der Nahrung nicht zu weit gehen darf, lehren die oben citirten Versuche von Munk und Rosenheim.

2. Wir haben keinen schädlichen Einfluss des Alcohols (60 gr) auf die Verdauung gesehen.

3. Bei Ernährung mit Weizenbrod und Butter bewirkt die Verdauungsarbeit als solche einen Sauerstoffverbrauch gleich wenigstens 10 % des Ruhewerthes, d. h. mehr als 5 % des gesammten Nährstoffsbedarfs eines mässig arbeitenden Menschen werden für die Assimilation einer derartigen Nahrung verwandt.

Der Einfluss der als Gährungsprodukt der Cellulose gebildeten Essigsäure auf den Gaswechsel.

Von

Alfred Mallèvre,

Ingénieur agronome aus Paris.

Durch seine Untersuchungen über die Darmgase der Pflanzenfresser und über die Cellulosegährung ist Tappeiner zu dem Schluss gekommen, dass die Celluloseverdauung ausschliesslich durch die vergärende Wirkung niedriger Organismen bewirkt wird. Nach Tappeiner's Vorgang berechnen Henneberg und Stohmann¹⁾, dass bei der Lösung von 100 gr Cellulose die Gährungsprodukte in folgenden Mengen auftreten:

33,5 gr	CO ₂
4,7 „	CH ₄ (Sumpfgas)
33,6 „	C ₂ H ₄ O ₂ (Essigsäure)
33,6 „	C ₄ H ₈ O ₂ (Buttersäure),

wobei die Wärmemengen, welche die Cellulose einerseits und die Gährungsprodukte andererseits durch ihre vollständige Oxydation zu CO₂ und H₂O erzeugen können, betragen:

1) Zeitschr. f. Biologie XXI, S. 623.

Für 100 gr Cellulose = $100 \times 4146 = 414,600$ Calorien

„ 35,5 gr CO ₂	=	0	
„ 4,7 „ CH ₄	= $4,7 \times 13344$	= 62,717	„
„ 33,6 „ C ₂ H ₄ O ₂	=	117,768	„
„ 33,6 „ C ₄ H ₈ O ₂	=	189,739	„
		<hr/> 370,224 Calorien.	

Die Differenz zwischen dem Wärmewerth der Cellulose und demjenigen der gesammten Gährungsprodukte giebt als Gährungswärme 44376 Calorien.

Will man den Nährwerth von 100 gr Cellulose schätzen, so muss man ermitteln, in wie fern die Gährungswärme und die Gährungsprodukte dem Organismus zu Gute kommen. In Bezug auf die Gährungswärme (11 % des Gesamtwärmewerthes der Cellulose) ist zu bemerken, dass die Behauptung von Henneberg und Stohmann: „Die bei der Gährung im Darm frei werdende Wärme sei dem Organismus ebenso nutzbar, als wenn sie beim Stoffwechsel in den Geweben des Körpers gebildet wird“, nur in gewissen Fällen begründet erscheint. Sie ist z. B. unrichtig für den Fall der Hausthiere, die im wenigstens 12° R. warmen Stalle leben, wo sie schon im nüchternen Zustande und bei der Ruhe immer die Wärmemenge erzeugen, welche nöthig ist, um ihre normale Temperatur zu behaupten. Die Wärmeregulationsvorgänge scheinen vielmehr darauf hinzuweisen, dass diese bei der Verdauung überschüssig erzeugte Wärme durch Vermehrung der Wärmeabgabe entfernt wird.

Was das Sumpfgas betrifft, so wissen wir, dass es als solches theils direkt aus dem Darmcanale, theils nach vorgängiger Aufnahme ins Blut durch die Lungen ausgeschieden wird¹⁾. Obgleich die Möglichkeit einer partiellen Verbrennung nicht gänzlich ausgeschlossen ist, so bleibt doch sehr wahrscheinlich, dass von seiner Verbrennungswärme, welche 15 % der Spannkraft der Cellulose repräsentirt, dem Organismus Nichts zu Gute kommt.

Für die Unverbrennlichkeit des Sumpfgas im Organismus sprechen einmal die im hiesigen Laboratorium von Tacke²⁾ angestellten Versuche, in welchen niemals eine Verbrennung desselben bei stundenlanger Einathmung nachgewiesen werden konnte,

1) B. Tacke, Berliner Inaug.-Dissertation 1884.

2) Die Versuche sind nicht ausführlich publicirt.

und andererseits die Versuche von Kern und Wattenberg¹⁾ und die neuesten Arbeiten des Göttinger Instituts, welche zeigen, dass Schaafe ganz collosale Mengen Sumpfgas nach aussen abgeben.

Wir kommen jetzt zu den flüchtigen Fettsäuren, die noch 74 % der Spannkraft der Cellulose repräsentiren.

Die erste Frage ist, ob und in wie fern diese flüchtigen Säuren der Aufsaugung und weiterhin der Oxydation im Organismus unterliegen. Tappeiner meinte, dass ein beträchtlicher Antheil durch Harn und Koth ausgeschieden werde. An einem Ziegenbock angestellte Versuche von Wilsing²⁾ haben dagegen das Resultat ergeben, dass die Säuren bis auf 2,6 % zur Aufsaugung und Zerstörung gelangen. Von Knieriem's Angabe³⁾ stimmt damit überein, insofern als er keine beträchtliche Säuremenge in den Ausscheidungen fand. Eigene Versuche, welche im Folgenden noch erwähnt werden, führten zu dem gleichen Resultat.

Es bleibt übrig den Nährwerth der 2 Fettsäuren festzustellen. Weiske⁴⁾ hat zwar die Frage „Wirkt die Essigsäure eiweissparend“ in Folge seiner an Kaninchen und Hammeln angestellten Versuche verneinen müssen. Aber man ist nicht dazu berechtigt, einer Substanz jeden Nährwerth abzusprechen, weil sie nicht eiweissparend wirkt. Dieselbe Substanz kann auch N-freies Material vertreten und dadurch die Bedeutung eines Nährstoffes erlangen. Wir erinnern nur als Beispiel an das Glycerin, welches nach J. Munk⁵⁾ den N-Umsatz des Körpers unverändert lässt, während es durch seine Verbrennung im Organismus N-freies Material erspart, in Uebereinstimmung mit den älteren Erfahrungen von v. Mering und Zuntz.

Deshalb ist es vor allen Dingen nothwendig zu definiren, was man unter Nährstoff bzw. Nährwerth versteht. Man hat vielfach ohne Weiteres angenommen, jede Substanz, welche im Körper verbrannt wird, besitze auch einen Nährwerth. Eine solche Annahme ist aber nur dann berechtigt, wenn während der Verbrennung des betreffenden Stoffes der Stoffwechsel nicht in einem solchen Maasse wächst, dass der Stoff einfach oxydirt wird, ohne irgend

1) Journal für Landwirtschaft 38, S. 215.

2) Zeitschr. f. Biologie Bd. XXI, S. 625.

3) Zeitschr. f. Biologie Bd. XXI, S. 139.

4) Journal für Landwirtschaft Bd. XXXVII.

5) Archiv f. d. ges. Phys. Bd. XLVI, S. 305 u. 321.

anderes Material vor dem Zerfall geschützt zu haben. Ist die Substanz ein Nährstoff, so muss sie an die Stelle verbrennlichen Körpermaterials treten können.

Da Rubner¹⁾ nachgewiesen hat, dass bei hungernden Thieren die verschiedenen organischen Körpersubstanzen sich annähernd im Verhältniss ihres Energiewerthes (ihrer Verbrennungswärme) vertreten, d. h. isodynamisch sind, so finden wir ein genaues Maass des Nährwerths eines Stoffes, wenn wir bestimmen, wie viel Körpersubstanz von bekanntem Energiewerth gespart wird, wenn eine bestimmte Menge der fraglichen Substanz im Organismus verbrennt. Zahlenmässig können wir die Nährwirkung einer Substanz ausdrücken durch das Verhältniss der potentiellen Energie der ersparten Körpersubstanz und des an ihre Stelle getretenen Nährstoffs.

Vorstehende Bemerkungen machen es klar, warum die Berechnungen von Henneberg und Stohmann, welche aus der Resorption der beiden Fettsäuren auf ihren Nährwerth schliessen, nicht ohne Weiteres zulässig sind.

Respirationsversuche allein können darüber Aufschluss geben. Es fragt sich, wie dieselben am zweckmässigsten anzustellen sind, um eine eindeutige Entscheidung zu liefern.

Man könnte zunächst an die Benutzung des Pettenkofer'schen Respirationsapparats denken. Dabei müsste man, um sichere Resultate zu erlangen, grössere Mengen der zu untersuchenden Substanz dem Thiere verabreichen, wobei schwer Complicationen von Seiten des Darmcanales zu vermeiden wären. Man müsste ferner sehr viele Versuche machen, um den Einfluss der veränderlichen Lebensverhältnisse, speciell der Muskelbewegung während der Versuchsdauer zu eliminiren.

Der erste Uebelstand ist besonders zu betonen: denn bei Einführung von beträchtlichen Mengen leicht diffundirbarer Stoffe, sei es ein Salz oder selbst Traubenzucker, wird der durch Wasseranziehung auf den Darmcanal getübte Reiz Verdauungsstörungen, abnorme Darmbewegungen, eventuell Diarrhoe, verursachen. Dann gelangt man zu Resultaten, welche offenbar keine Schlüsse auf den normalen Fall der allmählichen Entstehung der betreffenden Substanzen durch Spaltungsprocesse im Darmcanal zulassen.

1) Zeitschr. f. Biologie Bd. XIX, S. 313.

Eine andere Methode der Ermittlung des Einflusses einer Substanz auf die thierischen Oxydationsprocesse wurde zuerst von Mering und Zuntz¹⁾ ausgearbeitet und weiterhin von Wolfers²⁾ und Potthast³⁾ benutzt.

Man erstrebt möglichste Constanz des Gaswechsels für eine Reihe von Stunden durch Regelung der Umgebungstemperatur und thunlichste Fernhaltung aller Reize und lässt dann, nachdem die Grösse des Sauerstoffverbrauchs und der Kohlensäureausscheidung in einer grösseren Reihe von Versuchen festgestellt ist, die zu untersuchende Substanz in langsamem stetigem Strome durch eine kleine Hautvene in die Blutbahn einströmen. Die Gestaltung des respiratorischen Quotienten unter dem Einfluss der Injection lässt erkennen, ob und in welcher Menge eine Verbrennung der injicirten Substanz stattgefunden hat; die absolute Grösse des Sauerstoffverbrauches zeigt an, ob die Gesamtoxydation gewachsen ist, oder nicht, ob also die Oxydation der eingeführten Substanz Körpermaterial gespart hat, oder nicht. — Der auf diese Weise ermittelte Nährwerth einer Substanz ist natürlich ein Maximum, denn wie v. Mering und Zuntz nachgewiesen haben, findet bei intravenöser Injection einer Substanz der nach Einführung derselben in den Magen durch Verdauungsarbeit hervorgerufene Sauerstoffverbrauch nicht oder wenigstens nicht in demselben Maasse statt.

Die wesentlichste Grundlage dieser Versuchsanordnung, die Sicherung eines constanten Stoffwechsels, wird wie Prof. Zuntz⁴⁾ gezeigt hat, durch Curarisirung der Thiere sehr viel vollkommener erreicht. Den Beweis, dass die Thiere unter solchen Verhältnissen für Stoffwechseluntersuchungen besonders geeignet sind, hat er in der citirten Abhandlung ausführlich gegeben. Dasselbst findet sich auch die Beschreibung des Respirationsapparates und der bei seiner Handhabung zu beobachtenden Cautelen.

J. Munk⁵⁾ hat schon mittels dieses Verfahrens den Einfluss

1) Zuntz u. v. Mering, In wiefern beeinflusst Nahrungszufuhr die thierischen Oxydationsprocesse? Pflüger's Archiv XXXII, S. 173.

2) Ibidem XXXII, S. 222.

3) Ibidem XXXII, S. 280.

4) Zuntz, Arch. f. (Anatomie und) Physiologie 1884, S. 380.

5) Pflüger's Archiv f. d. ges. Phys. Bd. XLVI, S. 322.

der Buttersäure auf den Gaswechsel geprüft und gefunden, dass sie N-freies Material erspart.

Auf Veranlassung des Herrn Prof. Dr. Zuntz und Dank seiner freundlichen Unterstützung, wofür ich ihm meinen besten Dank ausspreche, habe ich in derselben Weise wie J. Munk den Einfluss der Buttersäure auf den Gaswechsel bestimmt hat, denjenigen der Essigsäure zu ermitteln gesucht. Die Versuche wurden an Kaninchen angestellt.

Auf die Einzelheiten des Verfahrens und der angewandten analytischen Methoden brauche ich nicht einzugehen, da J. Munk sie in seiner eben citirten Abhandlung erörtert hat.

Die Essigsäure wurde als Natronlösung langsam und stetig aus einer Mariotte'schen Bürette in die Vene injicirt. Die $C_2H_3NaO_2$ -Lösung hatte eine Concentration von 3—3,4 %. Dass solche Lösungen nicht giftig wirken, erhellt aus den Untersuchungen von Heinrich Mayer¹⁾.

Die Verbrennung des essigsauren Natrons erfolgt nach der Formel :

Es entstehen 2 Volumina Kohlensäure, während 4 Volumina Sauerstoff verbraucht werden, sodass der respiratorische Quotient des essigsauren Natrons den Werth 0,5 hat. Wenn diese Verbindung im Thierkörper oxydirt wird, so muss sich der direkt am Thier bestimmte respiratorische Quotient dem Werthe 0,5 nähern. Die Versuche zeigten, dass dies in der That der Fall ist, wie ein Blick auf die folgenden tabellarischen Protocolle lehrt.

Versuch I.

22. Februar 1890. Kaninchen von 1,44 kg wird erst unmittelbar vor dem Versuche vom Futter genommen und erhält 0,01 gr Curare in subcutaner Injection. Nachdem die volle Curarewirkung eingetreten ist, wurde von 12h 55' bis 1h 55' in 4 je $\frac{1}{4}$ -stündigen Zeiträumen der Gaswechsel festgestellt (Vorperiode, 1—4). Dann wurden innerhalb einer Stunde 0,849 gr Essigsäure als Natronsalz in die Vene injicirt (Nr. 5—8) und von 2h 50' bis 3h 50' der Gaswechsel wieder bestimmt (Nr. 9—12). — Reducirt auf's Kilo Thier und $\frac{1}{4}$ Stunde wurden 201 mgr $C_2H_3NaO_2$ injicirt.

1) Archiv für experim. Pathol. 1886, S. 119.

Nro. der Periode	O-Ver- brauch ccm	CO ₂ Pro- duktion ccm	O-Ver- brauch im Mittel von zwei sich folgen- den Versuchen	CO ₂ - Pro- duktion	R. Q.	Bemerkungen.
1	173,8	196,6	177,7	185,65	1,05	Bald nach dem Anfang der In- jection wird der Herzschlag viel kräftiger und bleibt so während der ganzen Zeit der Injection. Nachher wird der Herzschlag wieder allmählich schwächer.
2	181,6	174,7				
3	167,6	182,5	174,5	181,2	1,04	
4	181,4	180,0				
	704,4	733,8				
5	189,1	176,8	194,5	171,2	0,88	
6	199,9	165,6				
7	192,2	170,5	193,15	163,1	0,84	
8	194,1	155,7				
	775,3	668,6				
9	197,7	163,0	197,7	152,6	0,76	
10	197,7	112,2				
11	179,2	192,3	177,95	171,7	0,96	
12	176,7	149,9				

Mittelwerthe.

1—4	176,1	183,57	—	—	1,04	Vor der Injection ¹⁾
5—8	193,82	167,1	—	—	0,86	Während ²⁾ der Injection
6—7	197,7	152,6	—	—	0,76	Nachwirkung
7—8	177,95	171,2	—	—	0,96	Rückkehr z. Norm } nach der Inject.

Es wird bei Betrachtung der Tabellen auffallen, dass die mit geraden Zahlen bezeichneten Versuche regelmässig einen höheren Sauerstoffverbrauch ergeben als die ungeraden. Dies beruht nur auf einer mangelhaften Aequilibrirung der Spirometer, aus welchen das Thier athmet. Das Mittel je zweier Versuche gibt den wahren Sauerstoffverbrauch. Auch in den weiteren Versuchen treten diese Unterschiede, doch zum Theil in umgekehrtem Sinne auf.

1) O-Verbrauch pr. Kilo = 122,3 ccm.

2) Steigerung des O-Verbrauchs gegen die Vorperiode = 10%.

Versuch II.

8. Juli 1890. Kaninchen von 1,5 kg hat zwei Tage gehungert und erhält 0,01 gr Curare.

Vorperiode 1—6. Injectionsperiode 7—10. — Es wurden im Ganzen 1,268 gr Essigsäure als Natronsalzlösung injicirt = 231 mgr $C_2H_3NaO_2$ pro Kilo und Viertelstunde.

Nachperiode 11—14.

Anfang des Versuchs 10h 55'. Schluss des Versuchs 2h 25'.

Nro. der Periode	O-Ver- brauch ccm	CO ₂ -Pro- duktion ccm	O-Ver- brauch im Mittel von zwei sich folgen- den Versuchen	CO ₂ - Pro- duktion	R. Q.	Bemerkungen.
1	217,83	156,39	198,16	158,58	0,80	Vermehrte Herzthätigkeit.
2	178,50	160,78				
3	210,71	134,33	197,84	151,04	0,76	
4	184,97	167,75				
5	206,02	135,10	190,00	139,23	0,73	
6	173,99	143,37				
	1172,02	897,72				
7	246,77	152,40	227,23	161,08	0,71	
8	207,69	169,76				
9	249,65	156,35	236,40	169,34	0,71	
10	223,15	182,33				
	927,26	660,84				
11	236,05	157,29	221,04	166,02	0,75	
12	206,04	174,75				
13	219,10	155,44	201,32	160,66	0,80	
14	183,55	165,88				
	844,74	653,36				

Mittelwerthe.

1—6	195,34	149,62	—	—	0,77	Vor der Injection ¹⁾
7—10	231,81	168,21	—	—	0,71	Während ²⁾ der Injection
11—14	211,18	163,34	—	—	0,77	Nach der Injection

1) O-Verbrauch pr. Kilo = 130,2 ccm.

2) Steigerung des O-Verbrauchs gegen die Vorperiode = 17,75%.

Versuch III.

15. Juli 1890. Kaninchen von 1,82 kgr hat zwei Tage gehungert und bekommt 0,01 gr Curare in subcutaner Injection.

Vorperiode 1—4.

Injectiionsperiode 5—8. Es wurden 0,675 gr Essigsäure = 127 mgr $C_2H_3NaO_2$ per Kilo und Viertelstunde injicirt.

Nachperiode 9—11.

Anfang des Versuchs 11h 30'. Schluss des Versuchs 2h 15'.

Nro. der Periode	O-Ver- brauch ccm	CO ₂ -Pro- duktion ccm	O-Ver- brauch im Mittel von zwei sich folgen- den Versuchen	CO ₂ - Pro- duktion	R. Q.	Bemerkungen.
1	210,47	177,45	214,10	169,93	0,79	Vermehrte Herzthätigkeit.
2	217,73	162,42				
3	213,21	173,41	215,25	161,89	0,75	
4	217,29	150,37				
	858,70	663,65				
5	223,65	173,55	237,68	164,04	0,69	
6	251,71	154,54				
7	240,25	184,23	251,83	175,02	0,69	
8	263,42	165,82				
	979,03	678,14				
9	216,61	177,56	218,72	165,80	0,76	
10	220,84	154,04				
11	213,98	168,31	—	—	0,79	
	651,43	499,91				

Mittelwerthe.

1—4	214,67	165,91	—	—	0,77	Vor der Injection ¹⁾
5—8	244,76	169,53	—	—	0,69	Während ²⁾ der Injection
9—11	217,14	166,64	—	—	0,77	Nach der Injection

1) O-Verbrauch pr. Kilo = 115,6 ccm.

2) Steigerung des O-Verbrauchs gegen die Vorperiode = 14%.

Versuch IV.

28. Juli 1890. Kaninchen von 1,7 kgr hat einen Tag gehungert und bekommt 0,01 gr Curare in subcutaner Injection.

Vorperiode 1—6.

Injectionperiode 7—10. Es wurden 0,755 gr Essigsäure = 152 mgr $C_2H_3NaO_2$ per Kilo und Viertelstunde injicirt.

Nachperiode 11—17.

Anfang des Versuchs 10h. Schluss des Versuchs 2h 15'.

Nro. der Periode	O-Ver- brauch ccm	CO ₂ -Pro- duktion ccm	O-Ver- brauch im Mittel von zwei sich folgen- den Versuchen	CO ₂ -Pro- duktion	R. Q.	Bemerkungen.
1	176,64	176,54	180,14	165,60	0,92	Vermehrte Herzthätigkeit.
2	183,64	154,67				
3	174,12	169,97	181,75	160,35	0,86	
4	189,39	150,73				
5	190,41	157,81	188,19	155,42	0,83	
6	185,97	153,03				
	1100,17	962,75				
7	184,31	159,63	200,11	159,89	0,80	
8	215,91	160,16				
9	198,67	173,25	216,02	174,07	0,81	
10	233,37	174,90				
	832,26	667,94				
11	198,64	169,75	209,48	164,65	0,79	
12	220,32	159,55				
13	188,63	173,04	204,15	165,00	0,81	
14	219,67	156,97				
15	184,70	176,05	190,11	165,39	0,87	
16	195,52	154,73				
17	185,01	162,45	—	—	0,88	
	973,53	823,24				

• Mittelwerthe.

1—6	183,36	160,46	—	—	0,87	Vor der Injection ¹⁾
7—10	208,06	166,98	—	—	0,80	Während ²⁾ der Injection
11—12	209,48	164,65	—	—	0,79	Nachwirkung
13—17	194,70	164,65	—	—	0,85	Rückkehr z. Norm } Nach Inject.

1) O-Verbrauch pr. Kilo = 107,9 ccm.

2) Steigerung des O-Verbrauchs gegen die Vorperiode = 13,4⁰/₀.

Berücksichtigen wir zuerst die Gestaltung des respiratorischen Quotienten, welcher einen wichtigen Anhalt liefert, ob die injicirte Substanz verbrannt worden ist. Aus den Tabellen ergibt sich, dass der respiratorische Quotient, welcher vor der Injection 1,04 bis 0,77 beträgt, während der Injection auf 0,86 bis 0,69 sinkt, d. h. sich dem Werthe 0,5, dem theoretischen R.-Q. des essigsauren Natrons nähert. Dass der letzte Werth in keinem Falle erreicht wird, erklärt sich daraus, dass anderes Körpermaterial gleichzeitig mit dem $C_2H_3NaO_2$ zerstört wird.

Was auch für die Verbrennung der Essigsäure spricht ist der Umstand, dass wenige Zeit nach dem Schluss der Injection der respiratorische Quotient sich dem Werthe wieder nähert, den er vor der Injection behauptet hatte.

Weitere Nachweise, dass das $C_2H_3NaO_2$ im Organismus dem Zerfall unterliegt, sind noch in den Eigenschaften des Harnes zu finden. Bei hungernden Thieren reagirt der Harn sauer. Der Verbrennung von $C_2H_3NaO_2$ entspricht die Bildung von CO_3NaH ; demnach war zu erwarten, dass der Harn nach dem Versuch alkalisch reagirte. Das war natürlicherweise der Fall bei dem Thiere des Versuchs I, welches Nahrung bis am Morgen des Versuchstages bekommen hatte. Für die drei anderen Thiere aber, deren zwei (Vers. II und III) 2 Tage, das dritte (Vers. IV) einen Tag gehungert hatte und vor dem Versuche sauren oder neutralen Harn zeigten, gab die Prüfung nicht das erwartete Resultat. Nur bei dem Kaninchen des Versuchs II reagirte der Harn nach dem Schlusse des Versuchs kräftig alkalisch, dagegen zeigte sich die Reaktion bei den Kaninchen der Versuche III und IV sehr schwach sauer. Es war uns aber bald möglich, die richtige Erklärung hierfür zu finden. Es lag einfach daran, dass die Harnblase vor dem Anfang des Versuches unvollständig entleert worden war.

Den Beweis dafür lieferten uns die zwei folgenden Versuche, die wir nachträglich machten. Zwei Kaninchen, welche 1,700 kg und 1,540 kg wogen, liessen wir 3 Tage hungern. Der Harn reagirte dann stark sauer. Diese zwei Thiere wurden aufgebunden und bekamen in langsamer intravenöser Injection 0,888 gr und 0,800 gr $C_2H_3NaO_2$ im Laufe einer Stunde, d. h. ungefähr dieselben Mengen in derselben Zeit wie in den Respirationsversuchen. Aber während bei dem ersten Thiere der Harn vor dem Versuche nicht

entleert wurde, ward bei dem zweiten der Harn aus der Blase sorgfältig und vollständig herausgepresst.

Anderthalb Stunden nach dem Schluss der Injection entleerte das Thier I einen Harn, der schwach sauer reagirte. Bei dem anderen Thier, welches vor der Injection eine leere Harnblase hatte, wurde eine Viertelstunde nach dem Schluss der Injection der Harn herausgepresst, der diesmal stark alkalisch war.

Man wiederholte das Auspressen des Harnes jede halbe Stunde und schon anderthalb Stunden nach dem Schluss der Injection zeigte sich die Reaktion des Harnes wieder sauer wie vor der Injection. Es unterliegt also keinem Zweifel, dass der Harn der Vers. III und IV schwach sauer reagirte, weil er sich in der Harnblase mit saurem Harn vermischt hatte, welcher schon vor der Injection gebildet war.

Einen damit übereinstimmenden Beweis der Verbrennung des $C_2H_3NaO_2$ gab uns auch die Prüfung der Alkaleszenz des Blutes bei dem für den vorigen Versuch benutzten Kaninchen, unmittelbar vor der Injection und eine Viertelstunde nach dem Schluss derselben.

Die Blutalkaleszenz wurde nach der Zuntz'schen Methode ermittelt: nach der Injection war sie um die Hälfte des Werthes, den sie vor der Injection hatte, vermehrt. Die Steigerung konnte nur von der vermehrten Menge des CO_3Na_2 im Blute herrühren; denn die Zählung der rothen Blutkörperchen mit dem Zeiss-Thoma'schen Apparat vor und nach der Injection zeigte, dass die Menge der Blutflüssigkeit nahezu dieselbe geblieben war. Die Zahl der rothen Blutkörperchen nach der Injection wurde nur um $\frac{1}{10}$ kleiner gefunden als vor der Injection.

Ausserdem wurde noch der Gehalt des Versuchsharnes an flüchtigen Säuren ermittelt, indem Phosphorsäure hinzugefügt und auf dem Sandbade destillirt wurde. Die Titrirung des Destillats mit Normalkalilösung ergab, dass der Harn in dem Versuch II höchstens 4 mgr und in dem Versuch IV 2,6 mgr enthielt. (Die Bestimmung bei Versuch III ist verunglückt.) Diese Mengen sind verschwindend klein im Vergleich mit den injicirten, welche 0,675 gr bis 1,265 gr betragen.

Darf man nach den Ergebnissen der vorstehenden Versuche der Essigsäure einen Nährwerth zuschreiben? Zur Beantwortung dieser Frage wollen wir zunächst aus dem O-Verbrauch in der Vorperiode der einzelnen Versuche und aus den injicirten $C_2H_3NaO_2$ -

Mengen feststellen, ein wie grosser Theil des Respirationsbedürfnisses durch die vollständige Oxydation des injicirten essigsäuren Natrons gedeckt werden konnte. Wenn man den O-Verbrauch vor der Injection pro Kilo Lebendgewicht und Viertelstunde berechnet, findet man im Mittel für die 2 ersten Versuche 126,25 ccm = 180,5 mgr Sauerstoff und für die 2 anderen 111,8 ccm = 159,8 mgr Sauerstoff. Um das Respirationsbedürfniss vollständig zu decken, müssten daher entsprechend der S. 465 gegebenen Oxydationsgleichung im ersten Falle $180,5 \times \frac{82}{64} = 231,3$ mgr $\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2$ entsprechend 169,2 mgr Essigsäure, im zweiten $159,8 \times \frac{82}{64} = 204,8$ mgr $\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2$ entsprechend 149,8 mgr Essigsäure oxydirt werden. Da man pro Kilo und Viertelstunde in dem Versuch I 201 mgr, in dem Versuch II 231 mgr, in dem Versuch III 127 mgr und in dem Versuch IV 152 mgr $\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2$ injicirt hatte, so sieht man, dass die injicirten Mengen 85—100 % des Respirationsbedürfnisses decken könnten.

Zunächst ist nun zu bemerken, dass, wenn das essigsäure Natron in isodynamischen Mengen Körpermaterial erspart hätte, keine Steigerung des O-Verbrauchs während der Injectionsperiode hätte stattfinden dürfen, dass vielmehr eine, wenn auch nur unbedeutende Herabsetzung hätte eintreten müssen. Denn es bedarf zur Erzeugung einer Calorie im Organismus eines Sauerstoffverbrauchs, welcher für essigsäures Natron 0,3032 gr, für Eiweiss (trockene Muskelsubstanz) 0,3301 gr, für Fett 0,3094 gr und für Zucker 0,2889 gr beträgt.

Der Sauerstoffverbrauch ist demnach für eine gleiche Energiemenge um 5 % geringer bei Traubenzucker, um 2 % grösser bei Fett und um 9 % grösser bei Eiweiss als bei essigsäurem Natron. Das hungernde Thier aber oxydirt hauptsächlich Fett und Eiweiss, wobei die aus Fett herrührende Spannkraft bedeutender ist als die aus Eiweiss producirt, sodass bei der Verbrennung von $\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2$ im Thierkörper der Sauerstoffverbrauch sich nur um wenige Procente vermindern könnte. Die Verminderung kann nur sehr gering sein, denn einerseits ist es unmöglich, wie wir später zeigen werden, dass $\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2$ im Organismus allein zerfällt: andererseits beweisen die respiratorischen Quotienten der Vorperioden unserer Versuche, dass die Thiere noch Kohlehydrate verwerthen. Wir

haben aber oben angeführt, dass Traubenzucker in Vergleich mit essigsaurem Natron weniger Sauerstoff, um die gleiche Energiemenge zu erzeugen, braucht. Daher muss das Eintreten von essigsaurem Natron an Stelle der in den Vorperioden oxydirten Kohlenhydrate dahin wirken, die Verminderung des O-Verbrauches bei Injection von $C_2H_3NaO_2$ zu compensiren.

In keinem Fall aber dürfte eine Steigerung des Sauerstoffsverbrauchs eintreten. In unseren Versuchen finden wir dagegen, dass das essigsaure Natron den O-Verbrauch des Organismus um 10 bis 17,75 % steigert. Das beweist ohne weiteres, dass nur ein Theil des Energievorrathes der verbrannten Essigsäure Körpermaterial sparend wirken kann, mit anderen Worten, dass die Essigsäure Körpermaterial nicht isodynamisch zu vertreten vermag.

Dass aber in der That ein Theil der Energie der Essigsäure dem Organismus zu Gute kommt, lässt sich durch die folgende Betrachtung zeigen. Wir wählen den dritten Versuch, bei welchem die Erscheinungen sich am einfachsten gestalten, weil die injicirte Substanz keine Nachwirkung verursacht hat; fast unmittelbar nach dem Schluss der Injection nehmen der O-Verbrauch und der respiratorische Quotient die Werthe, welche sie in der Vorperiode besaßen, wieder an. Wir haben früher die Beweise geliefert, dass wenigstens der grösste Theil der bei einzelnen Versuchen injicirten $C_2H_3NaO_2$ -Mengen verbrannt worden ist. Bei dem Versuch III hat sich der O-Verbrauch während der Injectionsperiode um 244,76 minus 214,67 = 30,09 ccm gegen die Vorperiode vermehrt. Diese 30,09 ccm Sauerstoff wiegen $30,09 \times 1,4298 = 43,07$ mgr. Nun entspricht der Verbrauch von 43,07 mgr der Oxydation von $43,07 \times \frac{60}{64} = 40,38$ mgr Essigsäure, während in der Wirklichkeit 168,7 mgr, d. h. 4 mal so viel injicirt und auch fast vollständig verbrannt wurden. Hätte die Essigsäure keine Körpersubstanz erspart, so hätte nothwendigerweise die Steigerung des O-Verbrauchs bedeutend grösser sein müssen. Wir sehen also, dass man berechtigt ist der Essigsäure einen Nährwerth zuzuerkennen. Aber da der O-Verbrauch sich in einem Maasse vermehrt, welches fast einem Viertel der injicirten Essigsäure entspricht und ausserdem möglich ist, dass gewisse Quantitäten von $C_2H_3NaO_2$ in den Körperflüssigkeiten (Blut und Lymphe) noch unoxydirt blieben, so beträgt dieser Nährwerth in dem Versuch III

gewiss weniger, als 75 % der Spannkraft des in den Organismus eingeführten essigsauren Natrons.

Es ist auch hier am Platze eine Bemerkung über den respiratorischen Quotienten der Injectionsperiode zu machen. Weiske hat nachgewiesen, dass die Essigsäure keine eiweiss sparende Wirkung besitzt. Infolgedessen wird die Menge des während der Injectionsperiode zerfallenen Eiweisses dieselbe sein, wie während der Vorperiode. Da wir gefunden haben, dass die Essigsäure Körpersubstanz erspart, kann sich diese ersparende Wirkung nur auf N-freies Material beziehen, d. h. hauptsächlich auf Fett bei einem hungernden Thier. Es folgt daraus, dass während der Injectionsperiode vorzugsweise Eiweiss und $C_2H_3NaO_2$ zerfallen. Da aber der respiratorische Quotient des Eiweisses (0,78) grösser ist als der respiratorische Quotient des Fettes (0,7), wird der respiratorische Quotient des Thieres während der Injectionsperiode höher sein, als wenn essigsaures Natron im Stande wäre ebenso gut Eiweiss wie Fett zu ersparen. Das erklärt, warum der respiratorische Quotient der Injectionsperiode sich nicht in einem grösseren Maasse dem theoretischen Werthe des R.-Q. von $C_2H_3NaO_2$ nähert.

Bei den anderen Versuchen (I, IV) ist es nicht so leicht wie bei dem Versuch III, den Nährwerth der Essigsäure zahlenmässig festzustellen, weil eine längere Nachwirkung der Injectionsperiode folgt. Wie eine solche Nachwirkung zu Stande kommt, lässt sich wohl begreifen. Die bei den letztgenannten Versuchen injicirten $C_2H_3NaO_2$ -Mengen waren grösser als bei dem Versuch III und genügten fast vollständig den Stoffwechsel des Thieres zu decken. Aber da nach Weiske der Eiweissumsatz durch Essigsäure nicht vermindert wird, ist es schon dadurch unmöglich gemacht, dass das $C_2H_3NaO_2$ allein im Organismus oxydirt wird. Aber nicht nur Eiweiss sondern auch Kohlehydrate werden in diesen beiden Versuchen während der Injection verbrannt; das geht mit Nothwendigkeit aus der Höhe des R.-Q. hervor. Würde trotzdem die ganze injicirte $C_2H_3NaO_2$ -Menge während der Injectionsperiode zerfallen, so müsste sich der O-Verbrauch viel mehr steigern, als es in Wirklichkeit der Fall ist.

Da dies nicht geschieht und da auch keine in Betracht kommende Menge der Essigsäure durch den Harn verloren geht, muss der Organismus Mittel besitzen, die überschüssig zugeführte Säure während einiger Zeit aufzuspeichern. Dieser Vorrath ist es dann,

welcher in den Versuchen I und IV die beobachtete längere Nachwirkung ermöglicht.

Da die Steigerung des Sauerstoffverbrauchs in diesen Versuchen geringer ist als bei Versuch III, können wir wohl annehmen, dass der Antheil der Spannkraft der Essigsäure, welcher für den Organismus verloren geht, nicht beträchtlich grösser ist als bei Versuch III.

Wenn wir auch dem Gesagten zufolge anerkennen, dass die Essigsäure einen Nährwerth besitzt, so müssen wir doch darauf aufmerksam machen, dass sie sich im Organismus nicht so günstig verhält, wie andere organische Säuren. Die Milchsäure verursacht nach den Untersuchungen von Mering und Zuntz¹⁾ fast keine Steigerung des O-Verbrauchs.

Buttersaures Natron in denselben Mengen injicirt wie $C_2H_3NaO_2$ in unseren Versuchen, lässt nach den Angaben von J. Munk²⁾ den O-Verbrauch nur um 7 bis 8 % steigern, indess die O-steigerung bei $C_2H_3NaO_2$ -Injection 14 % beträgt. Und doch bedarf es zur Erzeugung einer Calorie durch Oxydation von $C_2H_3NaO_2$ der Aufnahme von nur 0,303 gr O, während 0,324 gr O, d. h. 7 % mehr nothwendig sind, um dieselbe Wärmemenge aus buttersaurem Natron zu erzeugen. (Vgl. wegen der Details der Rechnung J. Munk l. c. S. 239.)

Die Ursachen dieser Steigerung des Sauerstoffverbrauchs sind nicht vollständig aufgeklärt. Wie in den citirten Versuchen von J. Munk mit Buttersäure, haben wir auch bei unseren Thieren gesehen, dass während der Injection die Herzthätigkeit sich erheblich vermehrt und auch die Darmperistaltik zunimmt, wie die Kohtentleerungen beweisen.

Man weiss aus den Untersuchungen von Mering und Zuntz³⁾, von Rubner⁴⁾ und von Ad. Loewy⁵⁾, dass die Darmthätigkeit so lebhaft werden kann, dass sie den Stoffwechsel um fast $\frac{1}{3}$ vermehrt.

Fassen wir die Resultate der Untersuchungen zusammen, welche

1) Pfüger's Archiv Bd. 32, S. 185.

2) a. a. O. S. 330.

3) Pfügers's Archiv Bd. XXX, S. 173, S. 173.

4) Biologische Gesetze. Marburg 1888.

5) Archiv f. d. ges. Phys. Bd. XLIII, S. 515.

über die Hauptprodukte der Cellulosegährung, die Essigsäure und Buttersäure gemacht worden sind, so ergibt sich, dass diese zwei Fettsäuren zwar N-freies Körpermaterial sparen, dass aber nur ein nicht näher bestimmter Theil ihrer Spannkraft dem Organismus nutzbar wird und dass in dieser Hinsicht die Essigsäure unter der Buttersäure steht.

Andererseits hat Weiske, wie wir angeführt haben, gefunden, dass die Essigsäure keine eiweiss sparende Wirkung besitzt. Für die Buttersäure liegen noch keine Versuche vor.

Aus alledem darf man wohl schliessen, dass der Werth der Cellulose als Nährstoff beträchtlich unter denjenigen ihres Vorraths an Spannkraft steht, also auch unter dem der anderen Kohlehydrate. Die Berechnungsart von Henneberg und Stohmann lässt, wie wir nachgewiesen haben, Momente bei Seite, welche doch nicht ohne Bedeutung sind; diese Autoren haben deshalb der Cellulose einen zu hohen Nährwerth zugeschrieben.

Es verhält sich ebenso mit der Angabe von E. Wolff¹⁾, dass der Nährwerth der flüchtigen Säuren demjenigen der Kohlehydrate wenig nachsteht. Was wir von der Essigsäure und der Buttersäure wissen scheint zu beweisen, dass dieser Unterschied erheblich ist.

An derselben Stelle erwähnt auch E. Wolff die von ihm an Arbeitspferden angestellten Versuche, in welchen er findet, dass für die Kraftleistung die verdaute Rohfaser (Cellulose) anscheinend ganz werthlos ist. Da es nun nachgewiesen ist, dass gewisse Produkte der Cellulosegährung im Organismus, die flüchtigen organischen Säuren, thatsächlich einen Nährwerth haben, so entsteht ein Widerspruch, welcher sich leicht beseitigen lässt, wenn man die Verdauungsarbeit in Betracht zieht. Es ist nicht unmöglich, dass die durch die Rohfaser vermehrte Verdauungsarbeit (Kauarbeit, Darmperistaltik) den Stoffwechsel in einem solchen Maasse erhöht, dass die dadurch gesteigerte Energieausgabe dem für den Organismus nützlichen Antheil der Spannkraft gleich ist, welche dem Thierkörper durch die Produkte der Gährung der von derselben Rohfaser herrührenden Cellulose geliefert wird. In diesem Fall kann sich der Nährwerth der Rohfaser gleich Null stellen, wie E. Wolff gefunden hat.

Dass die Rohfaser den Stoffwechsel sehr erheblich steigern

1) Landwirthsch. Fütterungslehre S. 88. 5. Auflage. 1888.

kann, erhellt schon aus Versuchen, welche in dem Laboratorium von Prof. Zuntz mit Pferden ausgeführt wurden, über welche dieser auf der Naturforscherversammlung in Bremen kurz berichtet hat (s. deren Verhandlungen pg. 561). Man kann aus denselben berechnen, dass die gesammte Verdauungsarbeit bei einer Ernährung mit 10 kgr Heu, 2 kgr Stroh und 3 kgr Hafer pro 500 kgr Lebendgewicht den 24 stündigen Stoffwechsel um wenigstens 25 % des Werthes erhöht, welchen er bei minimaler Verdauungsarbeit behauptet.

Bemerkungen über die Verdauung und den Nährwerth der Cellulose.

Von

N. Zuntz.

Die vorstehende Arbeit des Herrn Mallèvre war bereits zu Ende des vorigen Sommersemesters druckfertig in meinen Händen. Daher kommt es, dass in derselben die jüngsten Publicationen von Lehmann und Vogel und von Henneberg und Pfeiffer (Journ. f. Landwirthschaft 38, 1890, Heft 2) und die auf der Bremer Naturforscherversammlung gemachte Mittheilung von F. Lehmann (Göttingen) nicht berücksichtigt wurden. Es scheint mir deshalb nothwendig, den scheinbar unversöhnbaren Widerspruch zwischen diesen neuesten Mittheilungen und den von Herrn Mallèvre unter meinen Augen gemachten Studien zu discutiren.

Die Göttinger Versuche haben keinen, oder doch nur geringen Unterschied in der Nährwirkung der Cellulose und der anderen, in Form von Zucker resorbirbaren Kohlehydrate gegeben. Wolff dagegen findet die Rohfaser für das Arbeitspferd entschieden minderwerthig, ja glaubt dieselbe geradezu als fast werthlos bezeichnen zu müssen; im Sinne einer entschiedenen Minderwerthigkeit der