

(Aus dem thierphysiol. Institut der Kgl. landwirthschaftl. Hochschule zu Berlin.)

Ueber den respiratorischen Stoffwechsel bei statischer Arbeit.

Von

Arthur Bornstein und **Ernest Poher.**

Während die Einwirkung der dynamischen Arbeit auf den Stoffwechsel im Laufe der letzten Jahrzehnte von vielen Seiten aus untersucht worden ist, ist die Kenntniss des Einflusses der von Speck so genannten statischen Arbeit auf den Stoffwechsel eine weniger vollständige. Daher folgten wir gern der Anregung des Herrn Prof. Zuntz, einige Stoffwechselversuche an uns bei statischer Arbeit anzustellen, und das konnten nur Respirationsversuche sein.

Der Einfluss der statischen Arbeit auf den respiratorischen Stoffwechsel ist relativ gering, oder vielmehr, es ist in Folge der bei der statischen Arbeit schnell auftretenden Ermüdung nicht möglich, diejenige Arbeit zu leisten, die einen grossen respiratorischen Stoffwechsel hervorrufen würde. Es ist dies leicht erklärlich, wenn man bedenkt, dass bei der dynamischen Arbeit durch die schnell auf einander folgenden Contractionen das Blut und die Lymphe, die mit den Abfallsproducten beladen sind, aus den Muskeln herausgepresst werden, während bei der statischen Arbeit der einmal contrahierte Muskel in der Contraction verharret, und so die Circulation der Gewebsflüssigkeiten nicht denselben Grad erreicht wie bei der dynamischen Arbeit.

So kommt es, dass die Schwankungen, die der Stoffwechsel bei ein und demselben Menschen in Folge der Verdauungsarbeit u. s. w. erleidet, die Grösse einer ziemlich ermüdenden reinen statischen Arbeit erreicht. Wollten wir also zu einigermaassen einwandfreien Resultaten gelangen, so mussten wir vor jedem einzelnen Arbeitsversuch einen als Norm zu betrachtenden Ruheversuch anstellen. Aus dem gleichen Grunde wählten wir die — vielleicht etwas unbequemere — liegende Stellung, die vor dem Sitzen oder Stehen den Vorthail eines gleichmassigen Stoffwechsels voraus hat.

Bei den am häufigsten in praxi vorkommenden statischen Arbeiten, z. B. beim Stehen, beim Tragen eines Gewichtes auf dem Nacken, wird die Arbeit zum grössten Theil nicht durch die Muskeln, sondern durch die Elasticität der Bänder geleistet. Um dies möglichst zu vermeiden, arbeiteten wir, indem wir liegend ein Gewicht in der Hand des seitwärts bis zur Schulterhöhe (d. h. bis zur Horizontalen) gehobenen, gestreckten rechten Armes hielten.

Da es unmöglich ist, in dieser Stellung ein Gewicht länger als 1—2 Minuten zu halten, so hielten wir es eine Zeit von 10", 20", 30", worauf wir eine Ruhepause von 10" resp. 20" resp. 30" eintreten liessen. Darauf folgte wieder eine Arbeitsperiode von 10" resp. 20", resp. 30", dieser wieder eine Ruheperiode u. s. w. So wurde es uns möglich, den Versuch auf $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ Stunde auszudehnen. Der Arm ruht während der Ruheperioden mit dem Gewicht auf einem neben dem Sopha befindlichen Stuhle und wurde während der Arbeitsperioden um so viel gehoben, dass er den Stuhl gerade nicht berührte. Um nun die (an und für sich ja äusserst geringe) Arbeit auszuschalten, die dadurch geleistet wird, dass bei Beginn der Arbeitsperioden des Arbeitsversuches einerseits die Muskeln des Arms sich einmal contrahiren müssen, um erst in das Stadium der tetanischen Contraction zu kommen¹⁾, andererseits Arm und Gewicht gehoben werden; um, wie gesagt, diese Fehlerquellen zu vermeiden, machten wir diese kleinen Bewegungen auch während des Ruheversuches, der in Folge dessen nur als relativer Ruheversuch bezeichnet werden kann.

Schliesslich sei noch bemerkt, dass der Eine von uns jeweils als Versuchsperson diente, während der Andere beobachtete. Die Versuche wurden an dem schon oftmals z. B. von Heineman²⁾ beschriebenen Zuntz'schen Respirationsapparat ausgeführt.

Die ersten Versuche, die wir anstellten, haben wir nicht zur Berechnung der Mittelzahlen mit benutzt und auch nicht in der Generaltabelle angeführt: wir betrachteten sie als Uebungsversuche, und sie ergaben in der That auch höhere Werthe als die späteren Versuche, was ja schon häufig beobachtet worden ist.

Indem wir glaubten, die geringe Aenderung vernachlässigen zu dürfen, welche der calorische Werth des respiratorischen Gaswechsels

1) Einige rechnen diese Anfangscontraction noch mit zur statischen Arbeit.

2) Pflüger's Archiv Bd. 83.

erleidet, je nachdem mehr oder weniger Eiweiss in Harnstoff umgesetzt wird, berechneten wir nach den von Zuntz¹⁾ angegebenen Grundsätzen die während der Ruheversuche und die während der Arbeitsversuche pro Minute im Körper freigewordene Energie in Calorien und aus deren Differenz die durch die statische Arbeit producirtten Wärmemengen.

Nach Braune und Fischer²⁾ schätzten wir nach unserem Körpergewicht das Gewicht unseres rechten Armes im Mittel auf 4,5 kg, die Länge des Arms vom Humeruskopf bis zu seinem Schwerpunkt auf 31 cm, seine Länge bis zum Schwerpunkt der Hand auf 55 cm. Wenn wir uns das Gewicht des Armes in den Schwerpunkt der Hand verlegt denken, so entspräche ihm dort ein Gewicht von $\frac{4,5 \times 31}{55}$ kg = 2,55 kg. Dieses Gewicht setzten wir bei den Versuchen, bei denen wir durch Halten des unbelasteten Armes die Arbeit leisteten, als das Gewicht des Armes in Rechnung.

Wir erhalten so aus den Versuchen, bei denen 20" Arbeit mit 20" Ruhe abwechselten, folgende Mittelzahlen:

Tabelle I.

Art des Gewichtes	Pro Kilogramm in einer Minute			
	Verbraucher Sauerstoff	Producirte CO ₂	Aufgewendete (kleine) Calorien	Wahrscheinlicher Fehler
Arm ohne Gewicht = 2,55 kg	3,1 ccm	4,5 ccm	18 Cal.	± 18 %
Arm + 3,15 kg = 5,7 kg . .	10,7 "	13,8 "	51 "	± 4 %
Arm + 5,68 kg = 8,23 kg. .	24,6 "	19,6 "	94 "	± 8 %

Aus dieser Tabelle ergibt sich also, dass der Stoffwechsel nicht proportional mit der Grösse der Gewichte wächst, sondern bedeutend schneller. Ueber die Art dieses Wachstums ist es schwierig, bestimmte Gesetze aufzustellen; auf jeden Fall scheint es bis zu einer gewissen Grenze nur relativ geringen individuellen Schwankungen zu unterliegen; über diese Grenze hinaus wächst der Stoffverbrauch bei der einen Versuchs-

1) Pflüger's Archiv Bd. 68.

2) Abhandl. d. Kgl. sächsischen Akademie der Wissenschaften 1889.

person langsamer, bei der anderen schneller. Zur Veranschaulichung diene folgende Tabelle¹⁾).

Tabelle II.

Art des Gewichts	Erste Versuchsperson (Bornstein)		Zweite Versuchsperson (Poher)	
	Calorien pro Kilogramm und Minute	Wahrschein- licher Fehler	Calorien pro Kilogramm und Minute	Wahrschein- licher Fehler
Unbelasteter Arm . .	18 (kleine) Cal.	± 4 %	17,5 Cal.	± 35 %
Arm + 3,15 kg	55 " "	± 5 %	42 " "	± 4 %
Arm + 5,68 kg	61 " "	± 5 %	137 " "	± 4 %

Ein ähnliches Verhalten scheinen die Versuche zu zeigen, bei denen wir die Dauer der Arbeitsperioden variiren liessen. Wir haben, wie schon erwähnt, Versuche angestellt, bei denen 10" bzw. 20" bzw. 30" Arbeit mit 10" bzw. 20" bzw. 30" Ruhe abwechselten. Als Gewicht diente uns immer das Gewicht von 3,15 kg. Wir erhielten folgende Tabelle der Mittelzahlen:

Tabelle III.

Grosse der Arbeits- und Ruheperioden	Pro Kilogramm Gewicht in einer Minute			
	Verbrauchter O ₂	Producirte CO ₂	Aufgewendete (kleine) Calorien	Wahrscheinl. Fehler
10 "	7,6 ccm	6,9 ccm	44 Cal.	± 6 %
20 "	10,7 "	13,8 "	51 "	± 4 %
30 "	13,8 "	11,3 "	66 "	± 12 %

Wir suchten dies merkwürdige Verhalten uns ursprünglich dadurch plausibel zu machen, dass wir annahmen, die Unterschiede seien im Wesentlichen durch Zittern des durch das Tragen der Last mehr oder weniger ermüdeten Armes hervorgerufen. Um dies nachzuweisen, stellten wir diese Zitterbewegungen graphisch dar. Die das Gewicht haltende Hand wurde mit einem Faden verbunden, welcher über ein System von Rollen geleitet wurde. An der letzten Rolle war ein Schreibhebel befestigt, der auf einer rotirenden, bespannten Trommel die Bewegungen des Armes aufschrieb. Die Zeit

1) Tabelle II ist entstanden aus den gleichen Versuchen wie Tabelle I, wobei die Mittelwerthe für jede Versuchsperson besonders berechnet wurden.

wurde jede zweite Secunde durch ein Uhrwerk markirt, welches durch einen Wagner'schen Hammer mit einem zweiten Schreibhebel in Verbindung stand. Aus den Radien der Rollen und der Länge des Schreibhebels lässt es sich leicht berechnen, in welchem Verhältniss die Excursionen des Schreibhebels zu denen der Hand stehen. Einfacher war es, wenn man den Apparat in der Weise aichte, dass man die Hand eine abgemessene Excursion machen und den Schreibhebel diese Excursion auf die Trommel verzeichnen liess. Die von dem Schreibhebel verzeichneten Linien wurden gemessen und daraus die Grösse der von der Hand ausgeführten Bewegungen berechnet.

Wir leisteten dabei die Arbeit in der gleichen Weise wie bei den früheren Versuchen: 20" Arbeit abwechselnd mit 20" Ruhe, und liessen jeweils Stichproben der 20" währenden Arbeitsperioden aufzeichnen. Die Versuche wurden an Bornstein angestellt. Dies sind unsere Resultate:

Tabelle IV.

Art des Gewichtes	Grösse des in der Arbeitsminute durch Zittern zurückgelegten Weges in Metern = pro Kilogramm Gewicht geleistete Arbeit in Meter- kilogramm					Im Ganzen durch Zittern pro Arbeits- minute ge- leistete Arbeit
I Versuch unbelasteter Arm	Nach 5' Arbeit 0,106	Nach 9' Arbeit 0,364	Nach 16' Arbeit 0,444	Nach 19' Arbeit 0,339	Mittel 0,313	0,799 mkg
II. Versuch Arm + 3 kg Gewicht	Nach 5' Arbeit 0,555	Nach 8' Arbeit 0,409	Nach 12' Arbeit 0,491	Nach 17' Arbeit 0,433	Mittel 0,472	2,620 „
III. Versuch Arm + 5 kg Gewicht	Nach 5' Arbeit 0,425	Nach 9' Arbeit 0,278	Nach 12' Arbeit 0,185	Nach 15' Arbeit 0,301	Mittel 0,297	2,242 „

Aus diesen Zahlen ist ersichtlich, dass das Zittern nicht die Fehlerquelle war, welche unsere Werthe in der oben vermutheten Weise beeinflusst hätte. Die Mittelzahlen der pro Kilogramm durch Zittern geleisteten Arbeit weichen nicht in dem Maasse von einander ab, wie wir erwartet hatten. Im Gegentheil! Es scheint sogar, als ob die Extrabewegungen bei dem Gewicht von 5 kg kleiner würden. Es wäre dies dann gewissermaassen eine Analogie zu dem Verhalten, das Zuntz und Hagemann¹⁾ bei Pferden fanden, die grosse

1) Zuntz und Hagemann, Stoffwechsel des Pferdes.

dynamische Arbeit leisteten, und dabei ihre Extrabewegungen stark einschränkten. Doch ist natürlich die Anzahl der Versuche zu gering, um darüber etwas Sicheres auszusagen.

Wie dem nun auch sei, wir haben gefunden, dass bei der statischen Arbeit der Stoffverbrauch nicht proportional mit der Zeitdauer wächst, sondern bedeutend schneller. Ein ähnliches Verhalten hatte Speck¹⁾ schon gefunden. Er leistete die statische Arbeit dadurch, dass er ein Gewicht auf dem Nacken trug. Er fand z. B. bei einer Last von 20 kg einen O₂-Verbrauch von 2,3 ccm pro Kilogramm und Minute, bei 50 kg einen solchen von 4,9 ccm pro Kilogramm und Minute. Diese Zahlen (und auch die Grösse des Wachsens) sind allerdings bedeutend kleiner als unsere Zahlen; doch muss man berücksichtigen, dass bei dieser wie bei einer anderen Anordnung von Speck ein grosser Theil des Gewichts nicht durch Muskelcontractionen, sondern durch Anspannung von Bandmassen getragen wird.

Zu anderen Resultaten kamen Chauveau und Tissot²⁾. Sie machten ihre Versuche, indem sie das Gewicht in dem rechtwinklig zum Oberarm gebeugten Unterarm hielten. Sie fanden den Stoffwechsel annähernd proportional dem getragenen Gewicht. Eine gewisse Zunahme des auf die Einheit der Belastung entfallenden Zuwachses im Gaswechsel zeigen aber auch ihre Mittelzahlen, und diese Zunahme tritt gerade in den besten ihrer Versuche am deutlichsten hervor. In den beiden ersten der vier Versuche (Arch. de physiol. normale et pathol. 1897 pag. 86) bewirkt nämlich dieselbe Last eine fast drei Mal so grosse Steigerung des Sauerstoffverbrauchs als in den bei den letzten. Anscheinend war der Experimentator anfänglich noch ungeübt und entwickelte gerade bei den Versuchen mit geringerer Belastung ein Uebermaass von Anstrengung. Durch Mittelung der zwei ersten und der zwei letzten Versuche ergeben sich folgende Zahlen:

Belastung	Zuwachs des Sauerstoffverbrauchs	
	erste zwei Versuche A	letzte zwei Versuche B
1,666 kg	186 ccm	53 ccm
3,333 kg	290 ccm	118 ccm
5,0 kg	424 ccm	214 ccm

1) Speck, Physiologie des menschlichen Athmens. 1892.

2) Chauveau et Tissot, Compt. rend vol. 123, Tissot, Arch. de physiol. norm. et path. vol. 9. 1897.

General -

(a = Ruheversuche;

Nummer	Ventilation pro Minute Liter	Zusammensetzung der expirierten Luft in %		Auf- genommener Sauerstoff pro Minute Liter	Abgegebene Kohlensäure pro Minute Liter
		O	CO ₂		

Gewicht:

A. 20" Arbeit;

I a.	7,15	16,89	3,74	0,2745	0,2469
I b.	8,29	16,73	3,86	0,3295	0,2942
II a.	7,125	16,76	3,66	0,28996	0,24455
II b.	8,67	17,06	3,22	0,32865	0,26930
III a.	6,614	16,68	3,87	0,27519	0,24356
III b.	8,36	17,05	3,55	0,31635	0,28670
IV a.	7,457	16,80	3,77	0,2947	0,2609
IV b.	9,289	17,07	3,66	0,3389	0,3145
V a.	7,867	17,14	3,65	0,27850	0,2638
V b.	8,824	16,99	3,80	0,33018	0,31272
VI a.	7,875	16,31	4,15	0,35103	0,30520
VI b.	7,62	16,25	4,15	0,39030	0,33450
VII a.	8,60	15,53	3,94	0,3482	0,3011
VII b.	10,50	16,74	3,75	0,4042	0,3687
VIII a.	8,63	16,44	3,78	0,3586	0,2897
VIII b.	9,10	16,29	3,86	0,3928	0,3126
IX a.	7,05	16,78	3,67	0,2711	0,2307
IX b.	8,1	16,88	3,67	0,3023	0,2673
X a.	7,4	16,25	4,15	0,3249	0,2780
X b.	8,386	16,34	4,16	0,3568	0,3262
XI a.	9,35	16,97	3,50	0,3423	0,2937
XI b.	10,21	16,945	3,665	0,3783	0,3361

B. 10" Arbeit;

XII a.	8,085	16,82	3,86	0,3078	0,2856
XII b.	8,888	16,91	3,70	0,3338	0,3006
XIII a.	8,4	16,99	3,69	0,3094	0,2833
XIII b.	10,37	17,31	3,50	0,3394	0,3254
XIV a.	8,96	17,40	3,45	0,2882	0,2800
XIV b.	9,11	17,05	3,59	0,3266	0,2962
XV a.	7,88	17,06	3,40	0,2874	0,2449
XV b.	8,5	16,70	3,40	0,3456	0,2621
XVI a.	7,15	16,37	4,32	0,3054	0,2854
XVI b.	7,7	16,32	4,35	0,3327	0,3092
XVII a.	7,23	15,96	3,95	0,3876	0,2916
XVII b.	8,77	15,71	4,18	0,4090	0,3765

T a b e l l e.

b = Arbeitsversuche.)

Respirator. Quotient	für die statische Arbeit pro Minute verbraucht			Versuchsperson
	O in Liter	CO ₂ in Liter	Calorien	

3 kg 150 g.

20" Ruhe.

0,9005	}	0,05535	0,0473	0,268	Bornstein
0,893					
0,843	}	0,03869	0,02475	0,177	Poher
0,819					
0,885	}	0,04116	0,04314	0,198	Bornstein
0,873					
0,885	}	0,04418	0,05362	0,237	Bornstein
0,928					
0,9476	}	0,05168	0,04892	0,258	Bornstein
0,9472					
0,8695	}	0,03927	0,02930	0,187	Bornstein
0,8568					
0,8651	}	0,0560	0,0676	0,276	Bornstein
0,8710					
0,7957	}	0,0342	0,0229	0,160	Poher
0,7959					
0,8513	}	0,0312	0,0366	0,175	Bornstein
0,8843					
0,8557	}	0,0319	0,0412	0,166	Bornstein
0,8862					
0,8579	}	0,0360	0,0424	0,191	Poher
0,8885					

10" Ruhe.

0,9385	}	0,0260	0,0150	0,146	Bornstein
0,9798					
0,9157	}	0,0300	0,0421	0,168	Poher
0,9589					
0,9717	}	0,0384	0,0162	0,168	Bornstein
0,9070					
0,8522	}	0,0582	0,0172	0,261	Poher
0,7639					
0,9338	}	0,0283	0,0238	0,205	Bornstein
0,9295					
0,7524	}	0,0214	0,0849	0,167	Bornstein
0,9205					

Generaltabelle

Nummer	Ventilation pro Minute	Zusammensetzung der expirierten Luft in %		Auf- genommener Sauerstoff pro Minute	Abgegebene Kohlensäure pro Minute
		O	CO ₂		
	Liter			Liter	Liter

C. 30" Arbeit;

XVIII a.	6,86	16,80	3,70	0,2614	0,2302
XVIII b.	7,52	16,86	3,71	0,2849	0,2534
XIX a.	6,85	16,47	4,02	0,2909	0,2554
XIX b.	8,42	16,28	4,49	0,3659	0,3506
XX a.	8,21	17,73	2,86	0,2472	0,2149
XX b.	9,11	17,39	3,40	0,2967	0,2832
XXI a.	7,76	17,53	2,96	0,2766	0,2371
XXI b.	7,83	16,94	3,26	0,3376	0,2631
XXII a.	7,87	17,44	3,05	0,2932	0,2459
XXII b.	7,90	16,96	3,31	0,3377	0,2771

Gewicht:

20" Arbeit;

XXIII a.	8,61	17,37	3,36	0,2837	0,2640
XXIII b.	11,2	16,61	4,18	0,4451	0,4170
XXIV a.	7,90	17,62	3,06	0,2428	0,2198
XXIV b.	13,925	17,14	3,89	0,3869	0,3866
XXV a.	8,71	17,53	3,24	0,2700	0,2543
XXV b.	10,04	17,14	3,60	0,3469	0,3252
XXVI a.	7,83	17,55	3,59	0,2367	0,2559
XXVI b.	12,725	17,39	3,64	0,4097	0,4237
XXVII a.	7,50	17,30	3,315	0,2510	0,2207
XXVII b.	8,57	16,985	3,75	0,3483	0,2912
XXVIII a.	7,49	17,67	2,98	0,2320	0,2076
XXVIII b.	11,7	17,16	3,70	0,4123	0,4025
XXIX a.	8,533	17,51	3,22	0,2744	0,2524
XXIX b.	9,88	16,915	3,90	0,3699	0,3566

Statische Arbeit durch Halten

20" Arbeit;

XXX a.	6,20	16,94	3,56	0,2156	0,1868
XXX b.	6,42	17,39	3,27	0,2265	0,1944
XXXI a.	7,07	17,89	2,87	0,2112	0,1874
XXXI b.	6,355	17,465	3,045	0,2095	0,1784
XXXII b.	6,47	17,24	2,90	0,2329	0,1734
XXXII a.	6,01	17,04	3,12	0,2262	0,1727
XXXIII b.	6,10	17,27	2,99	0,2150	0,1674
XXXIII a.	6,733	17,39	3,14	0,2292	0,1940
XXXIV a.	6,29	17,16	3,23	0,2313	0,1910
XXXIV b.	6,70	17,14	3,32	0,2381	0,2047

(Fortsetzung).

Respirator. Quotient	für die statische Arbeit pro Minute verbraucht			Versuchsperson
	O in Liter	CO ₂ in Liter	Calorien	

30" Ruhe.

0,8809 0,8897	}	0,0235	0,0232	0,118	Poher
0,8777 0,9574	}	0,0750	0,0952	0,398	Bornstein
0,8693 0,9497	}	0,0495	0,0683	0,271	Bornstein
0,8571 0,7972	}	0,0610	0,0260	0,282	Bornstein
0,7795 0,8195	}	0,0445	0,0222	0,197	Poher

5 kg 680 g.

20" Ruhe.

0,9307 0,9369	}	0,1614	0,1530	0,359	Bornstein
0,9053 1,0000	}	0,1441	0,1668	0,757	Poher
0,9418 0,9375	}	0,0769	0,0709	0,380	Bornstein
1,081 1,034	}	0,1730	0,1677	0,792	Poher
0,8793 0,8361	}	0,0973	0,0705	0,384	Bornstein
0,8949 0,9762	}	0,1802	0,1948	0,927	Poher
0,9197 0,9641	}	0,0955	0,1042	0,493	Bornstein

des unbelasteten Armes.

20" Ruhe.

0,8660 0,8583	}	0,0109	0,0076	0,051	Bornstein
0,8870 0,8515	}	0,0017	0,0090	0,018	Poher
0,7436 0,8264	}	0,0067	0,0007	0,026	Poher
0,7787 0,8467	}	0,0141	0,0266	0,087	Poher
0,8264 0,8520	}	0,0068	0,0137	0,045	Bornstein

Wir haben demnach für die erste Mehrbelastung um $1\frac{2}{3}$ kg einen Sauerstoffzuwachs von . . . 104 ccm in A, 65 ccm in B, für die zweite 134 ccm in A, 96 ccm in B.

Johansson¹⁾ hat Versuche publicirt, bei denen er an einer besonderen Maschine statische Arbeit leistete. Seine Resultate lassen sich schlecht mit unseren vergleichen, weil Johansson die Anfangscontraction mit zur statischen Arbeit rechnet, und dabei die einzelne Arbeitsperiode auf 1—2" bemisst, so dass diese Contraction fast die eigentliche statische Arbeit überwiegt. Ein Versuch ist bei ihm vorhanden, der Arbeitsperioden von 40" hat, also eher mit unseren Zahlen vergleichbar ist.

Er findet (wir haben seine Zahl auf Kilogramm und Arbeitsminute umgerechnet) einen Werth von 0,0431 g CO₂ pro Kilogramm Gewicht und Minute. Wenn wir von den Versuchen an Poher (der, wie Johansson, gewöhnlich nüchtern arbeitete) ein Mittel nehmen, so finden wir 0,0447 g CO₂ pro Kilogramm und Minute — eine in ihrer Genauigkeit sicher zufällige Uebereinstimmung.

Demnach kommen wir zu folgenden Resultaten:

1. Der Stoffwechsel bei statischer Arbeit wächst nicht proportional mit dem getragenen Gewicht, sondern stärker.
2. Der Stoffwechsel bei statischer Arbeit wächst nicht proportional mit der Zeitdauer der Arbeitsperioden, sondern stärker.

Zum Schlusse sei es uns gestattet, unserm hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Zuntz, für die Anregung zu dieser Arbeit und für seine lebhafteste Theilnahme an derselben unsern verbindlichsten Dank auszusprechen. Auch Herrn Dr. Oppenheimer sind wir für seine Hülfe bei Anstellung der graphischen Versuche zu Dank verpflichtet.

1) Johansson, Skandinav. Arch. f. Physiol. 1901.