Die Einwirkung verschiedener Variablen auf die Kohlensäureabgabe bei positiver Muskelthätigkeit.

Von

J. E. Johansson und Gunnar Koraen.

(Aus dem physiologischen Laboratorium des Carolinischen medico-chirurgischen Institutes in Stockholm.)

I.

Die unten mitzutheilenden Versuchsreihen sind gleichzeitig mit denjenigen ausgeführt worden, welche wir in diesem Archive Bd. XIII S. 229 veröffentlicht haben. Die Anordnung dieser wie die der früheren Versuche gründet sich auf die Ergebnisse der von Johansson in diesem Archive Bd. XI mitgetheilten Versuchsreihen: Wenn eine Versuchsperson in verschiedenen Versuchsperioden derselben Dauer eine Reihe möglichst gleichförmiger Muskelbewegungen ausführt, nimmt die CO_2 -Abgabe mit der Zahl der Bewegungen proportional zu. Für diese Regelmässigkeit der CO_2 -Abgabe erwies es sich als unerlässliche Voraussetzungen:

1. Der Einfluss der Nahrungsaufnahme muss ausgeschlossen werden.

2. Die Versuchsperson muss alle Extrabewegungen vermeiden.

3. Bei höheren Belastungen darf die Zahl der Bewegungen in einer Versuchsperiode eine gewisse Grenze nicht übersteigen.

4. Es kommt noch eine Bedingung hinzu, welche in der genannten Arbeit nicht speciell erwähnt wurde: Die Versuchsperson muss eine gewisse Uebung besitzen.

Um zu zeigen wie es möglich ist zu controliren, dass die Versuchsperson die nöthige Uebung erworben hat, werden hier drei Ver-

suchsreihen mitgeteilt, welche mit dem früher beschriebenen Arbeits-
apparate ausgeführt worden sind.

Tabelle I.

Reihe 1. Hebung; $P = 21.7 \text{ kg}$; $H = 0.5 \text{ m}$; $Z = 1.1 \text{ Sec.}$; $D = 0 \text{ cm}$.
Versuchsperson K.

Datum des Versuches	N	H m	Z Sec.	CO ₂ in 1 Stunde			Δ
				beob.	corr. H=0.5 m Z=1.1 Sec.	ausgeglichen [CO ₂]=q+pN	
1901							
a) 20. Febr.	303	0.509	1.10	38.1	37.9	39.1	-1.2
21. "	300	0.498	1.10	40.8	40.9	39.0	+1.9
22. "	299	0.498	1.10	39.0	39.0	38.9	+0.1
23. "	301	0.500	1.09	39.7	39.7	39.0	+0.7
16. März	299	0.500	1.10	38.7	38.7	38.9	-0.2
18. "	301	0.500	1.09	37.9	37.9	39.0	-1.1
b) 25. Febr.	602	0.498	1.10	60.9	—	—	—
26. "	601	0.500	1.09	61.8	—	—	—
27. "	602	0.511	1.10	60.4	—	—	—
14. März	601	0.500	1.07	56.2	56.4	55.7	+0.7
16. "	602	0.500	1.07	55.3	55.5	55.7	-0.2
27. "	601	0.500	1.08	55.7	55.8	55.7	+0.1
28. "	600	0.500	1.14	54.5	54.3	55.6	-1.3
c) 22. Febr.	721	0.516	1.10	72.1	—	—	—
23. "	722	0.507	1.09	71.2	—	—	—
12. März	720	0.500	1.14	64.5	64.3	62.3	+2.0
13. "	720	0.500	1.20	61.5	60.8	62.3	-1.5
d) 25. Febr.	898	0.498	1.09	85.9	—	—	—
26. "	899	0.498	1.10	88.7	—	—	—
27. "	900	0.511	1.10	86.0	—	—	—
28. "	901	0.500	1.12	85.0	—	—	—
14. März	900	0.500	1.08	76.7	—	—	—
18. "	902	0.500	1.09	71.4	71.5	72.4	-0.9
27. "	901	0.500	1.08	71.7	71.9	72.4	-0.5
28. "	900	0.500	1.14	74.1	73.7	72.3	+1.4

$$p = 0.0556, q = 22.8^1, r = \pm 0.8, r_p = \pm 0.0009, r_q = \pm 0.5.$$

In Tab. I bezeichnet P die Belastung; N die Anzahl der Hebungen
in einer Versuchsperiode; H die Höhe einer Hebung; Z die Dauer

¹ Als Ruhewerth wurde bei einer im Jahre 1899 ausgeführten Versuchsreihe
22.2⁵ CO₂ in 1 Stunde direct beobachtet. *Dies Archiv.* Bd. XI. S. 178.

einer Hebung; D die Anfangslage des Schlittens. Die CO_2 -Abgabe ist von der Dauer und der Höhe der Hebungen abhängig. Um den Einfluss der Anzahl der Hebungen darzulegen, müssen die einzelnen Versuche im Bezug auf die Höhe und Dauer der Hebungen vergleichbar sein. Die beobachteten Werthe der CO_2 -Abgabe — Col. 5 in Tab. I — sind daher entsprechend den Schwankungen jener Grössen corrigirt worden — Col. 6. Wie man diese Correctionen berechnet, soll weiter unten gezeigt werden.

Vor dem Anfange der Versuchsreihe 1 — Tab. I — hatte sich die Versuchsperson K. nur sehr wenig mit dem Arbeitsapparate geübt. Vom 20.—28. Febr. arbeitete er täglich mit der Belastung 20 kg. Während dieser Zeit sieht man keinen Einfluss dieser täglichen Übung.

Fig. 1.

Der Zusammenhang zwischen der CO_2 -Abgabe und der Zahl der Hebungen in einer Versuchsperiode wird in Fig. 1 dargestellt, wo die gestrichelte Linie die Ergebnisse der während jener Zeit ausgeführten

Versuche wiedergibt. Die CO_2 -Abgabe wächst offenbar schneller als proportional mit der Zahl der Hebungen. Die Versuchsperson setzte indessen die Versuche fort, aber mit der Belastung 30 kg. Am 12. März wurde die Belastung 20 kg wiedergenommen. Jetzt werden ganz andere Werthe der CO_2 -Abgabe erhalten als vor der Trainirung mit 30 kg Belastung: Die CO_2 -Abgabe wächst proportional mit der Zahl der Hebungen.

Bei den Versuchen $N = 300$ beträgt die CO_2 -Abgabe denselben Werth nach wie vor der Trainirung mit der grösseren Belastung. Durch die Uebung wird also der Bereich erweitert, innerhalb welches die CO_2 -Abgabe proportional mit der Zahl der Bewegungen wächst.

Um eine hinreichende Uebung herzustellen, ist es offenbar zu empfehlen, eine grössere Belastung zu nehmen als diejenige, welche bei den eigentlichen Versuchen zur Anwendung kommen soll.

Diejenigen Werthe der CO_2 -Abgabe in Tab. I, welche der hinreichenden Uebung entsprechen, werden nach der Formel $[\text{CO}_2] = q + pN$ mittels der Methode der kleinsten Quadrate ausgeglichen. Die wahrscheinlichsten Werthe von q — „Ruhewerth“ der CO_2 -Abgabe für die betreffende Versuchsperson — und von p — die Zunahme der CO_2 -Abgabe für je eine Hebung — werden gleichzeitig in üblicher Weise berechnet nebst den wahrscheinlichen Fehlern r_p und r_q jener Grössen. In Fig. 1 werden jene ausgeglichenen Werthe durch die ausgezogene Linie dargestellt.

Die Versuchsperson J. hat vor den Versuchsreihen 2 und 3 (Tab. II und III) mehrere andere zu verschiedenen Zeiten ausgeführt. Unmittelbar vor jenen Reihen waren aber seit 7 Monaten keine Versuche vorgenommen worden und die Versuchsperson hatte daher die erworbene Uebung zum Theil verloren. Wie die nöthige Uebung allmählich wieder hergestellt wird, ist aus der Reihe 2:c, — $N = 600$ in $\frac{1}{2}$ Stunde — ersichtlich. Die CO_2 -Abgabe sinkt allmählich von 47 bis 38%. Bei den Reihen 2:a und 2:b, wo die Zahl der Hebungen nur 300 bezw. 450 in $\frac{1}{2}$ Stunde beträgt, findet nicht jene Abnahme der CO_2 -Abgabe statt, d. h. für diese Arbeitsleistungen ist die Uebung schon am Anfang der Versuchsreihe hinreichend gewesen. Durch die während der Versuchsreihe erworbene Uebung wird der Bereich, innerhalb welches die CO_2 -Abgabe der Zahl der Hebungen proportional wächst, bis auf 600 in $\frac{1}{2}$ Stunde erweitert, entsprechend etwa 10400 m.-kg. in 1 Stunde.

Bei der Belastung 32.1 kg — Tab. III — wird die Grenze jener

Regelmässigkeit der CO_2 -Abgabe bei etwa 360 Hebungen in $\frac{1}{2}$ Stunde d. h. 9200 m-kg in 1 Stunde, erreicht.

Tabelle II.

Reihe 2. Hebung; $P = 21.7 \text{ kg}$; $D = 0$. Versuchsperson J.

Datum des Versuches	N	H m	Z Sec.		CO ₂ * in 1/2 Stunde			Δ
			beob.	corr. H=0.400	beob.	corr. H=0.400	ausgeglichen [CO ₂]=q+p N	
1901								
a) 7. Nov.	304	0.409	0.97	0.94	27.2	27.0	—	—
8. „	298	0.409	0.94	0.92	25.9	25.7	25.2	+0.5
9. „	296	0.408	0.85	0.83	24.5	24.3	25.1	-0.8
11. „	298	0.411	0.92	0.89	25.8	25.5	25.2	+0.3
15. „	298	0.401	0.97	0.97	25.2	25.2	25.2	—
23. „	298	0.394	0.94	0.95	24.3	24.5	25.2	-0.7
b) 8. „	458	0.409	0.90	0.88	32.1	31.7	32.6	-0.9
9. „	452	0.409	0.89	0.87	33.8	33.4	32.3	+1.1
11. „	454	0.406	0.90	0.88	35.2	35.0	—	—
15. „	450	0.399	0.91	0.91	33.2	33.2	32.2	+1.0
23. „	453	0.398	0.93	0.93	32.3	32.4	32.3	+0.1
c) 7. „	597	0.410	0.95	0.93	47.0	46.5	—	—
8. „	602	0.412	0.90	0.88	45.1	44.5	—	—
9. „	602	0.409	0.88	0.86	42.1	41.6	—	—
11. „	598	0.408	0.92	0.90	42.3	41.9	—	—
14. „	606	0.395	0.91	0.92	41.6	41.9	—	—
15. „	606	0.401	0.92	0.92	40.8	40.7	—	—
23. „	580	0.397	0.93	0.93	38.3	38.5	38.2	+0.3
26. „	600	0.400	0.89	0.89	38.2	38.2	39.1	-0.9

$p = 0.0461$, $q = 11.5$, $r = \pm 0.52$, $r_p = \pm 0.0014$, $r_q = \pm 0.6$.

Tabelle III.

Reihe 3. Hebung; $P = 32.1 \text{ kg}$; $D = 0$. Versuchsperson J.

Datum des Versuches	N	H m	Z Sec.		CO ₂ * in 1/2 Stunde			Δ
			beob.	corr H=0.400	beob.	corr. H=0.400	ausgeglichen [CO ₂]=q+pN	
1901								
25. Nov.	90	0.403	0.91	0.91	18.4	18.4	17.7	+0.7
26. „	182	0.405	0.86	0.85	23.5	23.4	24.5	-1.1
12. „	303	0.404	0.90	0.89	33.6	33.4	33.3	+0.1
12. „	358	0.407	0.94	0.92	38.0	37.7	37.4	+0.3
12. „	450	0.407	0.93	0.91	50.8	50.4	—	—

$p = 0.0734$, $q = 11.1$, $r = \pm 0.64$, $r_p = \pm 0.0031$, $r_q = \pm 0.78$.

Die jetzt angeführten Versuchsreihen bestätigen die frühere Angabe, dass die CO_2 -Abgabe bis eine gewisse Grenze proportional mit der Zahl der Contractionen wächst und haben die Abhängigkeit dieses Grenzwertes von der Uebung dargelegt.

II.

Die Aufgabe der vorliegenden Untersuchung, ist den Einfluss verschiedener Variablen auf die CO_2 -Abgabe bei positiver Muskelarbeit zu ermitteln. Mittels des früher beschriebenen Arbeitsapparates führt die Versuchsperson eine gewisse Anzahl (N) „Hebungen“ in einer bestimmten Versuchsperiode $\frac{1}{2}$ oder 1 Stunde aus. Bei den verschiedenen Versuchsreihen werden die Dauer (Z) — d. h. die Geschwindigkeit — der Hebungen, die Anfangslage (D) — d. h. der Verkürzungsgrad der betreffenden Muskeln in demjenigen Momente wo die Hebung des Gewichtes anfängt — die Höhe (H) und die Belastung (P) variirt.

Eine Uebersicht der ausgeführten Versuchsreihen wird hier mitgetheilt.

Reihe	Tabelle	Variabel	Versuchsp.
4 a. b. c	IV und V	Dauer [Z]	J.
5 a. b. c	} VI und VII	Belastung [P]	J.
6 a. b. c			
7 a. b. c	VIII und IX	„	K.
8 a. b. c. d. e	} X und XI	Anfangslage [D]	J.
9 a. b. c			
10 a. b. c. d. e	XII und XIII	„	K.

III.

Wir wollen zuerst den Einfluss der Dauer oder der Geschwindigkeit der Contractionen erörtern (s. Tab. IV und V).

Tab. IV enthält eine Versuchsreihe mit variirender Dauer, der Hebungen. Wie bei den früher¹ mitgetheilten Versuchen wird diejenige CO_2 -Abgabe, p , berechnet, welche einer Hebung entspricht — Col. 7 —. Die Belastung (P) schwankt etwas mit der Geschwindigkeit.² Die mittlere Höhe (H) der Hebungen bietet auch einige Schwankungen bei den verschiedenen Versuchen dar. Um miteinander vergleichbare

¹ *Dies Archiv.* Bd. XIII. S. 233.

² *Ebendas.* Bd. XI. S. 284.

Tabelle IV.

Reihe 4. Hebung; $D = 0$ cm. Versuchsperson J.

Datum des Versuches	P kg	H m	N	Z Sec.	CO_2^s in 1 Stunde	CO_2^s entsprechend einer Hebung (p)
17. März 1900	22.0	0.486	902	0.5	70.1	0.052
30. „ „	22.0	0.487	902	0.5	70.8	0.053
Decbr. 1898 ¹	21.7	0.500	120—880	1.1	30—76	0.059
Jan. 1899 ²	21.7	0.500	120—1200	1.0	30—94	0.057
23. Aug. „	21.2	0.496	604	2.4	66.3	0.071
31. „ „	21.1	0.499	455	3.8	64.1	0.090
1. Septbr. „	21.1	0.501	361	3.4	51.9	0.079
19. März 1900	21.1	0.489	450	3.7	59.1	0.080
17. „ „	21.0	0.495	360	5.4	60.4	0.103
30. „ „	21.0	0.497	361	5.8	61.8	0.107
16. „ „	21.0	0.499	180	11.8	52.9	0.164
19. „ „	21.0	0.501	179	12.3	55.1	0.178

Tabelle V.

Reihe 4. Hebung; $P = 20$ kg; $H = 0.5$ m; $D = 0$ cm. Versuchsperson J.

Z	CO_2^s entsprechend einer Hebung, p ,		Δ	
	beobachtet	berechnet $p = s + tZ$		
0.5	0.048	0.049	-0.001	
0.5	0.049	0.049	0.000	$t = 0.0099 \pm 0.0001$
1.1	0.055	0.055	0.000	$s = 0.0434 \pm 0.0007$
1.0	0.053	0.054	-0.001	
2.4	0.068	0.067	+0.001	
3.8	0.085	0.081	+0.004	
3.4	0.075	0.077	-0.002	
3.7	0.077	0.080	-0.003	
5.4	0.099	0.097	+0.002	
5.8	0.102	0.101	+0.001	
11.8	0.157	0.161	-0.004	
12.3	0.169	0.166	+0.003	

Zahlenwerthe der CO_2 -Abgabe für je eine Hebung zu erhalten, werden die Zahlen der Col. 7 auf die Höhe $H = 0.500$ m und die Belastung 20 kg bezogen — Tab. V Col. 2 —. Eine entsprechende Correction muss auch betreffs der Zahlenwerthe (Z) der Dauer der Hebungen vorgenommen

¹ Reihe von 16 Versuchen. (*Dies Archiv.* Bd. XI. S. 295).² Reihe von 21 Versuchen. (*Dies Archiv.* Bd. XI. S. 296.)

werden. Bei der Reihe 4 beträgt aber diese Correction nur einige Hundertstel einer Secunde und wird daher nicht speciell angegeben. Bei den folgenden Reihen werden sowohl die beobachteten wie die corrigirten Zahlenwerthe Z angeführt. Die in Tab. V Col. 2 angeführten Zahlen sind folgender Weise erhalten worden. Die Zahlen der Col. 7 Tab. IV werden zuerst auf die Belastung $P = 20 \text{ kg}$ bezogen. Aus den dabei erhaltenen Werthen werden vorläufig die Grössen s und t (siehe unten) approximativ berechnet, und mittels dieser approximativen Werthe werden dann die Correctionen erhalten. Erforderlichen Falles wird diese Procedur zweimal wiederholt.

Die Zahlen der Col. 2 Tab. V, welche sich alle auf dieselbe Belastung, $P = 20 \text{ kg}$, und dieselbe Höhe der Hebungen, $H = 0,500 \text{ m}$, beziehen, sind mit einander vergleichbar und werden zur Berechnung der wahrscheinlichsten Werthe von s und t in der Formel

$$p = s + tZ$$

verwerthet. Die wahrscheinlichen Fehler r_t und r_s jener Grössen und der wahrscheinliche Fehler r einer Beobachtung werden in üblicher Weise berechnet. Die nach der obigen Formel ausgeglichenen Werthe der CO_2 -Abgabe für eine Hebung werden in Col. 3 angeführt. Wie aus den Differenzen Δ zwischen den Zahlen der Col. 2 und 3 zu ersehen ist, ist die Anwendung der obigen Formel berechtigt. Dasselbe geht auch aus den Versuchsreihen 5:b, 7:b, 9:a, 10:a hervor.

Es hat sich also erwiesen, dass die CO_2 -Abgabe bei positiver Muskelarbeit der Dauer der Contractionen proportional wächst.

Die Ausführung einer Bewegung verlangt eine gewisse Zeit. Die CO_2 -Abgabe, welche einer gewissen Muskelthätigkeit entspricht, ist also immer von der Grösse Z abhängig. Um den Einfluss anderer Variablen darzulegen, müssen die betreffenden Versuche in Bezug auf die Dauer der Contractionen vergleichbar sein.

Am besten verfährt man in derjenigen Weise, dass man mehrere Versuchsreihen derselben Anordnung wie die Reihe 4 ausführt, und für jede solche Reihe der betreffenden Variablen einen verschiedenen Zahlenwerth ertheilt. Aus jeder Versuchsreihe werden die Grössen s und t berechnet. Man bestimmt also in jedem Falle theils die Zunahme — t — der CO_2 -Abgabe für je 1 Sec. längere Dauer der Bewegung, theils diejenige CO_2 -Abgabe, welche einer momentanen Ausführung der betreffenden Bewegung entspricht — s —. Aus den verschiedenen Zahlenwerthen der Grössen s und t , welche man auf diese Weise erhält, stellt sich der Einfluss der betreffenden Variablen auf die CO_2 -Abgabe heraus.

Da es sich deutlich genug erwiesen hatte, dass die CO_2 -Abgabe der Dauer der Contractionen proportional wächst, war es nicht notwendig, in jedem Falle mehrere Bestimmungen auszuführen, als entsprechend zwei verschiedenen Werthen der Dauer (Z).

Tabelle VI.

Positive Muskularbeit (Hebung). Variirende Belastung. $D = 0 \text{ cm.}$
Versuchsperson J.

Datum des Versuches	P kg	H m	N	Z Sec. beob.	CO_2 s in einer Versuchs- periode	CO_2 s entsprechend einer Heb. (ν)
Reihe 5.						
a) 25. Nov. 1901	10.9	0.401	593	0.91	$\frac{1}{2}$ Stunde 26.2	0.0245
26. „ „	10.9	0.403	597	0.85	25.5	0.0231
19. „ „	10.5	0.403	178	7.77	21.1	0.0530
22. „ „	10.5	0.404	182	7.80	21.5	0.0540
$\frac{1}{2}$ Stunde						
b) „ „ 1	21.7	0.400	300—600	0.91	24—38	0.0461
20. „ „	21.1	0.400	228	3.65	27.7	0.0703
21. „ „	21.1	0.403	223	3.61	28.5	0.0755
16. „ „	21.0	0.408	120	7.63	26.1	0.1203
18. „ „	21.0	0.409	120	7.87	25.7	0.1170
22. „ „	21.0	0.405	120	7.99	24.0	0.1028
$\frac{1}{2}$ Stunde						
c) „ „ 2	32.1	0.400	90—360	0.89	18—38	0.0734
20. „ „	31.5	0.406	150	3.67	28.7	0.1135
21. „ „	31.5	0.404	150	3.68	27.1	0.1029
Reihe 6.						
a) 6. April 1900	11.0	0.512	1202	0.53	1 Stunde 56.1	0.0273
Febr. 1899 3	10.9	0.500	120—1272	1.00	26—60	0.0298
6. April 1900	10.5	0.518	181	13.84	40.7	0.0961
1 Stunde						
b) „ 4	20.0	0.500	120—1200	0.5—12.3	30—94	0.048—0.169
1 Stunde						
c) Jan. 1899 5	32.1	0.500	120—600	1.00	32—75	0.0894
3. April 1900	31.5	0.504	240	5.69	67.0	0.1821
5. „ „	31.5	0.507	240	5.90	67.8	0.1854

1 Reihe von 11 Versuchen. Reihe 2 (Tab. II).

2 „ „ 4 „ Reihe 3 (Tab. III).

3 „ „ 20 „ (*Dies Archiv.* Bd. XI. S. 296.)

4 „ „ 12 „ Reihe 4 (Tab. V).

5 „ „ 22 „ (*Dies Archiv.* Bd. XI. S. 297.)

Tabelle VII.

Positive Muskelarbeit (Hebung). Variierende Belastung. $D = 0 \text{ cm}$.
Versuchsperson J.

Z (Sec.) corr. [H]	CO ₂ s entsprechend einer Hebung, p,			
	corr. [P]	corr. [H]	ausgeglichen $p = s + tZ$	

Reihe 5: a. $H = 0.4 \text{ m}$; $P = 10 \text{ kg}$.

0.91	0.0225	0.0225	—	$t = 0.0042$
0.85	0.0212	0.0211	—	
7.71	0.0505	0.0501	—	$s = 0.0181$
7.72	0.0514	0.0509	—	

b. $H = 0.4 \text{ m}$; $P = 20 \text{ kg}$.

0.91	0.0424	0.0424	0.0436	$t = 0.0092 \pm 0.0008$
3.65	0.0666	0.0666	0.0688	
3.58	0.0716	0.0711	0.0681	$s = 0.0352 \pm 0.0045$
7.48	0.1146	0.1125	0.1040	
7.70	0.1114	0.1090	0.1060	$r = \pm 0.0050$
7.89	0.0979	0.0965	0.1078	

c. $H = 0.4 \text{ m}$; $P = 30 \text{ kg}$.

0.89	0.0686	0.0686	—	$t = 0.0121$
3.62	0.1081	0.1066	—	
3.64	0.0980	0.0969	—	$s = 0.0578$

Reihe 6: a. $H = 0.5 \text{ m}$; $P = 10 \text{ kg}$.

0.52	0.0248	0.0238	0.0246	$t = 0.0049$
1.00	0.0273	0.0273	0.0269	
13.36	0.0915	0.0874	0.0871	$s = 0.0221$

b. $H = 0.5 \text{ m}$; $P = 20 \text{ kg}$.

—	—	—	—	$t = 0.0099 \pm 0.0001$
—	—	—	—	$s = 0.0434 \pm 0.0007$

c. $H = 0.5 \text{ m}$; $P = 30 \text{ kg}$.

1.00	0.0836	0.0836	—	$t = 0.0190$
5.65	0.1734	0.1723	—	
5.83	0.1766	0.1747	—	$s = 0.0646$

Tabelle VIII.

Reihe 7. Positive Muskelarbeit (Hebung). Variierende Belastung.
 $H = 0.5 \text{ m}$; $D = 0 \text{ cm}$. Versuchsperson K.

Datum des Versuches	P kg	N	Z Sec.	CO_2 g in $\frac{1}{2}$ Stunde	CO_2 g entsprechend einer Hebung (p)
a) 29. Mai 1901	10.9	454	1.14	23.6	0.0275
30. „ „	10.9	451	1.10	22.5	0.0253
29. „ „	10.5	221	4.81	18.7	0.0344
29. „ „	10.5	230	4.78	19.3	0.0357
b) März „ ¹	21.7	150—450	1.10	19—36	0.0556
18. Mai „	21.1	200	3.29	26.9	0.0790
18. „ „	21.1	205	3.33	27.4	0.0795
18. „ „	21.0	188	4.91	29.6	0.0984
17. „ „	21.0	179	5.10	28.7	0.0983
c) 31. „ „	32.1	158	1.10	23.9	0.0810
30. „ „	31.8	113	2.94	24.4	0.1177
30. „ „	31.8	108	3.22	24.9	0.1278

Tabelle IX.

Reihe 7. Hebung. Variierende Belastung; $H = 0.5 \text{ m}$; $D = 0 \text{ cm}$.
 Versuchsperson K.

Z	CO_2 g entsprechend einer Hebung, p ,		A	
	corr. [P]	ausgeglichen $p = s + tZ$		
a)	$P = 10 \text{ kg}$			
1.14	0.0252	—		$t = 0.0025$
1.10	0.0232	—		
4.81	0.0328	—		$s = 0.0214$
4.78	0.0340	—		
b)	$P = 20 \text{ kg}$			
1.10	0.0512	0.0512	0.0000	$t = 0.0109 \pm 0.00018$
3.29	0.0749	0.0750	-0.0001	
3.33	0.0754	0.0754	0.0000	$s = 0.0393 \pm 0.00069$
4.91	0.0937	0.0926	+0.0011	
5.10	0.0936	0.0946	-0.0010	$r = \pm 0.0006$
c)	$P = 30 \text{ kg}$			
1.10	0.0757	—		$t = 0.0203$
2.94	0.1110	—		
3.22	0.1206	—		$s = 0.0534$

¹ Reihe von 15 Versuchen. Reihe 1. Tab. I.

Tabelle X.

Positive Muskelarbeit (Hebung). Variierende Anfangslage. Versuchspers. J.

Datum des Versuches	P kg	H m	N	Z Sec. beob.	CO ₂ % in einer Stunde	CO ₂ % entsprechend einer Hebung (p)
Reihe 8.						
a) D = 0 cm						
20. März 1900	21.7	0.099	1799	0.25	49.3	0.0145
24. „ „	21.0	0.108	720	2.69	41.9	0.0258
b) D = 10 cm						
20. März „	21.7	0.100	1798	0.26	50.9	0.0154
31. „ „	21.0	0.108	722	2.65	46.9	0.0327
c) D = 20 cm						
10. April 1900	21.7	0.102	1806	0.22	50.7	0.0152
10. „ „	21.0	0.104	720	1.96	43.6	0.0282
26. März „	21.0	0.107	721	2.46	46.6	0.0323
d) D = 30 cm						
21. März 1900	21.7	0.102	1818	0.25	53.7	0.0167
31. „ „	21.0	0.107	715	2.72	51.3	0.0392
e) D = 40 cm						
21. März 1900	21.7	0.102	1686	0.25	54.6	0.0186
10. Oct. 1899	21.7	0.109	1820	0.30	59.4	0.0199
11. „ „	21.0	0.109	1197	0.80	57.4	0.0285
26. März 1900	21.0	0.101	716	2.18	53.9	0.0427
Reihe 9.						
a) D = 0 cm						
22. März 1900	21.7	0.202	1802	0.33	63.1	0.0249
Jan. 1899 ¹	21.7	0.200	360—1800	0.36	32—69	0.0244
Aug. „ ²	21.7	0.200	120—1850	0.50	25—72	0.0256
„ „ ³	21.1	0.200	120—900	1.40	26—50	0.0300
24. März 1900	21.0	0.212	360	5.31	42.1	0.0522
b) D = 20 cm						
22. März 1900	21.8	0.202	1802	0.30	69.6	0.0257
7. Febr. „	21.7	0.217	1203	0.50	56.8	0.0278
6. „ „	21.1	0.227	902	1.45	57.7	0.0381
24. März „	21.0	0.212	361	5.48	48.6	0.0701
c) D = 30 cm						
22. März 1900	22.0	0.202	1796	0.21	73.6	0.0280
2. April „	21.0	0.202	360	4.70	51.8	0.0792

¹ Reihe von 14 Versuchen (*Dieses Archiv.* Bd. XI. S. 297).² „ „ 8 „ („ „ „ XI. „ 299).³ „ „ 11 „ („ „ „ XI. „ 299).

Tabelle XI.

Positive Muskelarbeit (Hebung). Variierende Anfangslage. Versuchspers. J.

D cm	Z Sec. corr. [H]	CO ₂ s entsprechend einer Hebung, p,			
		corr. P = 20 kg	corr. [H]	ausgeglichen p = s + tZ	
Reihe 8. H = 0.10 m.					
a) 0	0.25	0.0134	0.0134		t = 0.0043
0	2.49	0.0246	0.0231		s = 0.0123
b) 10	0.26	0.0142	0.0142		t = 0.0068
10	2.45	0.0311	0.0291		s = 0.0124
c) 20	0.22	0.0140	0.0138	0.0145	t = 0.0068
20	1.88	0.0269	0.0261	0.0259	
20	2.30	0.0308	0.0293	0.0288	s = 0.0130
d) 30	0.25	0.0154	0.0152		t = 0.0088
30	2.55	0.0373	0.0353		s = 0.0130
e) 40	0.25	0.0171	0.0169	0.0177	t = 0.0121
40	0.28	0.0183	0.0174	0.0180	
40	0.74	0.0271	0.0257	0.0237	s = 0.0147
40	2.16	0.0407	0.0404	0.0409	
Reihe 9. H = 0.20 m.					
a) 0	0.33	0.0229	0.0228	0.0226	t = 0.00527 ± 0.00004
0	0.36	0.0225	0.0225	0.0228	
0	0.50	0.0236	0.0236	0.0235	s = 0.0209 ± 0.00009
0	1.40	0.0284	0.0284	0.0283	
0	5.01	0.0497	0.0473	0.0473	r = ± 0.00015
b) 20	0.30	0.0237	0.0235	0.0238	
20	0.46	0.0256	0.0248	0.0251	t = 0.0082
20	1.28	0.0361	0.0326	0.0318	
20	5.18	0.0668	0.0635	0.0637	s = 0.0214
c) 30	0.21	0.0254	0.0252		t = 0.0111
30	4.65	0.0755	0.0747		s = 0.0239

Tabelle XII. Reihe 10. Positive Muskelarbeit (Hebung). Variierende Anfangslage $[D]$. Versuchsperson K.

Datum des Versuches	P kg	H m	N	Z Sec. beob.	CO_2^s in $\frac{1}{2}$ Std.	CO_2^s entspr. einer Heb. p
a) $D = 0^{\text{cm}}$						
20. Mai 1901	21.7	0.104	900	0.29	25.4	0.159
20. „ „	21.7	0.102	900	0.29	23.9	0.142
21. „ „	21.0	0.104	450	0.91	18.2	0.158
21. „ „	21.0	0.104	450	1.03	19.2	0.180
20. „ „	21.0	0.104	360	2.09	18.9	0.217
21. „ „	21.0	0.104	360	2.29	19.7	0.235
b) $D = 10^{\text{cm}}$						
22. Mai 1901	21.7	0.102	903	0.29	24.1	0.0144
22. „ „	21.0	0.107	451	0.99	19.1	0.0177
22. „ „	21.0	0.107	453	1.02	19.4	0.0183
c) $D = 20^{\text{cm}}$						
23. Mai 1901	21.7	0.100	892	0.29	23.5	0.0139
23. „ „	21.7	0.100	918	0.29	23.9	0.0139
23. „ „	21.0	0.102	453	0.98	18.0	0.0152
23. „ „	21.0	0.102	452	1.02	18.1	0.0155
d) $D = 30^{\text{cm}}$						
24. Mai 1901	21.7	0.102	900	0.29	25.2	0.0157
24. „ „	21.7	0.102	902	0.29	26.1	0.0166
24. „ „	21.0	0.102	453	0.91	19.8	0.0192
24. „ „	21.0	0.102	453	0.98	20.5	0.0207
e) $D = 40^{\text{cm}}$						
25. Mai 1901	21.7	0.107	902	0.29	30.0	0.0210
25. „ „	21.7	0.104	893	0.29	29.1	0.0202
25. „ „	21.0	0.104	450	0.94	23.3	0.0271
28. „ „	21.0	0.102	450	1.03	24.0	0.0287

 Tabelle XIII. Reihe 10. Positive Muskelarbeit (Hebung). Variierende Anfangslage $[D]$. Versuchsperson K.

D cm	Z Sec. corr. $H = 0.100^{\text{m}}$	CO_2^s entspr. einer Heb., p			
		corr. $P = 20^{\text{kg}}$	corr. $H = 0.100^{\text{m}}$	ausgeg. $p = s + tZ$	
a) 0	0.28	0.0147	0.0144	0.0133	$t = 0.0041 \pm 0.0003$
0	0.28	0.0131	0.0129	0.0133	
0	0.88	0.0150	0.0146	0.0158	$s = 0.0122 \pm 0.0004$
0	0.99	0.0171	0.0167	0.0163	
0	2.00	0.0207	0.0201	0.0204	$r = \pm 0.0006$
0	2.20	0.0224	0.0218	0.0213	

Tabelle XIII. (Fortsetzung.)

<i>D</i> cm	<i>Z</i> Sec. corr. <i>H</i> = 0.100 m	CO ₂ s entspr. einer Heb., <i>p</i> ,			<i>t</i> = 0.0048 <i>s</i> = 0.0118 [<i>t</i> = 0.0024] <i>s</i> = 0.0120 <i>t</i> = 0.0062 <i>s</i> = 0.0130 <i>t</i> = 0.0112 <i>s</i> = 0.0153
		corr. <i>P</i> = 20 kg	corr. <i>H</i> = 0.100 m	ausgeg. <i>p</i> = <i>s</i> + <i>tZ</i>	
b) 10	0.28	0.0133	0.0131	—	<i>t</i> = 0.0048
10	0.93	0.0169	0.0161	—	
10	0.95	0.0174	0.0166	—	
c) 20	0.29	0.0128	0.0128	—	[<i>t</i> = 0.0024]
20	0.29	1.0128	0.0128	—	
20	0.96	0.0145	0.0143	—	
20	1.00	0.0148	0.0146	—	
d) 30	0.28	0.0145	0.0143	—	<i>t</i> = 0.0062
30	0.28	1.0153	0.0151	—	
30	0.89	0.0183	0.0180	—	
30	0.96	0.0197	0.0194	—	
e) 40	0.27	0.0194	0.0186	—	<i>t</i> = 0.0112
40	0.28	0.0186	0.0182	—	
40	0.90	0.0258	0.0251	—	
40	1.01	0.0273	0.0269	—	

IV.

Aus den Versuchsreihen 5, 6 und 7 wird der Einfluss variirender Belastung auf die CO₂-Abgabe bei positiver Muskelarbeit ersichtlich. In Tab. XIV sind die betreffenden *s*- und *t*-Werthe zusammengestellt worden. Die Ausgangslage ist bei allen Versuchen dieselbe, *D* = 0 cm, gewesen. Bei der Reihe 5 beträgt die Höhe *H* der Hebungen 0.4 m, bei den Reihen 6 und 7 0.5 m. Die Reihen 5 und 6 sind von der Versuchsperson J., die Reihe 7 von K. ausgeführt worden.

Tabelle XIV. Der Einfluss der Belastung auf die CO₂-Abgabe bei positiver Muskelarbeit.

Reihe	<i>P</i> kg	<i>A</i> m·kg	<i>s</i> CO ₂ g	<i>s/P</i>	$v = \frac{s-w}{A}$	<i>t</i> CO ₂ g	<i>t/P</i>	Vers.- Person
5. a	10	4	0.0181	0.0018	0.0039	0.0042	0.00042	J.
b	20	8	0.0352	0.0018	0.0038	0.0092	0.00046	J.
c	30	12	0.0578	0.0019	0.0042	0.0121	0.00040	J.
6. a	10	5	0.0221	0.0022	0.0039	0.0049	0.00049	J.
b	20	10	0.0134	0.0022	0.0038	0.0099	0.00050	J.
c	30	15	0.0646	0.0022	0.0038	0.0190	0.00063	J.
7. a	10	5	0.0214	0.0021	0.0039	[0.0025]	—	K.
b	20	10	0.0393	0.0020	0.0036	0.0109	0.00054	K.
c	30	15	0.0534	0.0018	0.0032	0.0203	0.00067	K.

Aus der Tab. XIV geht hervor, dass sowohl die s - wie die t -Werthe der Belastung proportional wachsen.

Die Zahlen $\frac{s}{P}$ und $\frac{t}{P}$ — Col. 5 und 8 — bei den untereinander vergleichbaren Reihen stimmen so gut man überhaupt verlangen kann im Betracht der Schwierigkeiten, mit welchen die Ausführung dieser Versuche verbunden ist. Es ist doch zu bemerken, dass bei den Reihen 6:c und 7:c das Verhältniss $\frac{t}{P}$ eine beträchtlichere Abweichung darbietet, als was auf zufällige Versuchsfehler bezogen werden kann. Jene Abweichung wird aber dadurch erklärlich, dass bei der betreffenden Belastung — 30 kg — die langsame Hebung sehr anstrengend ist. Besonders ist der letzte Abschnitt von $D = 40$ cm bis $D = 50$ cm mühsam und wahrscheinlich werden dabei auch andere Muskeln in Anspruch genommen als diejenigen, welche sich bei den schneller ausgeführten Hebungen betheiligen.

Der offenbar ganz zu niedrige t -Werth bei der Reihe 7:a ist wahrscheinlich auf einen Versuchsfehler zu beziehen. Dieser Fehler hat doch den entsprechenden s -Werth nicht in höherem Grade beeinflussen können, und ich habe daher diese Reihe nicht ganz verwerfen wollen.

Die erwähnten Abweichungen können die Schlussfolgerung nicht vereiteln, dass die CO_2 -Abgabe bei positiver Muskelarbeit der Belastung proportional zunimmt. Man muss aber die Einschränkung hinzufügen, dass bei grösserer Belastung — etwa 30 kg für die betreffenden Versuchspersonen — eine langsame Ausführung der Contractionen eine grössere Zunahme der CO_2 -Abgabe bewirkt, als was der obigen Regel entspricht.

V.

Wir wollen jetzt untersuchen wie die Höhe (H) der „Hebungen“, d. h. der Umfang der Contractionen oder die bei den Contractionen stattfindende Verkürzung der sich betheiligenden Muskeln die CO_2 -Abgabe beeinflusst.

In Tab. XV sind die s -Werthe aus den Reihen 8:a; 9:a; 5:b; 6:b zusammengestellt worden. Die Belastung beträgt bei allen Reihen 20 kg und die Anfangslage ist auch unverändert dieselbe gewesen, $D = 0$ cm. Die betreffenden s -Werthe wachsen offenbar der Höhe der Hebungen proportional. Wie wir eben gesehen haben, nehmen jene Werthe auch der Belastung proportional zu. Es hat sich somit herausgestellt, dass die CO_2 -Abgabe, welche einer momentan

verlaufenden Verkürzung belasteter Muskeln entspricht, der verrichteten äusseren Arbeit proportional ist.

Tabelle XV.

Der Einfluss des Umfanges der Contractionen — Höhe der „Hebungen“ — auf die CO_2 -Abgabe bei positiver Muskelarbeit.

Reihe	H m	A m-kg	s, CO_2 %		Δ	
			beob.	berechnet $s = w + v A$		
8. a	0.100	2	0.0123	0.0127	-0.0004	$v = 0.00383 \pm 0.00006$ $w = 0.0050 \pm 0.0004$
9. a	0.200	4	0.0209	0.0203	+0.0006	
5. b	0.400	8	0.0352	0.0356	-0.0004	
6. b	0.500	10	0.0434	0.0433	+0.0001	

In der Formel

$$s = w + v A$$

bezeichnet A die äussere Arbeit, v die CO_2 -Abgabe für 1 m-kg äussere Arbeit — n. b. momentan verrichtet — und w diejenige CO_2 -Abgabe, welche von der Höhe der Hebung unabhängig ist. Die wahrscheinlichen Werthe der Grössen v und w nebst den wahrscheinlichen Fehlern lassen sich in üblicher Weise herleiten.

Die Grösse w entspricht derjenigen Muskelthätigkeit, welche der Hebung des Gewichtes vorgeht. Die Versuchsperson muss die Griffe des Schlittens fassen und den betreffenden Armmuskeln den nöthigen Spannungsgrad ertheilen, ehe das Gewicht gehoben werden kann. Die Grösse w ist zunächst mit der Grösse s zu vergleichen, welche bei den Versuchsreihen mit statischer Muskelthätigkeit berechnet wurde.¹ Die betreffenden Versuchsreihen sind doch nicht mit einander ganz vergleichbar. Bei den Versuchen mit statischer Muskelarbeit liess die Versuchsperson, wie schon erwähnt worden ist, während der Pausen zwischen den Contractionen die Hände auf dem Tische ruhen, in der Absicht, eine möglichst vollständige Erschlaffung der Armmuskeln herzustellen. Bei den Versuchen mit positiver Muskelarbeit liess die Versuchsperson dagegen die Hände auf den Griffen des Schlittens ruhen und brauchte also nicht dieselben vor jeder Contraction zu heben.

Die Grösse w , auf die Belastung 10 kg bezogen, beträgt 0.0025 %

¹ Dies Archiv. Bd. XIII. S. 235.

(CO_2). Wenn man die betreffenden w -Werthe von den in Tab. XIV angeführten s -Werthen abzieht, erhält man denjenigen Antheil der CO_2 -Abgabe, welcher auf die eigentliche äussere Arbeit zu beziehen ist. Col. 6, Tab. XIV enthält diese Grösse auf 1 m-kg berechnet. Die betreffenden Zahlen stimmen mit dem Werthe v in Tab. XV.

Aus den von der Versuchsperson J. ausgeführten Versuchen hat es sich also erwiesen, dass bei der betreffenden Bewegung 1 m-kg äussere Arbeit $0.00383 \pm 0.00006^s \text{ CO}_2$ entspricht, n. b. wenn die Bewegung momentan verläuft.

Für die Versuchsperson K. ist die Grösse w nicht bestimmt worden. Wir können aber als einen annähernden Werth derselben den entsprechenden s -Werth aus den Versuchen mit statischer Muskelarbeit¹ annehmen. Auf diese Weise sind die in Col. 6, Tab. XIV angeführten Werthe für die Versuchsperson K. erhalten worden. Dieselben stimmen mit dem obigen Werthe für die Versuchsperson J. sehr gut überein.

Die Grösse t wächst proportional mit der Belastung. Wie wird dieselbe von der Höhe der Hebungen beeinflusst? In Tab. XVI werden diejenigen t -Werthe zusammengestellt, welche den s -Werthen der Tab. XV entsprechen.

Tabelle XVI.

Reihe	H m	A m-kg	t CO_2 g	$\frac{t}{A}$
8: a	0.1	2	0.0043	0.0022
9: a	0.2	4	0.0053	0.0013
5: b	0.4	8	0.0092	0.0011
6: b	0.5	10	0.0099	0.0010

Die t -Werthe wachsen offenbar mit der Höhe der Hebungen, stehen aber nicht in einem so einfachen Verhältniss zu der äusseren Arbeit, wie die entsprechenden s -Werthe. Die Homogenität des Ausdruckes $p = s + tZ$ setzt übrigens voraus, dass t nicht von derselben Dimension ist wie s . Wie weiter unten gezeigt werden soll, sind die t -Werthe ausser von der Belastung hauptsächlich von der Stellung der Arme während der Arbeit abhängig.

¹ *Dies Archiv.* Bd. XIII. S. 240. Reihe 4: f; $s = 0.0038$ für die Belastung 20 kg und $D = 0^{\text{cm}}$.

VI.

Wir wollen jetzt untersuchen, wie die s - und t -Werthe von der Anfangslage (D) beeinflusst werden. In Tab. XVII sind jene Werthe aus den Reihen 8—10 zusammengestellt worden. Die beiden Reihen 8 und 10 stimmen sehr gut. Der t -Werth aus der Reihe 10:c ist offenbar fehlerhaft und muss daher ausgeschlossen werden. Wie man a priori erwarten konnte, werden sowohl die s - wie die t -Werthe grösser, je mehr die Muskeln sich vor der Ausführung der äusseren Arbeit contrahiren müssen. Die Zunahme der s -Werthe wird doch erst bei der Anfangslage $D = 30$ cm recht deutlich. Die Zunahme der t -Werthe macht sich dagegen schon bei den niedrigen Contractionsgraden bemerkbar.

Tabelle XVII.

Der Einfluss der Anfangslage [D] auf die CO_2 -Abgabe bei positiver Muskelarbeit.

	<i>D</i> cm	<i>A</i> m-kg	<i>s</i> CO ₂ g		<i>t</i> CO ₂ g	
			Versuchsp. J.	Versuchsp. K.	Versuchsp. J.	Versuchsp. K.
Reihe 8 u. 10						
a	0	2	0.0123	0.0122	0.0043	0.0041
b	10	2	0.0124	0.0118	0.0068	0.0048
c	20	2	0.0130	0.0120	0.0068	—
d	30	2	0.0130	0.0130	0.0088	0.0062
e	40	2	0.0147	0.0153	0.0121	0.0112
Reihe 9						
a	0	4	0.0209	—	0.0053	—
b	20	4	0.0214	—	0.0082	—
c	30	4	0.0239	—	0.0111	—

Es wäre von Interesse zu untersuchen, ob die CO_2 -Abgabe für 1 m-kg äussere Arbeit, v , von dem Contractionsgrade der Muskeln, im Momente wo die äussere Arbeit anfängt, abhängig ist. Hierfür wäre es aber nothwendig, die entsprechenden Werthe der Grösse w zu kennen. Ausserdem sind die Zahlenwerthe in Tab. XVII nicht sicher genug. Die letzte Decimalstelle ist jedenfalls ziemlich unsicher. Soviel ist doch aus jenen Zahlen zu sehen, dass bei der Ausführung einer gewissen äusseren Arbeit mit den Beugern des Armes

wenigstens innerhalb der ersten 4 Fünftel des ganzen Bereiches der Bewegung, die Anfangsstellung der Arme die CO_2 -Abgabe sehr wenig beeinflusst, n. b. wenn die Bewegung schnell genug ausgeführt wird. Bei langsamen Bewegungen macht sich dagegen der Einfluss des Verkürzungsgrades der Muskeln sehr bemerkbar.

Wenn man die t -Werthe aus der Reihe 8 mit denjenigen aus der Reihe 9 zusammenstellt — Tab. XVIII — erweist sich ein bestimmter Zusammenhang zwischen der Grösse t und den verschiedenen Lagen, welche die Arme bei der betreffenden Bewegung successiv einnehmen.

Tabelle XVIII.

	Hebung		t
	von	bis	
Reihe 8: a.	0 ^{cm}	10 ^{cm}	0.0043 * CO_2
„ 8: b.	10	20	0.0068
Mittel	0	20	0.0055
Reihe 9: a.	0	20	0.0053
Reihe 8: c.	20	30	0.0068
„ 8: d.	30	40	0.0088
Mittel	20	40	0.0078
Reihe 9: b.	20	40	0.0082
Reihe 8: d.	30	40	0.0088
„ 8: e.	40	50	0.0121
Mittel	30	50	0.0105
Reihe 9: c.	30	50	0.0111
Reihe 8: a.	0	10	0.0043
„ b.	10	20	0.0068
„ c.	20	30	0.0068
„ d.	30	40	0.0088
„ e.	40	50	0.0121
Mittel	0	50	0.0078
Reihe 4 (6: b)	0	50	0.0099

Die t -Werthe aus der Reihe 9 stimmen offenbar sehr gut mit den entsprechenden Mitteln aus der Reihe 8. Die t -Werthe sind also nicht, wie die s -Werthe, auf die verrichtete äussere Arbeit zu beziehen, sondern nur von der Belastung und der Armstellung abhängig.

Bei den Reihen 5: b und 6: b stimmen die t -Werthe nicht mit den aus den Reihen 8 oder 9 berechneten Mitteln. Dieses Verhalten

scheint die oben ausgesprochene Schlussfolge zu vereiteln — dass die Grösse t für jede Lage des Schlittens, d. h. für die successiven Verkürzungsgrade der betreffenden Muskeln je einen bestimmten Werth hat. Es ist aber zu bemerken, dass bei einer Hebung von der Lage $D = 0^{\text{cm}}$ bis $D = 40^{\text{cm}}$ oder $D = 50^{\text{cm}}$ die Stellung der Hände im Verhältniss zu den Griffen des Schlittens sich nicht auf dieselbe Weise anpasst, wie bei den kürzeren Hebungen. Man behält während der Bewegung dieselbe Fassung der Griffe wie beim Anfang der Bewegung. Bei der Lage $D = 0^{\text{cm}}$ werden die Griffe nicht auf dieselbe Weise gefasst wie bei der Lage $D = 40^{\text{cm}}$. Im vorigen Falle werden die Griffe hauptsächlich von den Fingern, im letzteren dagegen von der ganzen Hohlhand umfasst. Bei einer Hebung von $D = 0^{\text{cm}}$ bis $D = 50^{\text{cm}}$ wird die Fassung der Griffe gegen das Ende der Bewegung ungünstiger als im Anfang. Wenn man während der Bewegung die Fassung der Griffe ändert, wird eine Frictionsarbeit verrichtet. Die Abweichung der t -Werthe bei den Reihen 6: b und 5: b von den aus den Reihen 8 und 9 berechneten Mitteln kann also gut erklärt werden.

Aus dem oben Gesagten geht es hervor, dass die Grösse t dieselbe Bedeutung hat bei den Versuchen mit positiver Muskelarbeit, wie bei denjenigen mit negativen. Tab. XIX enthält eine Zusammenstellung jener t -Werthe und der entsprechenden Werthe, welche aus den Versuchen mit statischer und negativer Muskelarbeit berechnet worden sind.¹

Tabelle XIX.

Hebung oder Senkung von bis oder umgekehrt		t CO ₂ % in 1 Sec. bei der Belastung $P = 20^{\text{kg}}$		
		bei Hebung	bei Senkung	berechnet aus den Versuchen mit stat. Arbeit
$D = 0^{\text{cm}}$	$D = 10^{\text{cm}}$	0.0043	—	0.0028
$D = 0$	$D = 20$	0.0053	0.0034	0.0032
$D = 0$	$D = 40$	0.0092	0.0052	0.0046
$D = 0$	$D = 50$	0.0099	0.0049	0.0057
$D = 10$	$D = 20$	0.0068		0.0037
$D = 20$	$D = 30$	0.0068		0.0051
$D = 30$	$D = 40$	0.0088		0.0070
$D = 40$	$D = 50$	0.0121		0.0102

¹ Dies Archiv. Bd. XIII. S. 237. 244 u. 245.

Die t -Werthe bei negativer und statischer Arbeit stimmen mit einander. Diejenigen bei positiver Arbeit sind dagegen entschieden grösser.

Es hat sich also erwiesen, dass die CO_2 -Abgabe bei positiver Muskelthätigkeit, ausser von der Grösse der geleisteten äusseren Arbeit, auch von der Ausgangslage und der Dauer der betreffenden Bewegung abhängt. Der Einfluss der Dauer ist grösser, als dies dem Beibehalten des betreffenden Verkürzungsgrades der Muskeln in den successiv auf einander folgenden Abschnitten der Bewegung entspricht.