der Ausscheidungen war außergewöhnlich gering. Die Keimlinge waren übrigens nur schwach entfettet.

Zusammensetzung der Roggenkeimlinge.

	In 100 Teilen Trockensubstanz	In 64.6 g pro Tag
Asche	6.76	4.4
Organisches	93.24	60.2
Gesamtpentosan	7.33	4.73
Zellmembran	7.98 mit 2.55 g Pent.	5.15 mit 1.65 Pent.
Zellulose	3.13	2.02
Restsubstanz	2.31	1.48
N	6.57 = 41.05 Protein	4.26 = 26.62 Protein
Fett	14.44	9.3
Kalorien	487.8	315.1

In 100 Teilen Zellmembran:

Zellulose	39.22
Pentosan	32.02
Rest	28.76

Zusammensetzung der Ausscheidungen.

	In 100 Teilen Trockensubstanz des Kotes	In 16.1 g trocknen Kotes pro Tag
Asche	28.0	4.5
Organisches	72.0	11.6
Gesamtpentosan	6.86	1.10
Zellmembran	10.28 mit 3.58 Pent.	1.65 mit 0.57 g Pent.
Zellulose	5.97	0.96
Restsubstanz	0.73	0.12
N	6.50	1.15
Fett	3.30	0.53
Kalorien	411.4	66.2

In 100 Teilen Zellmembran:

Zellulose	58.07
Pentosan	33.15
Rest	8.78

Wenn man den Gesamtverlust nach Kalorien darstellt, so wäre ein solcher überhaupt nicht vorhanden, da im Kote bei Fleischkost an sich schon 67.7 Kal. ausgeschieden wurden, hier aber nur 66.2 Kal. gefunden wurden, das besagt, daß die Verluste innerhalb der zufälligen Schwankungen der Kotalausscheidung bei alleiniger Fleischkost liegen. Die Zellmembranbestimmung lehrt jedoch, daß wirklich noch ein geringer Verlust

vorhanden war. Ich füge daher diese Ergebnisse hier unmittelbar bei, weil ja über die Größe der Zellmembranbestandteile direkte Angaben zu machen sind:

Es beträgt der Verlust:

an Gesamtpentosan	20.50
„ Zellmembran	32.23
„ Zellulose	47.52
„ Pentosan der Zellmembran	34.41
„ Restsubstanz	8.18
„ freier Pentose	12.98

Als Pentoseanteil des Fleischkots wurde 0.13 g pro Tag abgezogen. Die Verdaulichkeit der Zellmembran ist demnach günstig und was besonders auffällt, es ist recht viel Zellulose aufgelöst worden, besonders stark wurde die Restsubstanz, d. h. die Gruppe, welche die Lignine einschließt, resorbiert. Auch Pentosane sind natürlich reichlich aufgelöst, weil ja viel von der Zellmembran zerstört wurde. Von diesem Pentosan blieben aber gewisse Mengen unresorbiert liegen, wohl deshalb, weil sie erst im Dickdarm durch Verdauung der Zellmembran frei werden. Dies gibt folgendes Ergebnis: Offenbar handelt es sich bei der Verdauung um die Trennung zweier Sorten von Zellmembran, um jene der Keimlinge selbst und um die Beimischung eines Kleieanteils, den man ja auch mikroskopisch sieht. Ein Ausbrechen des Keimlings ohne alle Verletzung der Kleberzellenschicht ist nicht möglich. Diese Kleberzellen behalten hartnäckig ihren N. Auch wenn die Zellmembran weiter zerrieben und mit Pankreatin verdaut wird, finden sich hier pro Tag 0.22 N als Rest des Kleieeiweißes. Analog für die Zufuhr berechnet waren von solchem Kleberzellenstickstoff pro Tag 0.35 g vorhanden, so daß der Verlust 62.36 Prozent beträgt, wenn aller in Zellmembranen austretende N nur Kleieeiweiß war, was sich nicht bestimmt sagen läßt.

Die 0.22 g N gehen also auch von der Gesamt-N-Ausscheidung von 1.05 ab, wonach 0.83 g N für Stoffwechselprodukte des Fleischkotes übrig bleiben, ein Wert, wie ich ihn mehrfach gefunden habe; allerdings bewegt sich die N-Ausscheidung bis 1.0 g, doch liegen solche Schwankungen in den Fehlergrenzen, zumal auch jetzt das Fleisch nicht immer von gleicher Beschaffenheit ist. Man wird also sagen dürfen, daß das eigentliche Embryonalgewebe, was den N anlangt, wie die Teile, welche nicht der Zellmembran angehören, restlos resorbiert worden sind. Die im Kot hinterbliebene Zellmembran dürfte vermutlich nur von der beigemengten Kleiezellmembran stammen, mit der sie sehr nahe übereinstimmt. Die geringen Mengen Zellmembran haben einen nachteiligen Einfluß auf die Resorption der übrigen Nährstoffe nicht ausgeübt.

b) Weizenkeimlinge.

Aus den Weizenkeimlingen lassen sich durch warmes Wasser und nachträgliche Extraktion mit Alkohol 40·2 Prozent Substanz ausziehen. Darunter 28·9 Prozent des N, lösliche Eiweißstoffe und N-haltige Spaltprodukte. Autolysiert man das Mehl bei 37° einen Tag lang, so werden 47·2 Prozent der Masse gelöst und 47·2 Prozent des N, bei weiterer Autolyse nicht mehr. Das Filtrat ist sehr reich an Phosphorsäure (auch stark saure Reaktion), wohl zum Teil durch Spaltung der phosphorsäurehaltigen organischen Verbindungen. Im Verlauf des Versuches unterschieden sich die Weizenkeimlinge in nichts von den Roggenkeimlingen, doch war ihre Zusammensetzung wegen des höheren Zellmembrangehaltes weniger günstig als Nahrungsmittel. Das weitere ergibt sich aus nachfolgender Tabelle.

Zusammensetzung des Weizenkeimlings.

	In 100 Teilen Trockensubstanz	In 61·8 g pro Tag
Asche	5·09	3·14
Organisches	94·91	58·70
Gesamtpentosan	10·29	6·36
Zellmembran	17·42 mit 8·34 Pent.	10·76 mit 5·14 g Pent.
Zellulose	4·71	2·91
Restsubstanz	4·37	2·70
N	4·13 = 25·80 Protein	2·55 = 15·93 Protein
Fett	6·01	3·71
Kalorien	479·5	296·3

In 100 Teilen Zellmembran:

Zellulose	27·04
Pentosan	47·82
Rest	25·14

Zusammensetzung der Ausscheidungen.

	In 100 Teilen Trockensubstanz des Kotes	In 29·6 g Kot pro Tag
Asche	24·72	7·3
Organisches	75·28	22·3
Gesamtpentosan	10·97	3·25
Zellmembran	22·77 mit 6·60 Pent.	8·58 mit 1·94 Pent.
Zellulose	9·88	2·92
Restsubstanz	6·29	1·86
N	5·43	1·62
Fett	3·15	0·93
Kalorien	387·0	114·6

In 100 Teilen Zellmembran:

Zellulose	34·07
Pentosan	28·99
Rest	36·94

Ich betrachte den hohen Gehalt des Weizenkeimlings an Zellmembran nur als einen vorläufigen Mangel der Technik der Auslese des Keimlings, Roggen- und Weizenkeimlinge wurden in verschiedenen Mühlen hergestellt; der hohe Kleiegehalt kündigt sich auch schon durch den hohen Pentosan gehalt der Weizenkeimlinge überhaupt an. Wie die mikroskopische Untersuchung gezeigt hatte, waren ziemlich viel Kleiezellen (Kleberzellen) vorhanden, diese sind sehr reich an Pentosan. 81·8 Prozent des letzteren waren in der Zellmembran vorhanden. Der Zellmembrangehalt von 17·42 Prozent der Trockensubstanz ist mehr als das Doppelte, als sich an Zellmembran etwa in Vollkornmehlen findet.

Die Zellmembran hat den Charakter der „Kleie“, Armut an Zellulose, Reichtum an Pentosanen. Weitere Einzelheiten mögen im Anschluß an die Besprechung der Verdaulichkeit vorbehalten sein. Die entleerte Kotmenge steigt etwa auf das Doppelte wie jene im vorigen Versuch, etwa im selben Maße der Verlust

an Kalorien	114·6 pro Tag.
Zieht man davon die Kalorien des Fleischkotes	67·7 ab,
so bleiben als Rest	46·9 Kal.

übrig, welche aus Stoffwechselprodukten oder unverdauten Stoffen bestehen können. Das Ergebnis gibt uns ein ungefähres Bild. Die im Kot aufgefundenen Nahrungsreste und ihr Brennwert waren folgender:

8·58 g reine Zellmembran × 4·2	=	36·0 Kal.
1·18 g Pentosan × 3·9	=	4·6 „
3·63 g Protein × 5·8	=	21·0 „
Summe		61·6 Kal.

diese von 114·6 Kal. abgezogen
61·6 „

bleiben 53·0 Kal. für Stoffwechselprodukte aus Fleisch, während im Mittel 67·7 Kal. gefunden wurden. In Wirklichkeit ist der Unterschied sehr unbedeutend, wenn man ihn in g Kotmenge ausdrückt und fällt innerhalb der üblichen Versuchsfehler. Sicher bewiesen ist, daß eine Steigerung der Stoffwechselprodukte nicht eingetreten ist. Wenn das der Fall ist, so sind die eigentlich nährenden Bestandteile der Weizenkeimlinge so gut wie restlos resorbiert worden. Beseitigt man also die Kleianteile in Zukunft

besser, so steht der Weizenkeimling an Wert dem Roggenkeimling nicht nach.

Der N-Verlust bei nur 2·55 g in der Zufuhr ist bei der Kleinheit der Zahlen schwierig zu beurteilen, er darf nicht unmittelbar mit dem N-Verlust des Kotes verglichen werden, weil ja letzterer schon in Stoffwechselprodukten allein etwa 1·03 g N zu enthalten pflegt. Die Einfuhr selbst bestand aus dem Protein des Keimlings und dem N der Kleiezellen. Nehme ich für die Menge des N, der in der Zellmembran enthalten war, an, daß 100 g Keimlinge 0·356 g Kleiezellen-N enthielt und gleichfalls nach der Analyse des Kotes in 100 Teilen 1·91 g N derselben Quelle, so wird die Einfuhr 0·230 g N, die Ausfuhr war etwa 0·55 g N, woraus hervorgeht, daß von den Eiweißstoffen der Keimlinge selbst ein kleiner Teil mit den reichlichen Zellmembranen des Kotes als unlöslich abgeschieden wurde. Nimmt man den N des Kleieiwisses als nahezu unverdaulich an, so würde der Verlust der Keimlinge an N rund 13·8 Prozent gewesen sein. An anderer Stelle wird hierüber noch näheres mitgeteilt werden. Man könnte auch damit rechnen müssen, daß Embryozellen an gröberen Kleiestückchen hängen bleiben und so der Resorption entzogen werden. Die Roggenkeimlinge wurden ohne Verlust resorbiert, offenbar, weil sie ein reineres zellmembranärmeres Präparat darstellen.

Die Zellmembranen sind hier als Verunreinigung zu betrachten, es hat aber Interesse, ihre Verdaulichkeit näher zu verfolgen, da es sich um Kleiteile handelt, die schon mehrfach unter verschiedenen Umständen auf ihre Resorption geprüft worden sind. Die Zusammensetzung der Ein- und Ausfuhr läßt die gewohnte Beobachtung machen, daß die Zellulose sich ungünstig verhalten hat, während andere Teile der Zellmembran besser gelöst werden.

Der Verlust beträgt:

	bei Weizen- keimlingen Prozent	bei Roggen- keimlingen Prozent
An Gesamtpentosen	49·06	20·50
„ Zellmembran	79·74	32·23
„ Zellulose	100·0	47·52
„ Pentosan in der Zellmembran	37·97	34·41
„ Restsubstanz	29·57	8·18
„ freier Pentose	—	12·98

Die Zellmembran blieb also ziemlich unverdaut liegen, die Zellulose unberührt, die Pentosane wurden gut, die Restsubstanz noch besser resorbiert. Die aus der Zellmembran gelösten Pentosane blieben ungelöst im Darm, daher die auffällige Erscheinung, daß am Schluß nach der Verdauung mehr freie Pentosane vorhanden sind wie in der Zufuhr. Im Vergleich zu

der Roggenkeimlingzellmembranen sind hier bei dem Weizenpräparat die Verhältnisse ungünstig. Kleiezellen sind auch beim Hund sonst recht gut resorbiert worden; aus welchen Gründen hier die Verdauung ziemlich versagte, ist eine Frage, auf die man auf diesem Gebiete recht häufig und auch beim Menschen stößt, ohne sie vorläufig restlos entscheiden zu können.

Beide Versuchsreihen lassen erkennen, daß der Keimling ein gut verdauliches Nährmaterial ist, das mit der Kleie nicht etwa in Vergleich gestellt werden darf. Die gute Resorbierbarkeit beruht offenbar auf den feinen Zellmembranen des Embryos, alle anderen Zellmembranen müssen so weit als möglich ausgeschlossen werden, damit nicht durch diese fremde Beimischung ein ungünstiger Effekt auf die Verdaulichkeit der Keimlinge ausgeübt wird. Die Menge der zu gewinnenden Keimlinge wird man nicht auf höher als 1 bis 1·5 Prozent des Gesamtkornes nach den bisherigen günstigsten Resultaten annehmen dürfen. Trotzdem ist die Entkeimung ein volkswirtschaftlich wichtiger Prozeß, da die Ölgewinnung zu einem neuen wertvollen Produkt aus der Brotfrucht wird — ohne diese im Nährwert zu mindern — und der Keimling ein natürliches Eiweißpulver von leichter Resorbierbarkeit darstellt. Man darf wohl damit rechnen, daß sich diese Betriebe auch in die Friedenszeit hinüber erhalten werden.