

(Aus der Abteilung für Arbeitsphysiologie [Vorsteher: Dr. E. Simonson] des Sozialhygienischen Untersuchungsamtes Frankfurt a. M. [Leiter: Med.-Rat Dr. L. Ascher].)

Rationalisierung industrieller Arbeit nach physiologischen Gesichtspunkten.

Zweite Mitteilung:

Über die Erholung während und nach beendeter Arbeit und das Verhalten des calorischen Ventilationsquotienten und des respiratorischen Quotienten beim Formen und seinen Elementen.

Von

Ernst Simonson.

(Ausgeführt mit Hilfe der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft und der Allgemeinen Ortskrankenkasse Frankfurt a. M.)

(Eingegangen am 12. Dezember 1928.)

V. Erholung nach beendeter Arbeit.

Es wurde eingangs dieser Arbeit darauf hingewiesen, daß nicht nur der Energieverbrauch, von dem bisher ausschließlich die Rede war, sondern auch die Erholungsgeschwindigkeit nach und vor allem während der Arbeit von Bedeutung für die arbeitsphysiologische Beurteilung eines Arbeitsvorganges ist.

Die Erholungsgeschwindigkeit nach einer Arbeit hängt, wie aus früheren Untersuchungen des Verfassers¹ hervorgeht, vorwiegend von der Zeitdauer der Arbeit, zum geringeren Teil von der Größe des Erholungsrückstandes (oxygen-debt) im negativen Sinne ab. Dieser Einfluß ließ sich mit Wahrscheinlichkeit auf ein Überwiegen der ins Blut diffundierten Milchsäure zurückführen. Aus neueren, bisher noch unveröffentlichten Versuchsreihen an 25 Versuchspersonen geht weiter hervor, daß auch vorangegangene Arbeit die Erholungsgeschwindigkeit beeinflußt. Die Versuche wurden derart angestellt, daß zuerst die Erholungsgeschwindigkeit nach Ausführung von 30 Kniebeugen gemessen wurde: Nach völlig beendeter Erholung, d. h. Rückkehr des Sauerstoffverbrauchs zum Ruhenniveau, wurde noch einmal die gleiche Arbeitsleistung wiederholt und ebenfalls hierbei die Erholungsgeschwindigkeit festgestellt. Es zeigte sich nun, daß in der überwiegenden Zahl der Fälle die Erholung nach der zweiten Kniebeugenfolge rascher als nach der ersten verlief. Wahrscheinlich beruht dies darauf, daß die Blutcapillaren, die

¹ Simonson, l. c., S. 507.

sich bei der ersten Kniebeugenfolge öffnen, mit der Beendigung der Erholung (Absinken des Sauerstoffverbrauchs auf den Ruhewert) noch nicht völlig geschlossen haben, so daß die zweite Arbeitsfolge auf günstigere Restitutionsbedingungen stößt. Die Versuche wurden vorwiegend an Jugendlichen vorgenommen. Die Restitutionsgeschwindigkeit (Rk) nach der ersten Kniebeugenfolge betrug im Durchschnitt 0,52, nach der zweiten 0,58.

Auch die Anzahl der zur Arbeitsleistung herangezogenen Muskeln scheint von Bedeutung für die Restitution zu sein: Aus neueren, gleichfalls noch nicht publizierten Untersuchungen an 15 Vpn. geht hervor, daß bei gleicher Zeitdauer der Arbeitsleistung und gleichem Erholungsrückstand nach horizontalem doppelarmigen Zug die Restitution langsamer verläuft als nach Kniebeugen. Bei der Beurteilung der Erholungsgeschwindigkeit nach industrieller Arbeit werden jedenfalls die ebenerwähnten Grundfaktoren zu berücksichtigen sein.

Zur zahlenmäßigen Beurteilung des Erholungsvermögens hat Verfasser eine Methode mitgeteilt¹, die auf der *Hillschen* Beobachtung fußt, daß der Sauerstoffverbrauch nach beendeter Arbeit in Form einer Exponentialkurve absinkt. Es wird nun nicht, wie bei *Hill*, das Absinken des momentanen Sauerstoffverbrauchs der Berechnung zugrunde gelegt, sondern das Absinken des experimentell viel leichter bestimmbareren Erholungsrückstandes, welches prinzipiell den gleichen Kurvenverlauf aufweist. Die Formel selbst, nach der das Erholungsvermögen als „Restitutionskonstante“ (= Rk) berechnet wird, lautet

$$Rk = \frac{1}{t} \ln \frac{\text{Cal. } A}{\text{Cal. } t},$$

wobei $\text{Cal. } A$ den gesamten Erholungsrückstand, $\text{Cal. } t$ den nach t Minuten noch nicht beseitigten Rest des Erholungsrückstandes bezeichnet. Zur Berechnung des Erholungsvermögens ist es also nur notwendig, den Erholungsversuch in 2 Perioden zu unterteilen, wobei in unseren Versuchen die Unterteilung zum Zeitpunkt $t = 3$ Minuten nach beendeter Arbeit gewählt wurde. Der Versuch wurde solange ausgedehnt, bis die Atmung wieder zum Ruhenniveau zurückgekehrt war. Fast immer hat dann auch der Sauerstoffverbrauch wieder den Ruhewert erreicht oder die Erhöhung ist so geringfügig, daß am Gesamtergebnis nichts Wesentliches geändert wird, wenn der letzte Erholungsrest der Mitbestimmung entgeht. Der in den Versuchen festgestellte Gesamtenergieverbrauch bei der Arbeit setzt sich also aus 3 Bestimmungen zusammen: 1. dem Mehrverbrauch während der Arbeitsleistung selbst, 2. dem Mehrverbrauch während der 3 Erholungsminuten und 3. dem Mehrverbrauch während der weiteren (6—9) Erholungsminuten.

1. Beim Formen.

Zuerst sei über die Erholung nach dem Gesamtarbeitsprozeß des Formens berichtet; die Versuche am gleichen Tage sind hierbei in der Reihenfolge geordnet, in welcher die Versuche aneinander angeschlossen wurden. Die Versuchsergebnisse sind in Tab. I zusammengestellt.

¹ *Simonson*, l. c., S. 507.

Tabelle 1.

Datum	Arbeits- typ	Reihen- folge	Arbeits- dauer Minuten	Erholungs- Rückstand (Cal. A)	Cal. t	Rk
19. III.	I	1	14,17	3745	140	1,09
	II	2	13,5	8310	3230	0,32
	III	3	14,46	8200	3635	0,27
20. III.	III	1	13,83	7190	2110	0,41
	II	2	10,45	8775	2995	0,36
	I	3	11,27	6200	2405	0,32
21. III.	III	1	17,0	6415	1525	0,48
	I	2	17,53	5065	1645	0,40
	II	3	14,67	6420	2675	0,29

(Der erste Versuch mit einer *Rk* von 1,09 und einem Erholungsrückstand von 3745 Calorien fällt aus der üblichen Größenordnung heraus.) Als wesentlichstes und interessantes Ergebnis folgt aus der angeführten Versuchsreihe, daß das Erholungsvermögen, ganz gleichgültig in welcher Reihenfolge die 3 verschiedenen Arbeitstypen untersucht wurden, bei jedem nachfolgenden Versuch niedriger liegt als bei dem vorhergehenden. Eine verschiedene Versuchsdauer und — bis auf den ersten Versuch am 19. III. Arbeitstyp I — ein verschieden hoher Erholungsrückstand ist als Ursache auszuschließen.

Es wurde eingangs darauf hingewiesen, daß der nächstfolgende Versuch an den vorhergehenden nicht sofort angeschlossen wurde, wenn die Atmung und damit der Sauerstoffverbrauch wieder zur Ruhe zurückgekehrt waren, sondern es wurde noch außerdem eine Ruhepause von 20—25 Minuten dazwischen geschaltet; es besteht also die absolute Sicherheit, daß Sauerstoffverbrauch, Kohlensäureausscheidung und Ventilation vor Anstellung des nächstfolgenden Versuches längst das Ruheneiveau erreicht hatten. Aus den Versuchsergebnissen geht demnach hervor, daß noch ein restitutionshemmender Einfluß vorausgegangener Arbeit trotz völliger Milchsäurebeseitigung nachweisbar ist.

Dieses Verhalten steht in einem gewissen Widerspruch zu dem bei der Arbeit des Kniebeugens an jugendlichen Vpn. beobachteten, bei denen gewöhnlich die zweite Kniebeugenfolge mit einer erhöhten Restitutionsgeschwindigkeit einherging. Als Erklärung dieser Abweichung können herangezogen werden: 1. der verschiedene Typ der Arbeitsform; 2. die wesentlich längere Dauer der Arbeitsleistung: bei Kniebeugen nur 1 Minute, hier 10,45—17 Minuten; 3. das höhere Alter der Vpn. (50 Jahre). Die Deutung dieser Befunde dürfte am ehesten möglich sein auf Grund der interessanten Befunde von *Embden* und seinen Mitarbeitern *Jost* und *Schmidt*¹, die am Muskelbrei von ermüdeten Muskeln eine vermin-

¹ *Embden* und *Jost*, Hoppe-Seylers Z. **165**, 224 (1927). — *Schmidt*, Z. Arbeitsphysiol. **1**, 136 (1928).

derte Synthesefähigkeit zu Lactacidogen feststellten und dies auf eingetretene kolloidchemische Veränderungen (Alterungsprozesse) zurückführten. Schon *Embden* stellte hierbei eine interessante Parallele zwischen Ermüdung und Alter fest, und in diesem Zusammenhang gewinnt das höhere Alter unserer Versuchsperson an Interesse: Es erscheint demnach wahrscheinlich, daß bei körperlicher Arbeit 2 Vorgänge Platz greifen, die die Restitutionsgeschwindigkeit im entgegengesetzten Sinn beeinflussen, als fördernder Einfluß die Erweiterung der Blutkapillaren, als hemmender Einfluß kolloidchemische Änderungen, die aber erst bei länger fortgesetzter Arbeit überwiegen. Nach den *Embdenschen* Untersuchungen ist es nun sehr wahrscheinlich, daß die im Sinne einer verminderten Leistungsfähigkeit wirksamen kolloidchemischen Änderungen bei älteren Versuchspersonen eher und vielleicht intensiver auftreten als bei jüngeren. Vielleicht spielt auch der Umstand mit, daß, wie in der Einleitung diskutiert, die jahrelange einseitige Tätigkeit zu einer Art „Abnutzung“ geführt hat, die sich praktisch im Sinken der Lohnkurve äußert und möglicherweise durch die Disposition zum Eintreten kolloidaler Änderungen des Muskelzustandes im Sinne von *Embden* bedingt ist. Jedenfalls hat ein Nachweis derartiger Vorgänge am ganzen Menschen nicht nur ein großes arbeitsphysiologisches, sondern auch ein allgemein biologisches Interesse, so daß versucht werden soll, an einem größeren Material diese Frage weiter zu verfolgen.

Das regelmäßige Absinken der Erholungsgeschwindigkeit mit der Reihenfolge der Versuche erschwert einen direkten Vergleich der Restitution bei den 3 verschiedenen Arbeitstypen. Ein solcher ist nur möglich, wenn die 3 verschiedenen Arbeitstypen in der gleichen Reihenfolge verglichen werden, in der die Versuche angestellt wurden (Tab. 2).

Tabelle 2. Höhe der Rk bei den 3 verschiedenen Arbeitstypen.

Reihenfolge der Versuche	Arbeitstyp		
	I	II	III
1	(1,09)	—	0,41 0,48
2	0,40	0,32 0,36	—
3	0,32	0,29	0,27

Am vollkommensten ist der Vergleich bei den als dritten Versuchen angestellten, weil hierbei sämtliche Arbeitstypen untersucht wurden; obwohl die Unterschiede nicht groß sind, scheint doch hinsichtlich des Erholungsvermögens nach beendeter Arbeit Arbeitstyp I am günstigsten, Arbeitstyp III am ungünstigsten zu sein. Die übrigen Versuche liegen in gleichsinniger Richtung; bei den als ersten angestellten ergibt sich eine Überlegenheit des Arbeitstyps I über III, bei den als zweiten angestellten eine Überlegenheit des Arbeitstyps I über II. Diese Verhältnisse sind wichtig bei der Bemessung der Arbeitspausen; es scheint danach, daß Arbeitstyp III die längsten, Arbeitstyp I die kürzesten Pausen erfordert.

An 3 Tagen wurden die Versuche nach 4stündiger Arbeitszeit vorgenommen. Die Bestimmung des Erholungsvermögens ist hier schwieriger, weil der Ruhewert schwerer zu bestimmen ist; die derart erhaltenen *Rk* sind wahrscheinlich etwas zu hoch gestimmt. Das Ergebnis dieser Versuche zeigt Tab. 3.

Tabelle 3.

Arbeitstyp	Datum	Reihenfolge	Arbeitsdauer Minuten	Erholungs- rückstand Cal. A	<i>Rk</i>
I.	29. III.	1	11,83	4770	< 0,53
II.	28. III.	1	12,45	8110	< 0,38
III.	27. III.	1	13,25	7865	< 0,38

Ein Vergleich mit den vorhergehenden Versuchen ist nur bei Arbeitstyp I und III möglich, da bei Arbeitstyp II kein Versuch als erster abgenommen wurde. Es ergibt sich bei Versuchen gegenüber den am Morgen als zuerst angestellten Versuchen eine Erniedrigung der Erholungsgeschwindigkeit, nicht aber gegenüber denen am Morgen als dritten Versuchen angestellten, obwohl man bei vorausgegangener 4stündiger Arbeitszeit eher noch niedrigere *Rk*-Werte erwarten sollte. Jedoch wurde bereits darauf hingewiesen, daß im Respirationsversuch intensiver (um 50%) gearbeitet wurde als im Vergleich zu der üblichen Tagesleistung. Hierfür kommen folgende Erklärungen in Frage: Fortfall unfreiwilliger (Materialzufuhr, Gänge usw.) wie freiwilliger Arbeitspausen, ganz abgesehen von der offiziellen Frühstückspause; vielleicht insofern auch eine gewisse psychologische Beeinflussung, als der Arbeiter unter fortgesetzter Beobachtung stand und vielleicht dadurch unwillkürlich eifriger arbeitete (Auftreten eines gewissen „Ehrgeizes“); auch sei nochmals darauf hingewiesen, daß die um 11 Uhr ermittelten *Rk* wahrscheinlich zu hoch liegen. Es scheint aber aus den Versuchen hervorzugehen, daß die *Rk* nicht kontinuierlich mit der Arbeitsdauer weiter absinkt, sondern sich auf einer gewissen Höhe konstant hält.

2. Bei den einzelnen Arbeitselementen des Formens.

Bei den einzelnen untersuchten Arbeitselementen spielt die Reihenfolge, in der die Versuche abgenommen wurden, keine maßgebende Rolle, da am gleichen Tage immer sehr verschiedene Arbeitselemente (z. B. Zughebel, Schaufeln und Transport) verglichen wurden.

In der Übersichtstabelle 4 sind die Ergebnisse zusammengestellt.

Am günstigsten von allen Arbeitselementen verläuft die Erholung nach dem Schlagen; dies ist auch ohne weiteres verständlich, denn das Schlagen ist geradezu ein Beispiel reiner rhythmischer Bewegungsarbeit, und der statische Anteil, der infolge Kompression der Gefäße restitutionshemmend wirkt, ist beim Schlagen sehr geringfügig. Auch die Erholungsgeschwindigkeit nach dem Stampfen ist relativ hoch, obwohl der statische Anteil (Halten des Stempels) hier sicherlich viel größer ist. Jedoch wechselte der Arbeiter bei Ausführung des Versuchs mehrmals die Arme, so daß sehr wahrscheinlich beim Durchhalten der 5 Arbeitsminuten mit einer Hand die Erholungsgeschwindigkeit erheblich ungünstiger wäre.

Tabelle 4.

Datum 1928	Arbeitstyp	Reihen- folge	Arb.- Dauer Min.	Erholungstuck- stand		Rk
				Cal. A	Cal. t	
22. III.	Schlagen	1	5,0	3215	—	1,5
24. III.	„	3	5,0	3345	—	1,5
22. III.	Stampfen	2	5,0	4445	710	0,61
22. III.	Schaufeln	3	5,0	4880	700	0,64
23. III.	„	2	5,0	5365	1035	0,54
23. III.	Transport voll	3	7,0	5500	1045	0,59
24. III.	„ „	1	5,0	4645	1085	0,48
23. III.	Zughebelpresse	1	5,0	4285	890	0,52
24. III.	Hochhebeln des Rahmen	2	3,0	3995	750	0,56
30. III.	Schwenken der hydraul. Presse	1	5,0	1600	335	0,52
30. III.	Transport leerer Rahmen	3	5,0	2380	500	0,52
(30. III.	Abstreichen	2	7,0	8480	2020	0,48)
2. IV.	b. III	3	10,87	4310	800	0,56
3. IV.	b. II Stab II	3	10,12	2620	553	0,52
3. IV.	„ I	4	12,58	4255	1290	0,42

Die übrigen Arbeitselemente unterscheiden sich hinsichtlich der Erholungsgeschwindigkeit nach beendeter Arbeitsleistung nicht wesentlich voneinander. Zur Beurteilung der *Rk* beim Transport sei darauf hingewiesen, daß Leerbewegungen hinzukamen (nur die Hälfte des Gesamtweges wurde unter Belastung zurückgelegt), die sicher von förderndem Einfluß auf die Erholungsgeschwindigkeit waren. Noch viel mehr gilt dies für das Abstreichen, welches von der gesamten Arbeitszeit ja nur einen sehr geringen Bruchteil in Anspruch nimmt; und die relativ großen und häufigen Zwischenpausen, bedingt durch das Warten auf Fertigstellung der Kästen, kamen sicher einer Erholungsförderung zugute. Demnach liegen sehr wahrscheinlich bei der reinen Arbeit des Abstreichens die *Rk* tiefer. Bei den als „viertem“ Versuch angestellten, in Tab. 4 als letztem wiedergegebenen, beruht vielleicht der niedrige Wert der *Rk* auf dem im vorhergehenden diskutierten Erschöpfungsprozeß im *Embdenschen* Sinne.

Im Zusammenhang mit den erörterten Ergebnissen ist es von Interesse, wieweit das Fortlassen eines als anstrengend gefundenen Arbeitselementes, vorzugsweise des Schaufelns, das Erholungsvermögen beim Formen beeinflusst. Ein derartiger Vergleich wurde durchgeführt am 27. und 28. III., denselben Versuchen, die nach 4stündiger Arbeitszeit vorgenommen wurden. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß in diesen Versuchen wegen der schwierigeren Bestimmung des Ruhewertes die *Rk*, absolut genommen, etwas zu hoch bestimmt ist, jedoch ist ein Vergleich der an diesem Tage vorgenommenen Versuche untereinander durchaus exakt, da ja beide Male von den gleichen Ruhewerten ausgegangen wurde (s. Tab. 5).

Tabelle 5.

Datum	Arbeitstyp	Arbeitsdauer Minuten	Erholungs- rückstand Cal. A	Rk
27. III.	III a	13,25	7865	0,38
	III b	8,5	5320	0,4
28. III.	II a	12,45	8110	0,38
	II b	10,87	7265	0,49

Während sonst beim Formen (vgl. Tab. 1) der nächstfolgende Versuch mit einer immer niedrigeren Erholungsgeschwindigkeit einhergeht, liegt bei Fortfall des Schaufelns die *Rk* im zweiten Versuch gleich oder sogar höher als beim ersten. Der Fortfall des Schaufelns wirkt also nicht nur hinsichtlich der Ersparnis des Energieverbrauchs günstig, sondern auch hinsichtlich der Gestaltung der Erholungspausen.

VI. Erholung während der Arbeit.

1. Beim Formen.

Für die Bewertung der Zuträglichkeit industrieller Arbeitstypen ist auch die Kenntnis der Erholung *während* der Arbeit sehr wesentlich. Dies liegt darin begründet, daß die Arbeitsbewegungen selbst, wie aus früheren Untersuchungen des Verfassers hervorgeht, von maßgebendem Einfluß auf die Restitutionsgeschwindigkeit sind. Die Ursache des Einflusses der Bewegungen müssen wir, auf Grund der Versuche von *Atzler* und *Herbst*¹, vor allem in der Veränderung des Blutumlaufs sehen; bei statischer Arbeit tritt, im Gegensatz zu dynamischer, durch Kompression der Blutgefäße eine Behinderung des Kreislaufs und damit eine Restitutionsverschlechterung ein. Ein Vergleich der Restitutionsgeschwindigkeit während (*Rk'*) und nach der Arbeit (*Rk*) gibt daher die Möglichkeit zur Beurteilung der Ausführungsart der Arbeit; und zwar ist eine Ausführungsart um so günstiger zu beurteilen, je höher die *Rk'* liegt. Beim Vergleich der Höhe zwischen *Rk'* und *Rk* ist zu berücksichtigen, daß die *Rk* selbst exponential ansteigt, also ein linearer Vergleich nicht möglich ist. Es sei hier verwiesen auf Tab. 3 in *Pflügers Archiv* 215, 724 (1927).

Die Erholung während der Arbeit selbst (*Rk'*) verläuft, wenn man die Milchsäurebildung als linear und die Milchsäurebeseitigung nach *Hill* als exponentialen Vorgang voraussetzt, nach folgender Gesetzmäßigkeit (*Simonson* l. c.):

$$c = \frac{K}{Rk'} (1 - e^{-Rk' \cdot t});$$

wobei *c* den Erholungsrückstand (= Calorien A) und *K* die Milchsäurebildung pro Minute (in Calorien ausgedrückt) bedeutet. Ein Vergleich

¹ *Atzler* und *Herbst*, Z. exper. Med. 38, 137 (1923).

der Erholungsgeschwindigkeit während und nach der Arbeit, aus dem der Einfluß der Bewegungen auf den Erholungsvorgang hervorgeht, ist einmal derart möglich, daß man den Wert des Erholungsrückstandes zur Zeit t , wie er sich aus der Berechnungsformel ergibt, mit dem im Versuch tatsächlich ermittelten Erholungsrückstand (Calorien A) vergleicht. Bei einem günstigen Bewegungsablauf muß dann der berechnete Wert des Erholungsrückstandes unter dem gefundenen liegen. Hierbei ist aber nur dann ein Vergleich der Differenz zwischen berechnetem und gefundenem Erholungsrückstand bei verschiedenen Versuchen möglich, wenn die Arbeitsdauer die gleiche war. Ein Vergleich der Rk' und der Rk dagegen ist unabhängig von einem Zeitfaktor, und deshalb verdient die Angabe der Erholungsgeschwindigkeit während der Arbeit als Rk' den Vorzug.

Eine Ermittlung der Rk' ist möglich durch eine vom Verfasser angegebene relativ einfache Interpolationsmethode. Die Bestimmung der Rk' gestaltet sich jedoch noch wesentlich einfacher beim Bestehen eines steady state (Gleichgewicht zwischen Milchsäurebildung und -beseitigung). Bei jeder Arbeit, die längere Zeit durchgehalten werden kann, muß das Bestehen eines steady state angenommen werden, d. h. vorzugsweise bei industriellen Arbeitstypen, die gerade Gegenstand vorliegender Untersuchungen waren. Die oben angegebene Formel strebt nun mit wachsender Zeit dem Werte $c = \frac{K}{Rk'}$ asymptotisch zu. Man

wird sich hier, wie in allen ähnlichen Fällen üblich, mit einer praktischen Annäherung an diesen Wert begnügen, z. B. mit 95%. Dieser Wert besagt aber, daß Milchsäurebildung und -beseitigung im Gleichgewicht stehen. Auf Grund früher angestellter Berechnungen des Verfassers kann angenommen werden, daß etwa 8—12 Minuten nach Arbeitsbeginn dieser Endwert mit großer Wahrscheinlichkeit erreicht ist. Da c (= Calorien A , Erholungsrückstand) und K (totaler Mehrverbrauch bei Arbeit plus Erholung) bekannt ist, kann Rk' leicht bestimmt werden.

Es sei an dieser Stelle noch auf eine in letzter Zeit von klinischer Seite häufiger vorgenommene Darstellungsweise der Erholungsgeschwindigkeit hingewiesen, die möglicherweise zu Fehlergebnissen führen kann. Es wird hier der Erholungsrückstand (oxygen debt) in Prozent des Gesamtverbrauches (Arbeit plus Erholung) angegeben ohne Berücksichtigung des Zeitfaktors. Aus der Angabe des Prozentanteils des Erholungsrückstandes wird dann versucht, auf konstitutionelle Eigenarten der Vp. Rückschlüsse zu ziehen. Bei einer derartigen Angabe lassen sich ohne Berücksichtigung der Arbeitsdauer keine sicheren Anhaltspunkte über die Erholungsgeschwindigkeit finden, gleichviel um welchen Typ körperlicher Arbeit es sich handelt. Bei schwerer Arbeit oder auch bei mäßiger vor Erreichung des steady state verschiebt sich der Prozentanteil des Erholungsrückstandes am Gesamtarbeitsverbrauch derart, daß mit wachsender Zeit, d. h. auch mit wachsender Arbeitsgröße, der Prozentanteil des Erholungsrückstandes am Gesamtverbrauch kleiner wird. Dieser zuerst verblüffende Befund liegt in der Eigenart des

Kurvenverlaufs der O₂-Aufnahme begründet (vgl. Simonson, Pflügers Arch. 215, 738, Abb. 3 [1927]). Beim *steady state*, bei welchem definitionsgemäß sich der Erholungsrückstand mit Fortdauer der Arbeit nicht mehr ändert, wird der Prozentanteil am Gesamtverbrauch ebenfalls um so geringer, je mehr die Arbeitsdauer beträgt. Die Verschiebung des Prozentanteils ist dabei naturgemäß außerordentlich groß. Beträgt z. B. bei einer Milchsäurebildung von 8000 Calorien pro Minute der Erholungsrückstand nach 6 Minuten 6000 Calorien, so beträgt der Anteil am Gesamtverbrauch von 48000 Calorien 12,5%; bei Annahme eines *steady state* ist nach 12 Minuten der Erholungsrückstand ebenfalls nur 6000 Calorien, bei einem Gesamtverbrauch von 96000 Calorien also nur 6,25%, obwohl die Erholungsverhältnisse absolut die gleichen geblieben sind. Eine vergleichende Angabe des Erholungsvermögens als Prozentanteil am Gesamtarbeitsverbrauch, wie sie aus Gründen der Einfachheit ja auch durchaus zweckmäßig ist, kann also beim Vorhandensein eines *steady state* nur dann erfolgen, wenn der Gesamtverbrauch auf gleiche Zeit (z. B. eine Arbeitsdauer von 10 Minuten) umgerechnet wird.

In Tab. 6a sind die Werte der *Rk* und *Rk'* bei den verschiedenen Arbeitstypen des Formens miteinander verglichen; ferner ist der Erholungsrückstand im Prozentanteil des auf 10 Minuten umgerechneten Gesamtmehrverbrauchs ausgedrückt. Die beiden Angaben stellen demgemäß reziproke Werte dar. Ferner ist in Tab. 6a noch die *Rk'* nach 4stündiger Arbeitszeit und beim Formen unter Fortfall des Schaufelns wiedergegeben.

Tabelle 6a.

Arbeitstyp	Reihenfolge	Datum 1928	Cal.-Verbrauch pro 10 Min.	Erholung absolut	Rückst. am Gesamtverbr. %	Rk	<i>Rk'</i> (= <i>Rk</i> ⁻¹)
I.	1	19. III.	40 490	3745	9,25	1,09	1,20
I.	3	20. III.	41 000	6200	15,10	0,32	0,66
I.	2	21. III.	47 500	5065	10,65	0,48	0,94
				M.W.:	11,67	0,63	0,93
II.	2	19. III.	51 100	8310	16,26	0,32	0,615
II.	2	20. III.	55 150	8775	15,90	0,36	0,63
II.	3	21. III.	51 550	6420	12,42	0,29	0,80
				M.W.:	14,86	0,32	0,68
III.	3	19. III.	56 400	8200	14,52	0,27	0,69
III.	1	20. III.	51 990	7190	15,70	0,41	0,72
III.	1	21. III.	46 400	6415	13,72	0,84	0,72
				M.W.:	13,98	0,39	0,71
I. 11 Uhr	1	29. III.	41 800	4770	11,39	0,53	0,88
II. 11 „	1a	28. III.	63 550	8110	12,74	<0,38	0,78
II. 11 „	2b	28. III.	55 700	7265	13,02	<0,49	0,77
III. 11 Uhr	1a	27. III.	61 100	7865	12,86	<0,38	0,78
III. 11 „	2b	27. III.	46 800	5320	11,34	<0,40	0,88
I } ohne Schaufeln	3	26. III.	40 250	4920	12,21	0,37	0,82
II } ohne Schaufeln	2	26. III.	48 850	4845	9,92	1,20	1,01
III }	1	26. III.	49 230	5610	11,40	0,80	1,19

(a = mit Schaufeln; b = ohne Schaufeln.)

Tabelle 6b.

Arbeitstyp	Reihenfolge	Datum 1928	Cal.-Verbrauch pro 10 Min.	Erholung absolut	Rückst. am Gesamtverbr. %	Rk	Rk' (= K/c)
Schlagen	1	22. III.	37290	3215	8,62	>1,5	1,16
„	3	24. III.	42250	3345	7,93	>1,5	1,26
Stampfen	2	22. III.	34690	4415	12,72	0,61	0,79
Schaufeln	3	22. III.	54710	4880	8,94	0,64	1,12
„	2	23. III.	58400	5365	9,21	0,54	1,09
Zughebel	1	23. III.	41450	4285	10,36	0,52	0,97
Hochhebeln	2	24. III.	44050	3995	9,07	0,69	1,11
Transport voll.	1	24. III.	32950	4645	14,10	0,48	0,71
(„ leer.	3	30. III.	29280	2380	8,14	0,52	1,28
(Schwenken	2	30. III.	28420	1600	5,68	0,52	1,50
(Abstreichen b. III	3	2. IV.	[157800]	4310	—	—	—)
(„ b. II	3	3. IV.	[129400]	2620	—	—	—)
(„ b. II	4	3. IV.	[124700]	4255	—	—	—)

Bei der Aufstellung der Formel zur Berechnung der Rk' wurde seinerzeit von der Voraussetzung ausgegangen, daß die Milchsäurebildung linear zur Zeit verläuft. Diese Voraussetzung trifft für die damals untersuchte rhythmische Arbeit des Gewichthebens auch einigermaßen zu, es konnte jedenfalls gezeigt werden, daß die Differenzen der Milchsäurebildung zwischen Heben und Senken des Gewichts nur eine unwesentliche Rolle spielen können und — im mathematischen Sinne — als Schwingungen von geringfügiger Amplitude um eine Gerade imponieren. Es bleibt aber zu diskutieren, ob bei der Arbeit des Formens, in der sich die verschiedensten Arbeitselemente ablösen, noch eine Berechnung der Erholungsgeschwindigkeit während der Arbeit (Rk') möglich ist. Zweifellos kann hier von einer linearen Milchsäurebildungsgeschwindigkeit nicht die Rede sein. Jedoch ist anzunehmen, daß im steady state, der ja schon der Berechnung gemäß einen Mittelwert sämtlicher einzelner Arbeitselemente darstellt, sich die Unterschiede einigermaßen ausgleichen, so daß der Erholungsrückstand beim Formen, der ja ebenfalls als Mittelwert sämtlicher einzelner Arbeitselemente resultiert, direkt mit dem Mittelwert der Milchsäurebildung verglichen werden kann. Es muß daher die Rk' jedenfalls einen angenäherten Durchschnittswert der Milchsäurebeseitigungsgeschwindigkeit während des Formens darstellen. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache und des exponentialen Verlaufs der Rk bzw. Rk' stimmen die Werte der Rk' durchaus befriedigend überein.

Als eindeutigstes Ergebnis folgt aus Tab. 6a, daß in allen Fällen (mit einer Ausnahme) die Rk' über der Rk liegt; auch hieraus erhellt wieder der restitutionfördernde Einfluß der Bewegung. Im allgemeinen scheint eine gesetzmäßige Beziehung zwischen der Höhe der Rk und der Rk' zu bestehen, d. h. hohen Rk' entsprechen für gewöhnlich auch hohe Rk . Bei Zusammenstellung der Werte der Rk und der zugehörigen Rk' in 4 Durchschnittsgruppen zu je 4—5 Werten ergibt sich folgende Beziehung (s. Tab. 7).

Tabelle 7.

<i>Rk</i>	<i>Rk'</i>
0,91	1,07
0,47	0,80
0,38	0,81
0,33	0,68

d. h. besonders bei den beiden Extremgruppen eine deutliche Beziehung zwischen der Höhe der *Rk* und der *Rk'*. Hieraus würde die sehr bedeutungsvolle Tatsache hervorgehen, daß die *Restitutionsbedingungen während der Arbeit selbst (d. h. hauptsächlich der Bewegungsablauf) von Einfluß sind auch auf die Restitutionsbedingungen nach der Arbeit*. Die Gründe hierfür sind auch durchaus leicht einzusehen, denn als begünstigender Faktor der Bewegung kommen in Frage Förderung des Kreislaufs und hierdurch Verteilung der Milchsäure auf größere Muskelflächen zur oxydativen Beseitigung. Daß ein derartiger Faktor auch nach Aufhören der Bewegung wirksam sein kann oder sogar sein muß, unterliegt keinem Zweifel.

Es folgt weiter aus Tab. 6a, daß durchschnittlich die *Rk'* bei Arbeitstyp I höher liegt als bei Arbeitstyp II und III, die innerhalb der Fehlergrenzen eine gleich hohe *Rk'* aufweisen. Hinsichtlich des Bewegungsablaufes erscheint demnach Arbeitsform I als günstigste vermutlich deshalb, weil das Hervortreten weniger intensiver Arbeitselemente die Restitution der anstrengenderen Arbeitselemente begünstigt. Hierfür spricht auch der hohe Wert der *Rk'* bei Arbeitstyp II am 21. III., wobei die Arbeitsintensität, wie erinnerlich (cf. S. 521) wesentlich herabgesetzt war. Die Reihenfolge der Versuche ist, nach dem Datum des gleichen Tages geordnet, ohne Einfluß auf die Höhe der *Rk'* (abgesehen von den Versuchen am 26. III.), während bei Anordnung nach dem Arbeitstyp — wenn man von dem eben diskutierten herausfallenden Wert des Arbeitstyp II vom 21. III. absieht — ein gewisser Einfluß (besonders bei Arbeitstyp I) vorzuliegen scheint. Auf jeden Fall kann aber gesagt werden, daß sich die Ausführungsart (Bewegungsablauf) der Arbeit als Folge der Reihenfolge der Versuche nicht wesentlich ändert. Hierfür spricht auch das Verhalten der *Rk'* bei den am 27.—29. III. um 11 Uhr, also nach 4stündiger Arbeitszeit angestellten Versuchen, bei denen die *Rk'* durchaus innerhalb der anderen Werte liegt.

Durch den Fortfall des Schaufelns wird die *Rk'* bei Arbeitstyp II am 28. III. (cf. S. 531) etwas erhöht, beim Arbeitstyp III am 27. III. nur in geringem Grade gesteigert, während die Werte der *Rk'* am 26. III. bei Arbeitstyp II und besonders III sehr hoch liegen. Es scheint also der Fortfall des Schaufelns begünstigend zu wirken, nicht nur auf die Erholungsgeschwindigkeit nach, sondern auch auf die während der Arbeit. Daß die Begünstigung bei Arbeitstyp III am stärksten zu sein scheint, entspricht durchaus der im vorhergehenden festgestellten Tatsache, daß bei Arbeitstyp III das Schaufeln eine viel wesentlichere Komponente darstellt.

2. Bei den einzelnen Arbeitselementen des Formens.

Während die Versuchsdauer der in Tab. 6a wiedergegebenen Versuche über 10 Minuten betrug, so daß man sicher sein konnte, es mit einem steady state zu tun zu haben, beträgt die Versuchsdauer bei Untersuchung der einzelnen Arbeitselemente fast durchweg nur 5 Minuten. In diesem Falle ist es noch nicht sicher, daß der steady state erreicht ist; deshalb sind die in Tab. 6b wiedergegebenen Rk' wohl untereinander, aber nicht mit den Werten der Tab. 6a vergleichbar. Die durchschnittlich etwas höhere Rk' in Tab. 6b beruht aller Wahrscheinlichkeit nach auf der kürzeren Arbeitsdauer.

Tab. 6b zeigt den Vergleich der Rk' bei den einzelnen Arbeitselementen. Die Beurteilung der Erholungsgeschwindigkeit bei einigen dieser Arbeitselemente stößt auf Schwierigkeiten, weil der Verlauf der Arbeitsleistung nicht kontinuierlich genug war. So fällt die Rk' beim Transport der leeren Rahmen deutlich heraus; wahrscheinlich beruht dies auf den relativ häufigen Versuchspausen. Die Vp. legte, wie oben erwähnt, den gleichen Weg abwechselnd mit und ohne Belastung zurück. Es ist offensichtlich, daß Pausen innerhalb der Arbeitsleistung die Erholung außerordentlich begünstigen, da in den Arbeitspausen ja wenig Milchsäure gebildet und viel beseitigt wird. Auch beim Transport der vollen Rahmen kommt der Weg ohne Belastung hinzu, spielt aber eine viel geringere Rolle als beim Transport der leeren Rahmen, da der Weg nur ein halb bis ein drittel so groß ist und außerdem die Belastung und damit der Energieverbrauch während des eigentlichen Transportes beträchtlich höher liegt. Beim Transport der vollen Rahmen im Vergleich zum Transport der leeren Rahmen stehen also einer gesteigerten Milchsäurebildung bis um die Hälfte verkürzte Transportpausen gegenüber. Immerhin dürfte auch die Rk' beim Transport der vollen Rahmen mit 0,71 noch zu hoch bestimmt sein.

Völlig unmöglich wird wegen der Notwendigkeit größerer Pausen innerhalb der Arbeitsleistung die Bestimmung der Rk' des Abstreichens. Es wurde bereits mehrmals darauf hingewiesen, daß beim Abstreichen durch das Warten auf die Fertigstellung der Kästen Arbeitspausen bedingt wurden. So wurden bei einem Versuch (Arbeitstyp III, 31. III.) in 7 Minuten 13 Kästen abgestrichen; die Arbeit des Abstreichens nimmt dabei nur 1,33 Minuten, also nur 19% der Gesamtarbeitszeit in Anspruch. Über vier Fünftel der Arbeitsdauer entfallen demnach auf Arbeitspausen. Noch ungünstiger liegen die Verhältnisse bei Arbeitstyp II, wo (am 2. IV.) in 10,12 Minuten 16 Kästen abgestrichen wurden, wobei auf die eigentliche Arbeit des Abstreichens nur 1,6 Minuten = 15,8% der gesamten Arbeitsdauer entfallen. Berücksichtigt man dies, so kann beim Abstreichen der gefundene Erholungsrückstand im wesentlichen nur durch die letzten beiden Abstreicheleistungen bedingt sein. Dann aber erscheint

in Anbetracht der Höhe des Erholungsrückstandes die Bewegung des Abstreichens hinsichtlich der Restitutionsbedingungen im Verhältnis zu sämtlichen übrigen Arbeitselementen außerordentlich ungünstig, wenn sich auch ein genauer zahlenmäßiger Vergleich nicht ziehen läßt. Dies ist auch insofern vollkommen erklärlich, als die statische Beanspruchung beim Abstreichen sicherlich sehr hoch ist. Wie im vorhergehenden ausgeführt, ist auch der Energieverbrauch beim Abstreichen sehr beträchtlich; werden die Verbrauchswerte auf die eigentliche Arbeitszeit, d. h. etwa ein Siebentel bis ein Fünftel der gesamten Arbeitsdauer, umgerechnet, so ergibt sich beim Abstreichen als Verbrauch pro Zeiteinheit (Min.) der im Verhältnis zu den anderen Arbeitselementen außerordentlich hohe Wert von etwa 15 780 Calorien, also das 2—3fache des Schaufelns. Bei anderen Formereibetrieben (vorzugsweise bei größeren Formen), bei denen das Abstreichen eine größere Rolle spielt als in der Fabrik von Bamberger, Leroi & Co., wird daher sowohl wegen des ungünstigen Erholungsverlaufes wie wegen des hohen Energieverbrauchs die Beseitigung des Abstreichens noch dringender sein als die des Schaufelns.

Auch das Schwenken der hydraulischen Presse fällt mit einer Rk' von 1,5 aus dem Rahmen der übrigen Werte heraus. Möglicherweise beruht dies darauf, daß die Fehlergrenze der Methodik um so größer ist, je kleiner der Erholungsrückstand erhalten wird. Tatsächlich liegt nun der Erholungsrückstand beim Schwenken beträchtlich unter dem bei den übrigen Arbeitselementen. Auf eine Wiederholung des Versuches verzichteten wir aber, weil das Schwenken auf jeden Fall eine untergeordnete Rolle spielt, außerdem eine Veränderung desselben aus technischen Gründen nicht in Frage kommt.

Von den übrigen Arbeitselementen verhält sich bezüglich der Höhe der Rk' das Schlagen am günstigsten, was auch völlig verständlich ist, da das Schlagen ja eine fast reine Bewegungsarbeit darstellt. Auch die Rk' beim Schaufeln liegt recht hoch, und auch beim Schaufeln ist ja die statische Durchsetzung eine verhältnismäßig geringe. Begünstigend mag hier auch noch außerdem das Heranziehen größerer Muskelmassen wirken. Dieser Befund ist von Interesse bei Berücksichtigung des oben diskutierten Versuchsergebnisses, nach welchem Fortfall des Schaufelns die Erholungsgeschwindigkeit beschleunigt. Hierin liegt durchaus kein Widerspruch, es folgt vielmehr nur daraus, daß die Begünstigung durch Fortfall des Schaufelns nicht dadurch bedingt ist, daß der Bewegungsablauf des Schaufelns ungünstige Restitutionsbedingungen schafft (denn gerade das Gegenteil ist der Fall), sondern lediglich die durch den Fortfall des Schaufelns eintretende Arbeitspause kommt der Erholungsförderung zugute.

Auch die Bedienung der Zughebelpresse mit einer Rk' von 0,97 liegt noch günstig, und auch diese Arbeitsform stellt (vgl. Abb. 3c und d,

Mitt. I) eine vorwiegend dynamische Arbeit dar. Am niedrigsten liegt die Rk' beim Stampfen und beim Transport der vollen Kästen, wobei der Wert beim Transport wahrscheinlich noch zu hoch bestimmt wurde. Es ist von Interesse, daß im Vergleich zu den anderen Arbeitselementen hier die statische Komponente weit größer ist, und zwar besonders beim Transport.

Es scheint also tatsächlich die Höhe der Rk' ein Maßstab für die Beteiligung einer statischen Komponente bei der Arbeit zu sein. Ordnet man die in Tab. 6b wiedergegebenen Werte (mit Ausschaltung der beiden im vorhergehenden diskutierten herausfallenden) in 2 Extremgruppen, so betragen die Mittelwerte von Gruppe I für Rk 0,84, für Rk' 1,16; von Gruppe II für Rk 0,54, für Rk' 0,89. Es scheint also auch hier, wie bei Besprechung der Tab. 6a hervorgehoben, ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen der Höhe der Rk und der Höhe der Rk' zu bestehen, d. h., wie oben ausgeführt, daß die Restitutionsbedingungen während der Arbeit auch von Einfluß auf die Restitutionsbedingungen nach der Arbeit sind.

VII. Verhalten des calorischen Ventilationsquotienten.

Wie in früheren Untersuchungen¹ ausgeführt wurde, haben wir im calorischen Ventilationsquotienten (K.V.Q.) bei Arbeit im Verhältnis zur Ruhe ein Maß für die Ausnutzung des mit der Ventilation herangeführten Sauerstoffs und für die Erregbarkeit des Atemzentrums.

Als K.V.Q.-Ruhe wird der Quotient von $\frac{\text{ccm reduz. Ventil.Vol.}}{\text{Cal. (G.U.)}}$ bezeichnet, als K.V.Q.-Arbeit das Verhältnis von Mehrventilation gegenüber der Ruheventilation zum Mehrverbrauch bei der Arbeit gegenüber dem Ruheumsatz. Es ist also:

$$\text{K.V.Q.-Arbeit} = \frac{\text{ccm Vent.Vol. b. Arb.} - \text{Ruhevent.}}{\text{Cal.Verbr. b. Arb.} - \text{G.U.}}$$

Der K.V.Q. ist demnach nichts anderes als ein Ausdruck für die Konzentration von Sauerstoff und Kohlensäure in der Expirationsluft.

Es wurde nun bei der Arbeit des Gewichtshebens gefunden, daß der K.V.Q. bei der Arbeit im Verhältnis zur Ruhe anstieg. Ähnliche Verhältnisse ergeben sich aus den ausgedehnten Versuchsreihen von Hill und Mitarbeitern² beim Laufen. Diesen Befunden stehen die alten Untersuchungen von Zuntz gegenüber, der beim Gehen eine vermehrte Ausnutzung des mit der Ventilation herangeführten Sauerstoffs feststellen konnte, sowie eigene Untersuchungen an einer größeren Anzahl Vpn. beim Kniebeugen (bisher unveröffentlicht). Es erscheint demnach die Vermutung gerechtfertigt, daß je nach dem Arbeitstyp die Sauerstoff-

¹ *Simonsen*, Pflügers Arch. **214**, 380 (1926); **215**, 752 (1927).

² *Hill, Long und Lupton*, l. c., S. 506.

ausnutzung bei körperlicher Arbeit besser oder schlechter ist als in der Ruhe. Die vorliegenden Untersuchungen, die sich ja auf mehrere verschiedene Arbeitselemente erstreckten, schienen als Beitrag zu dieser Frage geeignet. In Tab. 8 ist das Verhalten des K.V.Q. bei Ruhe, bei der eigentlichen Arbeitsperiode *A*, bei der Erholung *E* und bei der Gesamtarbeit (*A* plus *E*) angegeben.

Tabelle 8.

Datum 1928	K.V.Q.- Ruhe	Arbeitstyp	Kal. Vent. Quotient (= cem Vent./kal.		
			<i>A</i>	<i>E</i>	<i>A + E</i>
19. III.	5,70	I	3,22	6,42	3,43
		II	3,39	3,84	3,46
		III	3,15	4,33	3,28
20. III.	5,49	III	3,10	4,35	3,22
		II	3,06	4,72	3,31
		I	3,87	5,32	4,06
21. III.	5,84	III	3,18	5,74	3,39
		I	3,36	7,15	3,81
		II	3,18	5,52	3,50
26. III.	6,57	III	3,31	3,26	3,39
		II Ohne Schaufeln	3,33	4,56	3,27
		I	3,19	3,07	3,17
27. III.	6,16	III. 11 Uhr.	2,75	3,60	2,96
		III. Ohne Schaufeln	2,79	3,05	2,81
28. III.	6,16	II. 11 Uhr.	2,94	3,27	2,95
		II. Ohne Schaufeln	2,66	3,25	2,73
29. III.	5,26	I. 11 Uhr.	3,31	5,52	3,82
2. IV.	6,29	I. Ohne Schaufeln	4,15	5,52	4,29
		I	4,17	4,52	4,23
3. IV.	6,13	III	3,14	4,31	3,72
		III. Ohne Abstreichen.	3,03	3,73	3,07
22. III.	5,76	Schlagen	4,33	6,59	4,72
24. III.	6,19	„	3,79	3,97	3,80
22. III.	5,76	Stampfen	4,03	6,60	4,72
22. III.	5,76	Schaukeln	3,91	6,72	4,43
23. III.	5,95	„	3,35	4,53	3,56
23. III.	5,95	Zughebelpresse	3,79	5,99	4,25
23. III.	5,95	Transport voller Rahmen	3,26	3,84	3,48
24. III.	6,17	„ „ „	2,96	2,65	2,88
24. III.	6,17	Hochhebeln	3,21	3,98	3,45
30. III.	5,64	Schwenken	3,28	5,70	3,51
30. III.	5,64	Abstreichen III	3,08	3,43	3,18
2. IV.	6,29	„ III	3,34	3,69	3,38
3. IV.	6,13	„ II	3,62	3,63	3,62
3. IV.	6,13	„ II	3,35	2,70	3,22
20. III.	5,64	Transport leerer Rahmen	3,44	2,98	3,36

Es ergibt sich aus der Tab. 8, daß bei den untersuchten Arbeitselementen stets der K.V.Q.-Arbeit niedriger liegt als der K.V.Q.-Ruhe; es scheint also die Erniedrigung des K.V.Q. bei der Arbeit die Regel und die Erhöhung die Ausnahme zu sein. Rückschlüsse aus dem Verhalten des K.V.Q. auf den Bewegungstyp einer Arbeit lassen sich, wie aus Tab. 8 hervorgeht, nicht ohne weiteres ziehen, auch erscheint in Anbetracht der Streuungen das Material für diese Fragestellung zu klein.

Es zeigt sich, daß in fast allen Fällen der K.V.Q. während der Arbeitsperiode (A) selbst am niedrigsten ist und während der Erholung ansteigt, d. h. dem Ruhe-K.V.Q. sich wieder nähert.

Es ist vielleicht von Interesse, daß bei den am 27. und 28. III. nach 4stündiger Arbeitszeit angestellten Versuchen bei Arbeitstyp III und II, nicht aber bei dem am wenigsten anstrengenden Arbeitstyp I (am 29. III.) die K.V.Q.-Arbeit am tiefsten liegen. Die hierdurch angeregte Frage, ob die *Arbeitsdauer* von positivem Einfluß auf die Sauerstoffausnutzung ist, soll an einem größeren Material noch nachgeprüft werden. Ein negativer Einfluß der *Arbeitsintensität* (verschiedene Laufgeschwindigkeit) folgt aus den Untersuchungen von *Hill* und Mitarbeitern (l. c.); jedoch lassen sich die *Hillschen* Untersuchungen mit den vorliegenden nicht vergleichen, da es sich beim Formen um einen zu komplexen Arbeitsvorgang handelt, zudem die Intensitätsunterschiede (Produktion, Arbeitseinheiten pro Minute) bei den verschiedenen Arbeitstypen (I—III) im Verhältnis zu den Unterschieden der Laufgeschwindigkeit in den Versuchen von *Hill* außerordentlich geringfügig sind.

Für die Durchführung arbeitsphysiologischer Untersuchungsreihen wäre es von großem Vorteil, eine Funktion des Körpers zu kennen, deren Veränderung bei der Arbeit leichter meßbar ist als die Bestimmung des Sauerstoffverbrauches, und die uns mindestens einen angenäherten Anhaltspunkt zur Beurteilung einer Arbeit bietet. Es wäre hier vor allem an die Ventilation zu denken, die ja mit Hilfe einer Gasuhr sehr einfach gemessen werden kann. Aus früheren Untersuchungen des Verf. (l. c.) ergeben sich bereits Anhaltspunkte für eine Parallelität zwischen Ventilationsgröße und Sauerstoffverbrauch; auch sei auf neuere Untersuchungen von *Kaup* und *Grosse*¹ hingewiesen, die zwischen Ventilation und Sauerstoffverbrauch eine größere Korrelation fanden als zwischen den anderen untersuchten Funktionsgrößen (Schlagvolumen, Vitalkapazität).

Die Höhe des K.V.Q. stellt aber einen zahlenmäßigen Ausdruck der Beziehungen zwischen Ventilation und Umsatz dar, und aus der Schwankungsbreite des K.V.Q.-Arbeit läßt sich angeben, mit welcher Zuverlässigkeit allein aus der Bestimmung der Ventilation sich Angaben über den voraussichtlichen Energieverbrauch bei der Arbeit machen lassen. Es ist bereits darauf hingewiesen, daß der Arbeitstyp selbst von Einfluß auf die Höhe des K.V.Q. zu sein scheint; wir werden deshalb die größeren Schwankungen des K.V.Q.-Arbeit bei der Untersuchung der einzelnen Arbeitselemente zu erwarten haben, während bei den 3 verschiedenen komplexen Arbeitstypen des Formens sich diese Unterschiede mehr

¹ *Kaup* und *Grosse*, Klin. Wschr. 6, 2184 u. 2223 (1928).

ausgleichen. Es soll deshalb die Schwankungsbreite des K.V.Q. beim Formen selbst und bei den einzelnen Arbeitselementen gesondert untersucht werden.

Als Mittelwert des K.V.Q.-Arbeit beim *Formen* ergibt sich ein Wert von 3,41; die maximale Abweichung beträgt + 25,8 und — 19,9%; die durchschnittliche Abweichung + 12,0 und — 6,75%. Als Mittelwert des K.V.Q.-Arbeit bei den *verschiedenen Arbeitselementen* ergibt sich ein Wert von 3,70; als maximale Abweichung + 27,6 und — 22,1%; als durchschnittliche Abweichung + 18,35 und — 8,92%. Es folgt aus der Größe der Abweichungen, daß beim Formen mit einer durchschnittlichen Gesamtabweichung von nicht ganz 20% aus der Ventilation der Energieverbrauch abgeschätzt werden kann. Diese Fehlergrenze macht es in Anbetracht der bei Respirationsversuchen üblichen Schwankungen¹ möglich, allgemein orientierende Versuche allein mit Hilfe der Messung der Ventilation anzustellen.

Obwohl sich auch bei *Zusammenstellung sämtlicher Versuche*, nach der Spearman'schen Formel berechnet², ein relativ hoher Korrelationskoeffizient von 0,726 zwischen Ventilation und Calorienverbrauch ergibt, folgt dennoch aus dem Verhalten der Schwankungsbreite, daß es nur beim Vergleich von Varianten eines Arbeitstyps möglich ist, einigermaßen sichere Rückschlüsse aus der Ventilation auf den Energieverbrauch zu ziehen.

Die Anwendung von alleiniger Messung der Ventilation zu allgemein orientierenden Versuchen über das Verhalten des Energieverbrauches erfährt vorläufig noch insofern eine weitere Einschränkung, als sich unsere Versuche nur auf 1 Vp. bezogen. Es bedarf der Untersuchung eines größeren Materials, wie sie auch in Anbetracht der praktischen Wichtigkeit dieser Frage geplant ist, ob auch beim Vergleich verschiedener Vpn. an gleichen Arbeitselementen sich eine genügende Korrelation findet. Man kann auf Grund vorliegender Versuche nur sagen, daß bei ein und derselben Vp. bei gleichartiger Arbeitsleistung sich aus der Ventilationsgröße ungefähre Rückschlüsse auf den Energieverbrauch ziehen lassen.

VIII. Verhalten des Respirationsquotienten.

Die komplizierten Vorgänge der Kohlensäureaustreibung und -speicherung durch die Veränderung der Atmung und der Alkalireserve (bzw. Reaktion) des Blutes bei körperlicher Arbeit machen es unmöglich, aus dem aktuellen R.Q. zu irgendeinem Zeitpunkt der Arbeit etwas über die Natur der verbrennenden Nährstoffe auszusagen³. Dehnt man jedoch den Respirationsversuch so lange aus, bis der Ruheumsatz wieder erreicht ist, so muß der Mehrverbrauch gegenüber dem Ruheumsatz durch Oxydation des zur Arbeit herangezogenen Nährstoffes bedingt sein und der R.Q. des gesamten über dem Ruhenniveau während der Arbeit

¹ In den früheren, mehrere Jahre durchgeführten Versuchen des Verfassers im Pharmakologischen Institut in Greifswald an der sehr einfachen Arbeit des Gewichthebens ergaben sich trotz völliger Einübung der 3 sehr geschulten Vpn. Schwankungen des Energieverbrauches bis zu maximal 25%.

²
$$r = 1 - \frac{6}{n(n^2 - 1)} \sum (x - y)^2.$$
 $n =$ Zahl der Plätze, $x - y =$ Rangplatzverschiebung.

³ Eine Ausnahme bildet nur eine Untersuchung bei länger anhaltendem steady state. Da sich hier der Körper in einem Gleichgewichtszustand befindet, erscheint eine Bestimmung des spezifischen Arbeits-R.Q. möglich.

und Erholung mehr aufgenommenen Sauerstoffes bzw. der ausgeschiedenen Kohlensäure die Art des zur Arbeit herangezogenen Nährstoffes angeben. Da die Versuchsanordnung diesen Anforderungen entsprach, so bilden die vorliegenden Untersuchungen auch einen Beitrag zu dieser Frage.

*Furusawa*¹ und *Simonson*² untersuchten unabhängig voneinander und ungefähr gleichzeitig bei kurzer Arbeitsdauer den „spezifischen Arbeits-R.Q.“ $\left(\frac{\text{Arb. Kohlens. minus Ruhe-Kohlens.}}{\text{Arb. Sauerst. minus Ruhe-Sauerst.}} \right)$ und fanden (*Furusawa* beim Laufen, und *Simonson* beim Gewichtheben) ihn bei kurzen Arbeitsleistungen zu 1,0, d. h. bei kurzen Arbeitsleistungen werden ausschließlich Kohlehydrate verbrannt. Daß bei länger dauernder Arbeit auch andere Nahrungsstoffe, d. h. vor allem Fett, zur Verbrennung herangezogen werden (ob direkt oder unter Umwandlung in Kohlehydrate ist eine andere Frage), bedarf keiner Diskussion. Aus den Versuchen von *Furusawa* geht auch deutlich hervor, daß die Heranziehung von Fett (daß Eiweiß bei körperlicher Arbeit nicht in nennenswertem Umfange herangezogen wird, folgt schon aus den Untersuchungen von *Pettenkofer* und *Voit*, die von späteren Untersuchern nur bestätigt werden konnten) je nach der Ausdehnung des Versuches stärker hervortritt. So beträgt nach den Versuchen von *Furusawa* beim Laufen der spezifische Arbeits-R.Q. bei einem Lauf von 15 Minuten Dauer 0,99, bei 20 Minuten Dauer 0,98, bei 28 Minuten 0,94 und bei 30 Minuten 0,88. Auch neuere Untersuchungen von *Lindhard*³ stimmen hiernit überein, obwohl *Lindhard selbst* zu einer anderen Deutung neigt; so fand *Lindhard* beim Radfahren den spezifischen Arbeits-R.Q. bei einer Arbeitsdauer von 3,73 Minuten zu 1,07, von 7,81 Minuten zu 0,98, von 10,49 Minuten zu 0,98, von 12,76 Minuten zu 0,93 und von 36,28 Minuten zu 0,89. In den Versuchen von *Lindhard* sinkt allerdings der spezifische Arbeits-R.Q. mit zunehmender Arbeitsdauer bedeutend rascher ab als in den Versuchen von *Furusawa*. Diese Verschiedenheit läßt sich zurückführen entweder auf den verschiedenen Arbeitstyp oder auf individuelle Verschiedenheiten. Nachdem *Wertheimer* und *Hoffmann*⁴ der wichtige Nachweis gelang, daß die Mobilisation von Fett durch nervöse Impulse reguliert wird, sind beide Erklärungsmöglichkeiten auch ohne weiteres stichhaltig.

Wenn neuerdings *Rapport* und *Ralli*⁵ bei Hunden, die in einer Tretmühle mäßig schwere Arbeit leisteten, sowohl bei einer Arbeitsdauer von 15 wie von 45 Minuten Dauer den spezifischen Arbeits-R.Q. annähernd gleich hoch wie den Ruhe-R.Q. (0,85) fanden, so läßt sich weiter folgern, daß vielleicht auch Unterschiede der Art bei der Heranziehung von Nährstoffen zu körperlicher Arbeit bestehen. Daß der in situ befindliche Muskel des Hundes Fette direkt verbrennen kann, ist durch neuere Untersuchungen von *Himwich* und *Rose*⁶ bewiesen.

Ein Einfluß des verschiedenen Arbeitstyps auf die Art der bei der Arbeit verbrennenden Nährstoffe ist aus Untersuchungen von *Dusser de Barenne* und *Burger*⁷ zu entnehmen, auch wenn die Unterschiede

¹ *Furusawa*, Proc. roy. Soc. Med. **99**, 148 (1926).

² *Simonson*, Pflügers Arch. **214**, 380 (1926).

³ *Lindhard*, Biol. Meddelelser **6**, 7 (1927).

⁴ *Wertheimer* und *Hoffmann*, Pflügers Arch. **216**, 340 (1927).

⁵ *Rapport* und *Ralli*, Amer. J. Physiol. **83**, 450 (1928).

⁶ *Himwich* und *Rose*, Proc. Soc. exper. Biol. a. Med. **24**, 169 (1926).

⁷ *Dusser de Barenne* und *Burger*, Pflügers Arch. **218**, 239 (1927) und persönliche Mitteilung.

nicht groß sind. So fanden *Dusser de Barenne* und *Burger*, die statische (Innehalten einer bestimmten Körperstellung) und phasische Arbeit („stehendes Gehen“) miteinander verglichen, bei der Vp. de B. einen spezifischen Arbeits-R.Q. von 0,98 bei phasischer Arbeit und von 1,02 bei statischer Arbeit; bei der Vp. V. von 0,94 bei phasischer Arbeit und von 1,06 bei statischer Arbeit.

Tab. 9 zeigt das Verhalten des R.Q. bei Ruhe, Arbeit (*A*), den beiden Erholungsperioden E_1 und E_2 , sowie des spezifischen Arbeits-R.Q.

$$= \frac{\text{Ges. Aussch. an CO}_2 \text{ bei Arb. + Erh. minus Ruhe-CO}_2}{\text{Ges. Verbr. an O}_2 \text{ bei Arb. + Erh. minus Ruhe-O}_2}$$

Es konnten zu dieser Tabelle nicht alle Versuche herangezogen werden, sondern nur diejenigen, bei denen die Ruheperiode vor der Arbeit angestellt wurde. Der Versuch am 2. IV., bei dem der Ruheumsatz im Anschluß an die Bestimmung der Erholung bestimmt wurde, scheidet daher aus. Obwohl die Bestimmung des Sauerstoffverbrauches hierbei völlig einwandfrei ist, verhindern die komplizierten Vorgänge der Kohlensäureaustreibung und -speicherung während und nach körperlicher Arbeit eine Verwertung des Kohlensäurewertes. Aus dem Gang des R.Q. bei Arbeit und Erholung erhellt aber, daß auch dieser Versuch nicht aus den übrigen herausfällt. Auch auf die Verwertung der am 27. bis 29. III. um 11 Uhr, d. h. nach 4stündiger Arbeitszeit angestellten Versuche wurde im Rahmen dieser Fragestellung verzichtet.

Beim Vergleich der Ruhe-R.Q. ergibt sich nun die interessante Tatsache, daß eine deutliche Tendenz zum Sinken des R.Q. gegen Ende der Woche besteht. Ähnliche Beobachtungen machten *Zuntz* und *Schumburg*¹ und *Durig*²; sie konnten feststellen, daß der Ruhe-R.Q. bei anstrengenden Märschen mit jedem darauffolgenden Tage tiefer lag. Diesen Vorgang deuteten sie folgerichtig als Erschöpfung der Kohlehydratdepots und Ergänzung derselben aus anderen Nahrungstoffen; auf Grund dieser Versuchsergebnisse gaben sie die Anregung, daß bei anstrengenden Märschen nach jedem dritten Marschtage ein Ruhetag zur Auffüllung der Glykogendepots einzuschalten sei. Die vorliegenden Untersuchungen bilden demnach auch einen Beitrag für das Problem der Erholungstage bei industrieller Arbeit. Sicher trifft die kalender- und gewohnheitsmäßige Festsetzung von einem Ruhetag auf 6 Arbeitstage nicht für alle Typen industrieller Arbeit das Richtige.

Noch viel eindeutiger und charakteristischer als das Verhalten des R.Q. erwies sich die Höhe des spezifischen Arbeits-R.Q. an den verschiedenen Wochentagen. Es ergab sich, daß oberhalb des Mittelwertes sämtlicher Versuche (0,79) ausschließlich die Werte von Montag bis Donnerstag, unterhalb desselben nur die von Freitag und Sonnabend liegen. Die Werte des spezifischen Arbeits-R.Q. am Freitag und Sonnabend liegen größtenteils unter dem Wert der reinen Fettverbrennung,

¹ *Zuntz* und *Schumburg*, Physiologie des Marsches. Berlin 1901.

² *Durig*, Pflügers Arch. **113**, 341 (1906).

Tabelle 9.

Datum 1928	Wochn- tag	R.Q. Ruhe	Arbeitstyp	Arb.- Dauer Min.	R.Q.			Spez. Arb.R.Q. CO ₂ /O ₂
					A	E ₁	E ₂	
19. III.	Mo.	0,85	Formen I . . .	14,17	0,83	0,86	0,99	9629/11479=0,92
			„ II . . .	13,5	0,85	0,89	0,885	11631/13382=0,87
			„ III . . .	14,46	0,79	0,915	0,895	12961/16300=0,80
								M.W.: 0,86
20. III.	Di.	0,83	„ III . . .	13,83	0,80	0,89	0,845	11540/14390=0,80
			„ II . . .	10,45	0,76	0,94	0,94	9185/11524=0,80
			„ I . . .	11,27	0,84	0,875	0,77	7796/ 9233=0,84
								M.W.: 0,81
21. III.	Mi.	0,74	„ III . . .	17,0	0,82	0,94	1,00	14071/11578=0,89
			„ I . . .	17,53	0,84	1,03	0,92	15228/16663=0,915
			„ II . . .	14,67	0,81	0,99	0,87	13218/15118=0,875
								M.W.: 0,89
22. III.	Do.	0,80	Schlagen . . .	5,0	0,80	0,85	0,87	3136/ 3727=0,84
			Stampfen . . .	5,0	0,81	0,83	0,85	3046/ 3469=0,88
			Schaufeln . . .	5,0	0,745	0,90	0,92	4556/ 5471=0,83
								M.W.: 0,85
23. III.	Fr.	0,81	Zughebelpresse	5,0	0,76	0,94	0,83	3369/ 4145=0,82
			Schaufeln . . .	5,0	0,72	0,82	0,90	4367/ 5845=0,75
			Transp. voll. R.	7,0	0,76	0,79	0,80	1879/ 2815=0,66
								M.W.: 0,74
24. III.	So.	0,76	„ „ „	5,0	0,66	0,73	0,78	1943/ 3295=0,59
			Hochhebeln . . .	3,0	0,675	0,83	0,78	1731/ 4640=0,66
			Schlagen . . .	5,0	0,75	0,75	—	3055/ 4221=0,72
								M.W.: 0,66
26. III.	Mo.	0,89	Formen III. . .	12,67	0,78	0,91	0,71	9576/12432=0,78
			„ II. . .	13,45	0,825	0,94	0,935	10867/12977=0,84
			„ I. . .	12,6	0,805	0,85	0,94	8175/10164=0,805
								M.W.: 0,81
30. III.	Fr.	0,78	Schwenken . . .	5,0	0,75	0,79	0,78	1946/ 2845=0,685
			Abstreichen . . .	7,0	0,65	0,74	0,75	3199/ 5713=0,56
			Transport leer . . .	5,0	0,69	0,71	0,71	1721/ 2922=0,59
								M.W.: 0,61
2. IV.	Mo.	0,93	Formen I . . .	9,35	0,875	0,923	0,955	— — —
			„ I . . .	9,9	0,85	0,91	0,94	— — —
			Abstreichen . . .	10,87	0,79	0,865	0,956	— — —
3. IV.	Di.	0,77	„ . . .	10,12	0,79	0,74	0,87	3689/ 4144=0,89
			„ . . .	12,58	0,77	0,80	0,76	3312/ 4241=0,805
			Formen III. . .	15,3	0,76	0,86	0,84	11184/13149=0,85
								M.W.: 0,83
4. IV.	Mi.	0,71	(Kniebeug. Lab.)					1,065

ein Befund, der für eine Umwandlung von Fetten in Kohlehydrate während der Arbeit spricht. Obwohl die $1\frac{1}{2}$ freien Tage (Sonnabend Nachmittag und Sonntag) ausreichend zu sein scheinen, die Glykogendepots wieder aufzufüllen¹, muß in Anbetracht der sehr tiefen Werte des spezifischen Arbeits-R. Q. am Sonnabend doch die Anregung ausgesprochen werden, bei der Arbeit des Formens auf 5 Arbeitstage einen Ruhetag einzuschalten. Es soll nicht verkannt werden, daß die Einrichtung eines halben Arbeitstages am Sonnabend unseren Forderungen bereits entgegenkommt. Trotz der wirtschaftlichen und organisatorischen Schwierigkeiten, auf die derartige physiologische Forderungen naturgemäß stoßen, muß versucht werden, auch in diesem Sinne eine Umgestaltung der industriellen Arbeitsvorgänge zu erreichen.

Daß ein Tiefstand der Glykogendepots schädigend wirkt, ist bisher allerdings noch nicht bewiesen. Doch ist eine derartige Annahme sehr wahrscheinlich; aus Untersuchungen von *Meyerhof* und *Himwich*² an isolierten Rattenmuskeln mit verschiedenem Glykogengehalt geht eine Parallelität zwischen Arbeitsvermögen und Glykogenreserve hervor. Ein Tiefstand der Glykogendepots, wie er im letzten Drittel der Woche beim Formen auftritt, beweist ein Zurückbleiben der Aufbau- hinter den Abbauprozessen, also einen relativen Unterernährungszustand. Daß die Abwehrkräfte und die Widerstandsfähigkeit des Körpers — abgesehen von dem lokalen Erschöpfungszustand der Muskeln — hierbei ganz allgemein geschädigt werden können, ist durchaus denkbar, gewinnt überdies noch an Wahrscheinlichkeit aus den gleichlautenden Erfahrungen des Krieges.

Der Durchschnittswert des spezifischen Arbeits-R. Q. von 0,79 stimmt genau überein mit dem Ruhedurchschnittswert, d. h., daß durchschnittlich bei der Arbeit dieselben Nahrungsstoffe im gleichen Verhältnis verbrennen wie bei Ruhe. Auch wenn man von den am Freitag und Sonnabend angestellten Versuchen absieht, wird niemals der Wert von 1,0 erreicht, sondern sämtliche Werte liegen zwischen 0,8 und 0,92; in keinem Falle also erfolgt die Arbeitsleistung ausschließlich auf Grund von Kohlehydratverbrennung. Diese Befunde stehen demnach im Widerspruch zu den seinerzeit von *Furusawa* und *Simonson* (l. c.) erhobenen. Die Abweichung kann, wie im vorstehenden ausgeführt wurde, begründet sein in der Konstitution der Vp. oder in der Verschiedenheit des Arbeitstyps.

Um die Frage des Einflusses der Individualität auf die Art bei der körperlichen Arbeit verbrennenden Nährstoffen zu klären, wurden an über 50 Vpn. Sauerstoffverbrauch, Kohlensäureausscheidung und Ventilation bei einer gleichbleibenden Standardarbeit (30 Kniebeugen in

¹ Es braucht nicht betont zu werden, daß die Vp. während der Versuche ein durchaus geregeltes Leben führte.

² *Meyerhof* und *Himwich*, Pflügers Arch. **202**, 164 (1924).

einer Minute) untersucht (Versuche bisher noch unveröffentlicht). Es ergab sich, daß etwa 80 % der Vpn. die Arbeitsleistung lediglich auf Grund von Kohlehydratverbrennung bestritt, während bei den übrigen Vpn. Fett im wechselnden Verhältnis herangezogen wurde. Hiermit ist erwiesen, daß tatsächlich auch bei völlig gleichbleibenden äußeren Arbeitsbedingungen individuelle Verschiedenheiten vorkommen, und die Annahme lag nahe, daß unsere Vp. zu der Minderheit gehört, die bei der genannten Standardarbeit außer Kohlehydraten auch Fett verbrennt.

Tabelle 10. (3. IV. 1928).

	Ruhe	Arbeit		Erholung			
Minuten . . .	—	0,5	1,0	1.	2.	3.	4. bis 11. n. beend. Arbeit.
R. Q.	0,71	0,52	0,66	0,8	1,02	0,89	0,92

$$\text{Spezifischer Arbeits-R. Q.} = 2338/2186 = 1,065.$$

Wie jedoch aus dem in Tab. 10 mitgeteilten, am Mittwoch angestellten Versuch hervorgeht, ist das Gegenteil der Fall; bei der durch die Kniebeugen hervorgerufenen, im Verhältnis zum Formen etwa doppelt so starken Stoffwechselsteigerung werden lediglich Kohlehydrate verbrannt. Daß beim Formen und seinen einzelnen Arbeitselementen ein anderes Verhalten stattfindet, kann auf zweierlei Weise erklärt werden: durch die Länge der Arbeitsdauer (im Vergleich zur Standardarbeit mit nur einer Minute Arbeitsdauer) oder durch den verschiedenen Arbeitstyp.

Es ist nun auffallend, daß die recht verschiedene Arbeitsdauer beim Formen und den einzelnen Elementen desselben (siehe Tab. 9) keinen Einfluß auf die Höhe des spezifischen Arbeits-R. Q. erkennen läßt. Es bleibt also nur die Vermutung übrig, daß die Heranziehung von Fett zur Arbeitsleistung auf die Verschiedenheit des Arbeitstyps zurückzuführen sei. Aber auch die untereinander recht verschiedenen Arbeitselemente des Formens zeigen bezüglich der Höhe des spezifischen Arbeits-R. Q. kein abweichendes Verhalten. Vielleicht kann der Grund hierfür in folgendem gesucht werden: Die Vp. hatte das Formen viele Jahre hindurch ausgeführt, und es scheint durchaus möglich, daß die fortdauernde Übung zu einer Anpassung des Stoffwechsels (vielleicht besonders in den trainierten Muskeln) in der Weise geführt hat, daß bei den eingefahrenen Arbeitselementen sogleich Fett mobilisiert wird, während bei der unübten und fremden Arbeit des Kniebeugens ausschließlich Kohlehydrate verbrennen.

Die Höhe des spezifischen Arbeits-R. Q. erscheint auch noch in einer anderen, mehr praktischen Hinsicht bedeutungsvoll. Besonders von englischer Seite (*Waller und de Decker*¹) ist der Versuch gemacht worden,

¹ *Waller und de Decker, J. of Physiol. 52/54 (1919/21).*

allein durch Bestimmung der Kohlensäureausscheidung den Kraftverbrauch bei körperlicher Arbeit zu messen. Da die Bestimmung des Sauerstoffverbrauches den sichersten Maßstab zur Berechnung des Kraftverbrauches bildet, gibt die Schwankungsbreite des spezifischen Arbeits-R. Q. an, mit welcher Genauigkeit aus der Kohlensäureausscheidung der Energieverbrauch bestimmt werden kann. Es ergibt sich dabei als maximale Schwankungsbreite + 16,45 und — 29,2%, während die durchschnittliche Schwankungsbreite + 7 und — 16,45% beträgt. Die maximale Schwankungsbreite des spezifischen Arbeits-R. Q. ist mithin etwas geringer, die durchschnittliche Schwankungsbreite etwas größer als die des K.V.Q.-Arbeit; d. h. die Bestimmung allein der Atmung läßt eine eben so sichere Schätzung des Energieverbrauches zu wie eine Bestimmung der Kohlensäureausscheidung. Diese Aussage gilt allerdings vorerst nur für die von uns untersuchte Vp.; wieweit Verallgemeinerungen zulässig sind, soll noch an einem größeren Material nachgeprüft werden.

Zusammenfassung.

Die Erholungsgeschwindigkeit nach der Arbeit des Formens erwies sich um so geringer, je nach der Reihenfolge, in welcher der Versuch angestellt wurde, d. h. je mehr Arbeit vorausgegangen war. Es läßt sich somit ein restitutionshemmender Einfluß vorausgegangener Arbeit auch nach völliger Beseitigung der Milchsäure nachweisen; die Deutung dieses Befundes wird auf Grund analoger Beobachtungen von *Embsen* und Mitarbeitern am Muskelbrei versucht.

Die Erholung nach beendiger Arbeit (als *Rk* berechnet) scheint am raschesten nach Arbeitstyp I, am langsamsten nach Arbeitstyp III zu verlaufen. Fortfallen des Schaufelns begünstigt die Erholungsgeschwindigkeit. Die Erholungsgeschwindigkeit nach einer Arbeit ist um so geringer, je statischer das betreffende Arbeitselement ist, d. h. am größten beim Schlagen, am geringsten beim Transport. Es ergibt sich eine Parallelität zwischen der Erholungsgeschwindigkeit während der Arbeit (als *Rk'* nach *Simonson* berechnet) und der nach der Arbeit (*Rk*); d. h. der begünstigende Einfluß dynamischer Arbeit macht sich auch noch nach Beendigung derselben geltend. Am niedrigsten liegt die *Rk'* bei der vorwiegend statischen Arbeit des Stampfens und dem Transport der vollen Kästen; auch aus den vorliegenden Untersuchungen wird die Annahme bestätigt, daß die Höhe der *Rk'* ein Maß für den Anteil einer statischen Komponente darstellt.

Der calorische Ventilationsquotient (K.V.Q. = ccm red. Vent.Vol.: Cal.) ist bei allen untersuchten Arbeitselementen bei der Arbeit erniedrigt, d. h. das von *Hill* am Laufen und von *Simonson* beim Gewichtheben festgestellte gegenteilige Verhalten bildet eine Ausnahme. Aus der Schwankungsbreite des K.V.Q. wird geschlossen, daß, mindestens bei

ein und derselben Vp., eine angenäherte Bestimmung des Energieverbrauches allein durch Messung der Atmung möglich ist.

Sowohl der Ruhe-R. Q. wie besonders der spezifische Arbeits-R. Q. (M.W. = 0,79) haben die Tendenz, gegen Wochenende zu sinken, wobei der spezifische Arbeits-R. Q. sogar bis unter den Wert der Fettverbrennung sinkt, woraus die Umwandlung von Fetten in Kohlehydrate bei körperlicher Arbeit hervorgeht. Analog dem Vorschlag von *Zuntz* und *Schumburg* bei Marschtagen wird angeregt, auch die Anzahl der bei industrieller Beschäftigung nötigen Erholungstage auf Grund der Inanspruchnahme der Glykogendepots zu bestimmen; d. h. beim Formen wäre nach 5 Arbeitstagen ein Erholungstag einzuschalten. Auch am Wochenanfang wird, entgegen früheren Beobachtungen von *Furusawa* am Laufen und des Verfassers beim Gewichtheben, niemals ein spezifischer Arbeits-R. Q. von 1,0 erreicht, ohne daß sich ein Einfluß der Arbeitsdauer erkennen läßt. Beim Kniebeugen verbrennt jedoch die Vp. ausschließlich Kohlehydrate; es wird deshalb auf das Bestehen eines Trainingsvorganges geschlossen, der bei der jahrelang gewohnten Arbeit des Formens eine sofortige Mobilisation von Fetten zur Energielieferung bei der Arbeit bewirkt.

Der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft und der Allgemeinen Ortskrankenkasse Frankfurt a. M. spreche ich auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank für die Unterstützung der vorliegenden Untersuchungen aus.
