

Ueber die Verdaulichkeit der in den vegetabilischen Futtermitteln enthaltenen Pentosane.

Von

H. Weiske.

(Der Redaction zugegangen am 16. März 1895.)

Durch die eingehenden Untersuchungen von B. Tolens u. A. wissen wir bekanntlich, dass in den pflanzlichen Futtermitteln neben den Kohlenhydraten mit 6 oder einem Vielfachen von 6 Atomen C auch solche Verbindungen oft in recht erheblicher Menge vorkommen, welche nach der empirischen Formel $C_5H_8O_4$ zusammengesetzt sind und, entsprechend ihren 5 Atomen C, als Pentosane bezeichnet werden. Durch Einwirkung verdünnter Mineralsäuren etc. gehen diese Pentosane unter Wasser-Aufnahme in Zuckerarten, sogen. Pentosen, von der empirischen Formel $C_5H_{10}O_5$ über und verhalten sich also in dieser Beziehung analog den Kohlenhydraten von der empirischen Formel $C_6H_{10}O_5$, welche bekanntlich gleichfalls unter H_2O -Aufnahme in Zucker von der Formel $C_6H_{12}O_6$ übergeführt werden können.

Die bei den pflanzlichen Futtermitteln hauptsächlich in Betracht kommenden Pentosen: Arabinose und Xylose, welche in heissem Wasser leicht löslich sind, besitzen nach den Untersuchungen von F. Stohmann und Langbein eine molekulare Verbrennungswärme von 558,3 resp. 561,9 Cal. oder pro gr. 3722,0 resp. 3746,0 Cal., während diejenige des Traubenzuckers 673,7 resp. 3742,6 Cal. beträgt¹⁾.

¹⁾ Zeitschrift f. Biologie, Bd. XXXI, S. 381.

Die Bestimmung dieser Pentosane, resp. Pentosen erfolgt nach B. Tollens und Flint¹⁾ am besten durch Kochen der betreffenden Substanzen mit verdünnter Salzsäure, Ueberdestilliren des aus den Pentosen gebildeten Furfurols und Fällen des letzteren durch Phenylhydrazin²⁾. Das hierbei entstandene Furfurolhydrazon wird abfiltrirt, gewogen und aus dem Gewichte desselben die Menge der ursprünglich vorhanden gewesenen Pentosane, resp. der Pentosen, berechnet.

Nach den in dieser Richtung von B. Tollens u. A. ausgeführten Untersuchungen sind z. B. im Weizenstroh 21,90% und in den Biertrebern 26,93% Pentosane enthalten, so dass also bei Verabreichung von Rauhfutter und Cerealienkörnern von unseren landwirthschaftlichen Hausthieren voraussichtlich nicht unbeträchtliche Quantitäten dieser Pentosane zur Aufnahme gelangen.

Es liegt daher die Frage nahe, ob, event. in welcher Höhe diese Pentosane im Verdauungsapparate der Thiere gelöst und dann weiter verwerthet werden. Am Wahrscheinlichsten dürfte wohl die Annahme sein, dass sie, ähnlich wie die Stärke und dergl., durch Fermente eine Umwandlung in Arabinose, Xylose etc. erfahren, als solche zur Resorption gelangen und hierauf oxydirt werden, also der Hauptsache nach als Heizstoffe, sowie als eiweiss- und fettsparendes Material im thierischen Organismus Verwerthung finden.

Bereits im Jahre 1892 wurde von E. Salkowski und M. Jastrowitz³⁾ über eine bisher noch nicht beobachtete Zuckerart berichtet, welche sich im Menschenharn nur unter gewissen Umständen vorfindet, und von der nach den an-

¹⁾ Landw. Versuchs-Stationen, Bd. XLII, S. 381.

²⁾ Neuerdings ist von Hotter, resp. C. Counciler empfohlen worden, an Stelle des Phenylhydrazins besser Pyrogallol, resp. Phloroglucin zu verwenden. Dagegen wird von Stift ebenfalls angegeben, dass die Bestimmung der Pentosane nach B. Tollens gute Resultate lieferte; er fand z. B. in frischen Rüben 9,16—11,94%, in frischen Rübenschneitzeln 18,43—28,23%, in Rapskuchen 5,92—7,80%, in Kleie 12,71—14,79% (Chemiker-Zeitung 1895, S. 15).

³⁾ Centralblatt f. d. medicin. Wissenschaften 1892, S. 337.

gestellten Reactionen und dem sonstigen Verhalten anzunehmen war, dass es sich um eine Pentose und zwar um Xylose oder β -Akrose handelte.

Hierauf berichtete W. Ebstein¹⁾ (als vorläufige Mittheilung) über Versuche mit Arabinose und Xylose, bei denen sich ergeben hatte, dass diese Pentosen, sofern sie in Dosen von 25 gr. vom Menschen aufgenommen werden, unverändert im Harn wieder zur Ausscheidung gelangen, so dass also anzunehmen wäre, dass eine Verwerthung derselben im Organismus des Menschen nicht erfolgt.

Weiter hat E. Salkowski²⁾ Versuche über das Verhalten der Arabinose im Thierkörper angestellt, bei denen es sich hauptsächlich um die Frage handelte, ob sich nach Aufnahme von Arabinose Glycogenbildung in der Leber nachweisen lässt, eventl. von welcher Beschaffenheit dieses Glycogen in diesem Falle ist. Diese Versuche wurden an sieben Kaninchen und einem Huhn ausgeführt, und zwar der Art, dass die Versuchsthiere nach 5 resp. 6 tägiger Carenz je 10 resp. 15 gr. Arabinose in 2 Dosen erhielten und alsdann 14 $\frac{1}{2}$ bis 19 Stunden nach der 2. Dosis getödtet wurden und zur Untersuchung gelangten. Es ergab sich hierbei, dass der grösste Theil der aufgenommenen Arabinose schnell und sehr vollständig resorbirt worden war, und dass nur etwa $\frac{1}{5}$ unverändert im Harn der Versuchsthiere wieder ausgeschieden wurde. Im Blute der betreffenden Thiere fand sich etwas, in den Muskeln dagegen reichlich Arabinose vor. Die Lebern der betreffenden Thiere enthielten mit Ausnahme eines Falles, bei dem die Carenz 6 Tage gedauert hatte, Glycogen und zwar 0,595 bis 2,058 gr., im Mittel 1,228 gr. Das vorgefundene Glycogen war das gewöhnliche und enthielt keine Spur Pentose beigemischt. E. Salkowski schliesst hiernach, dass das Kaninchen die Pentosen augenscheinlich direct oder indirect zu verwerthen vermag, während der Mensch dieselben nach Ebstein's Versuchen wieder unverändert ausscheidet.

¹⁾ Centralblatt f. die medicin. Wissenschaften, 1892, S. 577.

²⁾ Centralblatt f. die medicin. Wissenschaften, 1893, S. 193.

Zu den gleichen Ergebnissen wie E. Salkowski gelangte auch M. Cremer bei seinen Versuchen über das Verhalten der Pentosen im thierischen Organismus¹⁾. Er fand, dass Arabinose, Xylose und die Methyl-Pentose: Rhamnose, bei Kaninchen und Hühnern die Glycogenbildung positiv beeinflussen, dass das betreffende Glycogen das gewöhnliche war, und dass bei Anstellung der Phloroglucinsalzsäure-Reaction dasselbe keine Spur von Pentosanstreifen im Spectrum gab.

Gleichzeitig hat M. Cremer auch an sich selbst einen Versuch über die Resorption der Pentosen (Arabinose) angestellt, welcher ihn zu dem Resultat führt, dass die Pentosen, entgegen der Angabe von W. Ebstein auch im Körper des Menschen z. Thl. der Zersetzung anheimfallen und verwertet werden. Von 25 gr. Arabinose, welche er während eines Tages aufgenommen hatte, fand er noch nicht 10 gr. im Harn wieder; eine Beobachtung, die in ähnlicher Weise auch von J. Munk²⁾ gemacht worden ist.

Im Gegensatz zu E. Salkowski und M. Cremer kommt J. Frentzel³⁾ bei der Anstellung ähnlicher Versuche zu dem Resultat, dass sich aus den Pentosen (Xylose) weder direct noch indirect Glycogen im Organismus der Thiere zu bilden vermöge. Derselbe operirte gleichfalls mit Kaninchen, doch waren diese Versuchsthiere durch Strychnin zuvor sicher vollständig glycogenfrei gemacht, durch Schlafmittel dauernd in Ruhe und durch warme Decken in gleichmässiger Temperatur gehalten worden. Aus den Resultaten seiner, unter allen erforderlichen Vorsichtsmassregeln angestellten Versuche folgert Frentzel, dass Xylose nicht nur kein Glycogen oder einen diesem ähnlichen Körper zu bilden vermag, sondern dass dieselbe auch nicht einmal im Stande ist, den Glycogenansatz im Thierkörper auf indirectem Wege dadurch positiv zu beeinflussen, dass sie in Folge eigener Oxydation ersparend auf andere direct glycogenbildende Stoffe (z. B. Eiweiss) wirkt und auf diese Weise etwa Glycogen zum Ansatz bringt.

¹⁾ Zeitschrift f. Biologie, Bd. XXIX, S. 484.

²⁾ Centralblatt f. d. medicin. Wissenschaften, 1894, S. 83.

³⁾ Archiv f. d. ges. Physiologie, Bd. 56, S. 273.

Schliesslich haben W. E. Stone und W. J. Jones¹⁾ in den von Fütterungsversuchen mit Schafen herrührenden Proben der verabreichten Futtermittel und der ausgeschiedenen Fäces die Pentosane bestimmt, indem sie je 5 gr. Substanz mit Salzsäure von 1,06 gr. spec. Gew. destillirten, bis alles gebildete Furfurol in die Vorlage übergegangen war. Hierauf titrirten sie das im Destillat enthaltene Furfurol mit Phenylhydrazin unter Anwendung von Fehling'scher Lösung als Indicator und rechneten den gefundenen Werth mit dem Factor 1,38 auf Pentosan um. Die nach dieser Methode für den Pentosangehalt erhaltenen Resultate schwankten bei den verschiedenen Heusorten zwischen 8,85 bis 16,16% und für die entsprechenden trockenen Fäces zwischen 3,26 bis 16,85%. Aus der Berechnung der im Futter, resp. in den Fäces enthaltenen Gesamtmenge an Pentosanen kommen die Verfasser zu dem Resultat, dass von den im Futter aufgenommenen Pentosanen 44 bis 71% verdaut worden waren²⁾. Ausserdem hatten Versuche von W. A. Stone³⁾, bei denen 2 Kaninchen mit Weizenkleie und Roggenmehl gefüttert worden waren, ergeben, dass von den in diesen Körnern enthaltenen Pentosanen 58,93 resp. 62,46% verdaut worden waren, und dass diese Verdaulichkeit durch Vermehrung des Futterproteins merkwürdiger Weise auf 40% zurückging.

Um nun weitere Beiträge in dieser Richtung zu liefern, wurden auf hiesigem Institute gleichfalls Futtermittel, welche bei früheren Fütterungsversuchen Verwendung gefunden hatten, sowie die entsprechenden Darmexcremente, welche die Ver-

¹⁾ Centralblatt für Agriculturchemie, 1893, S. 677, nach *Agricult. Science*, 1893, Bd. 7, S. 6.

²⁾ Leider steht mir nur das Referat und nicht die Originalarbeit zur Verfügung, so dass es mir nicht möglich ist, ein bestimmtes Urtheil darüber zu gewinnen, in wie weit diese Untersuchungen für die Beantwortung der Frage über die Verdaulichkeit der Pentosane als entscheidend anzusehen sind. Auffallend ist z. B., dass das Gewicht des aus Heu bestehenden Futters pro Schaf zwischen 646,6 gr. und 3221,0 gr., also zwischen ganz abnormen Zahlen schwankt.

³⁾ Chemisches Centralblatt, 1892, S. 566; nach *American Chem. Journal*, XIV.

suchsthiere bei diesen Versuchen ausgeschieden hatten, nach der bereits Anfangs erwähnten Methode von B. Tollens und Flint, die z. Z. wohl als die zuverlässigste angesehen werden darf, von Herrn Dr. A. Wicke auf ihren Pentosan-Gehalt untersucht. Als Material verwendete man einerseits das Wiesenheu und den Hafer, sowie die Fäces von den bereits früher¹⁾ mitgetheilten Versuchen über die Frage, ob die Aufnahme des Tränkwassers, je nachdem sie vor oder nach dem Futterverzehr stattfindet, einen Einfluss auf die Ausnutzung des Futters oder auf den Stickstoffumsatz im Körper ausübt, — andererseits den Hafer sowie die Fäces von den gleichfalls bereits früher²⁾ mitgetheilten Versuchen über die Verdaulichkeit des normalen und des zuvor auf 100° erhitzten Futters. Erstere Versuche, welche in 3 Perioden zerfielen, waren mit 2 Hammeln, letztere, aus 2 Perioden bestehend, mit 2 Kaninchen angestellt worden.

Bei dem Fütterungsversuche mit 2 Hammeln war in allen 3 Perioden genau das gleiche Futter, bestehend aus 800 gr. lufttrockenem = 706,72 gr. wasserfreiem Wiesenheu und 250 gr. lufttr. = 219,00 gr. wasserfreiem Hafer verabreicht und auch thatsächlich vollständig consumirt worden. Die durchschnittliche Menge der in den 3 Perioden pro Tag entleerten Darmexcremente hatte im wasserfreien Zustande bei Hammel I: 346,89 gr. resp. 361,70 gr. resp. 359,83 gr. und bei Hammel II: 352,83 gr. resp. 338,72 gr. resp. 354,30 gr. betragen. Die Untersuchung dieser verwendeten Futtermittel und der entleerten Fäces ergab im Mittel zweier Bestimmungen auf wasserfreie Substanz berechnet folgenden Gehalt an Pentosanen:

	Pentosane.		Pentosane.
Wiesenheu	27,64 %	Fäces, Hammel I, Per. II.	24,01 %
Hafer	15,55 »	» » II, » II.	23,07 »
Fäces, Hammel I, Per. I.	—	» » I, » III.	21,16 »
» » II, » I.	23,40 »	» » II, » III.	21,69 »

1) Landw. Versuchs-Stationen, Bd. XLV, S. 311.

2) Landw. Versuchs-Stationen, Bd. XLIV, S. 475.

Bezüglich dieser Pentosanbestimmungen sei noch Folgendes bemerkt. Während das Kochen mit verdünnter Salzsäure von bestimmtem Gehalt bei den Futtermitteln stets glatt und ohne weitere Schwierigkeiten verlief, trat bei den analogen Bestimmungen in den Fäces, welche in ganz gleicher Weise wie die betreffenden Futtermittel fein pulverisirt worden waren, der Uebelstand auf, dass die Substanz beim Destilliren derart zu stossen anfang, dass Theile derselben mit übergerissen oder auch der Kolben zertrümmert wurde. Verschiedene Versuche, diesen Uebelstand zu vermeiden, wie z. B. das Einbringen von Platin etc., erwiesen sich als erfolglos, dagegen ergab sich schliesslich, dass durch Einleiten von H-Gas das heftige Stossen soweit gemildert werden konnte, dass sich die Destillation ohne Verlust zu Ende führen liess. Controllversuche mit Futtermitteln, bei denen die Destillation theils mit, theils ohne Einleiten von H-Gas erfolgte, ergaben übereinstimmende Resultate, wogegen beim Einleiten von atmosphärischer Luft an Stelle des H stets eine geringere Furfurolmenge erhalten wurde. Wesentlich erwies sich hierbei, dass das Einleiten von H gut regulirt wird, so dass möglichst wenig HCl-Dämpfe übergehen und die Temperatur stets genau die gleiche, nämlich 160° C., bleibt¹⁾.

Mit Hülfe dieser vorstehend angegebenen Zahlen berechnet sich nun die durchschnittliche Menge der im Futter der beiden Versuchsthiere aufgenommenen, sowie der in ihren Darmkoth wieder ausgeschiedenen Pentosanmengen und hieraus weiter die Verdaulichkeit dieser Substanzen wie folgt:

	H. I, P. I.	H. II, P. I.	H. I, P. II.	H. II, P. II.	H. I, P. III.	H. II, P. III.
Im Wiesenheu	195,34gr.	195,34gr.	195,34gr.	195,34gr.	195,34 gr.	195,34gr.
Im Hafer	34,05 »	34,05 »	34,05 »	34,05 »	34,05 »	34,05 »
Summe der Pentosane.	229,39 »	229,39 »	229,39 »	229,39 »	229,39 »	229,39 »
In den Fäces	—	82,56 »	86,84 »	78,14 »	76,14 »	76,84 »
Verdaut	—	146,83 »	142,55 »	151,25 »	153,25 »	152,55 »
„	—	64,0 %	62,2 %	65,9 %	66,8 %	66,5 %

¹⁾ In Folge der vielen hierbei Anfangs missglückten Bestimmungen fehlte es schliesslich bei Hammel I, Per. I an Material zur Pentosanbestimmung.

Wir ersehen aus vorstehenden Resultaten, dass die beiden Versuchsthiere die in ihrem Futter enthaltene Pentosane, deren Gesamtmenge pro Tag nahezu $\frac{1}{4}$ Kgr. betrug, ungefähr gleich hoch verdaut hatten, und dass es in Betreff der Ausnutzung auch bezüglich dieses Futterbestandtheiles ohne bemerkenswerthen Einfluss war, ob das Tränkwasser ad libitum, vor oder nach der jedesmaligen Futteraufnahme gereicht wurde. Im Mittel aller 3 Perioden gelangten durch die beiden Hammel durchschnittlich 65,1% von den im Heu und Hafer enthaltenen Pentosanen zur Verdauung.

Bei dem Fütterungsversuche mit 2 Kaninchen war ebenfalls während der ganzen Versuchszeit stets das gleiche Futter, nämlich 80 gr. lufttr. = 75,61 gr. trockener Hafer pro Tag und Kopf verabreicht und auch thatsächlich vollständig aufgefressen worden. Ein Unterschied hatte nur insofern zwischen der 1. und 2. Periode bestanden, als der zu verfütternde Hafer im ersteren Falle bei Kaninchen II, im letzteren bei Kaninchen I vor dem Verzehr längere Zeit auf 100° C. erhitzt worden war. Die durchschnittliche Menge der in den 2 Versuchsperioden von den beiden Kaninchen entleerten trockenen Darmexcremente betrug pro Tag und Thier bei Kaninchen I: 19,88 gr. resp. 18,61 gr. und bei Kaninchen II: 18,55 gr. resp. 18,78 gr.

Der Pentosangehalt des bei diesem Versuche verfütterten Hafers ergab sich auf Trockensubstanz berechnet im Mittel zu 18,51%, derjenige der Darmexcremente bei Kaninchen I zu 33,93% resp. 34,39% und bei Kaninchen II zu 33,40% resp. 34,79%. Unter Zugrundelegung dieser Resultate berechnet sich jetzt die durchschnittlich pro Tag aufgenommene resp. in den Fäces ausgeschiedene Gesamtmenge der Pentosane und hieraus weiter deren Verdaulichkeit folgendermaassen:

Pentosane im:	K. I, P. I.	K. II, P. I.	K. I, P. II.	K. I, P. II.
Hafer	14,00 gr.	14,00 gr.	14,00 gr.	14,00 gr.
Fäces	6,74 »	6,20 »	6,40 »	6,53 »
Verdaut	7,26 »	7,80 »	7,60 »	7,47 »
»	51,86 %	55,72 %	54,30 %	53,36 %

Auch bei diesem Fütterungsversuche mit Kaninchen stimmen die Verdauungscoëfficienten für die Pentosane annähernd überein und betragen im Mittel 53,81%. Die im Hafer enthaltenen Pentosane scheinen demnach, ein ungefähr gleiches Verdauungsvermögen bei Schaf und Kaninchen vorausgesetzt, etwas weniger verdaulich zu sein als diejenigen des Wiesenheus.

Wennschon nun aus diesen Versuchen mit Bestimmtheit angenommen werden kann, das ein grosser Theil der im Futter der Herbivoren enthaltenen Pentosane im Körper dieser Thiere zur Verdauung und Resorption gelangt, so darf doch daraus noch nicht mit der gleichen Bestimmtheit geschlossen werden, dass dieser in den Fäces nicht wieder erscheinende Antheil auch thatsächlich als Nahrungsstoff zur vollen Verwerthung im Körper kommt. Denn wie bereits früher hervorgehoben wurde, hat man auch im Harn Pentosen nachgewiesen¹⁾, und ausserdem wäre es nicht ausgeschlossen, dass ähnlich wie bei der Cellulose des Futters ein Theil im Darm durch Mikroorganismen in minderwerthige oder werthlose Producte zerfällt, so dass auch hierdurch der Nährwerth dieses Futterbestandtheiles eventl. mehr oder weniger herabgedrückt werden könnte.

Thierchemisches Institut der Universität Breslau,
im März 1895.

¹⁾ Die von uns wiederholt vorgenommenen Prüfungen des Harns von Schafen und Kaninchen ergaben bei Heu- und Haferfütterung allerdings meist nur schwache Pentosan- resp. Furfurol-Reaction, aus denen geschlossen werden konnte, dass der Harn in diesen Fällen nur sehr wenig furfurolliefernde Substanzen enthielt.
