

(Aus dem Turntheoretischen Institut, Kopenhagen. — Prof. *Lindhard*.)

## Beiträge zur Physiologie schwerer körperlicher Arbeit.

I. Mitteilung:

### Der Blutzucker während und nach körperlicher Arbeit.

Von

E. Hohwü Christensen.

Mit 6 Textabbildungen.

(Eingegangen am 19. Dezember 1930.)

Die Literatur enthält eine größere Reihe von Arbeiten über den Einfluß der körperlichen Arbeit auf den Blutzuckerspiegel. Die Bestimmungen sind teils an Gesunden, meistens Sportsleuten und Soldaten, teils an Stoffwechselkranken ausgeführt worden. Die erhaltenen Resultate sind sehr variierend. Dies beruht hauptsächlich auf zwei Ursachen: 1. Die Größe der ausgeführten Arbeit ist nicht bekannt. 2. Der genaue Zeitpunkt der Blutprobenentnahmen ist nicht angegeben. Die erhaltenen Resultate sind damit nicht untereinander vergleichbar. Fast alle haben den groben prinzipiellen Fehler gemacht, daß sie meinen, aus dem Blutzuckergehalt *nach* der Arbeit die Verhältnisse *während* der Arbeit aufklären zu können. Hiergegen muß wieder und wieder hervorgehoben werden, daß man die *Arbeitswerte* nur *während* der Arbeit und *nicht* kürzere oder längere Zeit *nach* Aufhören der Arbeit erhalten kann. Diese elementare Regel wird aber von vielen ganz und gar übersehen. Sie schreiben von *Arbeitswerte* und haben überhaupt keine einzige Bestimmung *während* der Arbeit ausgeführt. Stoffwechsel, Atmung und Kreislauf verändern sich fast momentan mit dem Aufhören der Arbeit, z. B. kann die Pulsfrequenz im Laufe von 1—2 Minuten von 180 auf 110 herabfallen. Keiner vermag es, aus dieser stark fallenden Pulsfrequenz etwas über die *Arbeitspulse* 2—3 Minuten vorher auszusagen. Etwas ähnliches gilt aber, wie aus den folgenden Versuchsreihen hervorgehen wird, in noch höherem Grade für den Blutzucker. Die Blutzuckerkurve fällt und steigt scheinbar sehr viel unregelmäßiger als die Pulskurve, deswegen gilt hier ganz besonders, daß man *den genauen Zeitpunkt* der Blutprobenentnahmen angeben muß, und daß man in

jedem Versuche *mehrere Bestimmungen sowohl während wie auch nach dem Aufhören der Arbeit ausführen muß*. Die Arbeiten, wo keine Bestimmungen während der Arbeit, und nur eine ohne genaue Zeitangabe nach der Arbeit, ausgeführt worden ist, sind für Vergleichszwecke ziemlich wertlos, und die auf solche Versuchsreihen aufgebauten Theorien von geringem Interesse. Diese Resultate sagen, wie aus den hier mitgeteilten Kurven deutlich hervorgehen wird, überhaupt gar nichts von dem Blutzucker *während* der Arbeit, und, wenn der genaue Zeitpunkt nicht angegeben ist, sehr wenig von den Verhältnissen *nach* der Arbeit. Man darf ebensowenig von einer Arbeitshypoglykämie 10 Minuten nach dem Aufhören der Arbeit sprechen, wie von einer Arbeitspulsfrequenz zu derselben Zeit. Die Unklarheit ist hier so groß, daß man aus den Benennungen nicht sehen kann, ob der Verfasser den Blutzuckergehalt während oder nach der Arbeit meint.

Um diese Unklarheit zu umgehen, werden im folgenden drei Benennungen verwendet: 1. *Die Ruhewerte*, d. h. die Werte in Ruhe vor Anfang der Arbeit. 2. *Die Arbeitswerte*, d. h. die Werte während der Arbeit; und hier wird großes Gewicht darauf gelegt, daß diese Werte auch wirklich während *unveränderter* Arbeit gewonnen worden sind. 3. *Die Restitutionswerte*, d. h. die Werte *nach Ende der Arbeit*.

#### *Eigene Versuche.*

Die folgenden Versuche wurden auf Anregung von Herrn Professor Lindhard ursprünglich in der Absicht angefangen, um einen eventuellen Zusammenhang zwischen dem Blutzuckergehalt und dem sogenannten „second wind“ zu untersuchen. Da aber keine von den Vpn. deutlichen „second wind“ zeigte, konnte diese Frage nicht beantwortet werden. Die erhaltenen Resultate haben jedoch vielleicht in anderer Beziehung Interesse. Die Bestimmungen wurden an 3 Vpn. ausgeführt.

1. E. L. L., Laboratoriumsassistentin. 23 Jahre alt, 65 kg, 1,70 m, wenig trainiert.

2. M. N., Student. 27 Jahre alt, etwa 72 kg, 1,88 m, sehr gut trainiert.

3. O. B., Student. 25 Jahre alt, etwa 75 kg, 1,85 m, sehr gut trainiert.

Die Versuche mit E. L. L. wurden mittags, ungefähr 3—4 Stunden nachdem sie ein leichtes Morgenfrühstück eingenommen hatte, ausgeführt. Die Versuche mit O. B. etwa 2—3 Stunden nach der letzten Mahlzeit. Die Versuche mit M. N. wurden morgens in nüchternem Zustande ausgeführt. Alle 3 lebten auf gewöhnliche gemischte Kost.

Die Arbeit wurde auf dem Kroghschen Fahrradergometer ausgeführt. Das Kroghsche Fahrradergometer ist ganz besonders zu derartigen Bestimmungen, die während der Arbeit ausgeführt werden müssen, geeignet. Das Arbeitstempo und die Belastung kann variiert und sicher gemessen werden, und man kann von Tag zu Tag die Arbeitsverhältnisse genau wiederholen, die Vp. bleibt auf der

Stelle und braucht nur sehr wenig Aufmerksamkeit auf die Arbeit zu richten, der Vl. kann leicht an die Vp. herankommen und bequem die verschiedenen Bestimmungen ausführen. Das Radfahren nimmt so viele und so kräftige Muskelgruppen in Anspruch, daß man bei genügender Belastung und passendem Tempo im Laufe relativ kurzer Zeit eine bedeutend große Arbeit ausführen, und dadurch deutliche Wirkungen des Arbeitens auf die verschiedenen Funktionen hervorrufen kann.

Die Vpn. fuhren während aller Versuche in demselben Tempo: 64,5 Pedalumdrehungen je Minute, dagegen waren die Belastungen verschieden; die genaueren Angaben werden später bei Besprechung der einzelnen Versuche gegeben.

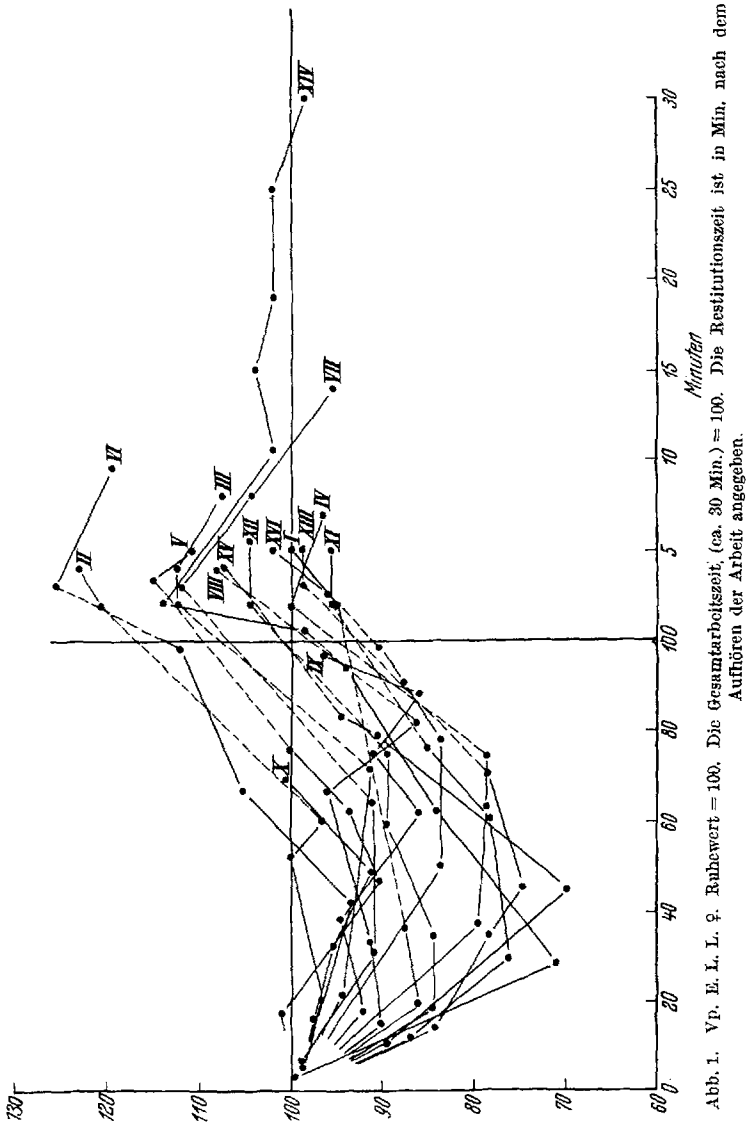
Die Blutzuckerbestimmung in dem Gesamtblute wurde nach *Hagedorn* und *Jensen*<sup>1</sup> ausgeführt. Nachdem die Vp. etwa 5—10 Minuten ruhig auf dem Fahrrad gesessen hatte, wurde eine oder meistens 2 Blutproben aus dem einen Finger am Nagelgrund genommen. Dieser Wert oder das Mittel der beiden Bestimmungen findet man in den Tabellen und Kurven als *Ruhewert* bezeichnet. Die folgenden Proben wurden während der Arbeit genommen. Die Vpn. vermochten auch bei der schwersten Arbeit, die eine Hand von dem Steuer los zu lassen, so daß man ziemlich leicht das notwendige Blut gewinnen konnte. Die Blutentnahme aus dem Ohrläppchen erwies sich als sehr unzweckmäßig; es war den Vpn. unmöglich, den Kopf während der Blutentnahme ruhig zu halten. Sobald die Arbeit beendet war, setzte sich die Vp. auf einen Stuhl neben dem Ergometer und die nächsten Proben wurden genommen. Aus rein praktischen Gründen mußten die Versuche im Laufe von weniger als einer Stunde beendet sein. Nur mit M. N. habe ich ein paar Versuche von etwa 2 Stunden ausführen können (Tab. 4 und Abb. 5).

In den Tabellen findet man die Werte der einzelnen Versuchstage in Gramm Zucker in 100 ccm Blut angegeben. In dem ersten Teile der Tabellen sind die *Ruhewerte* und die *Arbeitswerte* enthalten; die Zeit ist in Minuten nach Anfang der Arbeit angegeben. In dem zweiten Teile stehen die *Restitutionswerte*; die Zeit ist in Minuten nach dem Aufhören der Arbeit angegeben. Die genaue Dauer der Arbeit ist in den Tabellen durch einen Pfeil angegeben. In den Abb. 1—5 findet man die Werte von Tab. 1—4 aufgezeichnet, die Ordinate geben die Werte in Prozent des Ruhewertes für den entsprechenden Versuchstag an, die Abszisse geben die Arbeitszeit in Prozenten der gesamten Arbeitszeit an. Die Zeit nach dem Aufhören der Arbeit ist in Minuten angegeben. Die einzelnen Bestimmungen desselben Versuchstages sind miteinander verbunden. Das heißt nicht, daß die Zuckerkurve tatsächlich diesen Verlauf hat, sondern es ist nur aus praktischen Gründen getan, um die einzelnen Versuche auseinander zu halten. Die Arbeitswerte sind mit den entsprechenden Restitutionswerten durch gestrichelte Linien verbunden. Hier muß ganz besonders darauf aufmerksam gemacht werden, daß diese Linien *nur* Hilfslinien sind, die gar nichts über den wirklichen Verlauf der Blutzuckerkurven aussagen können.

#### a) Kurzdauernde Versuche.

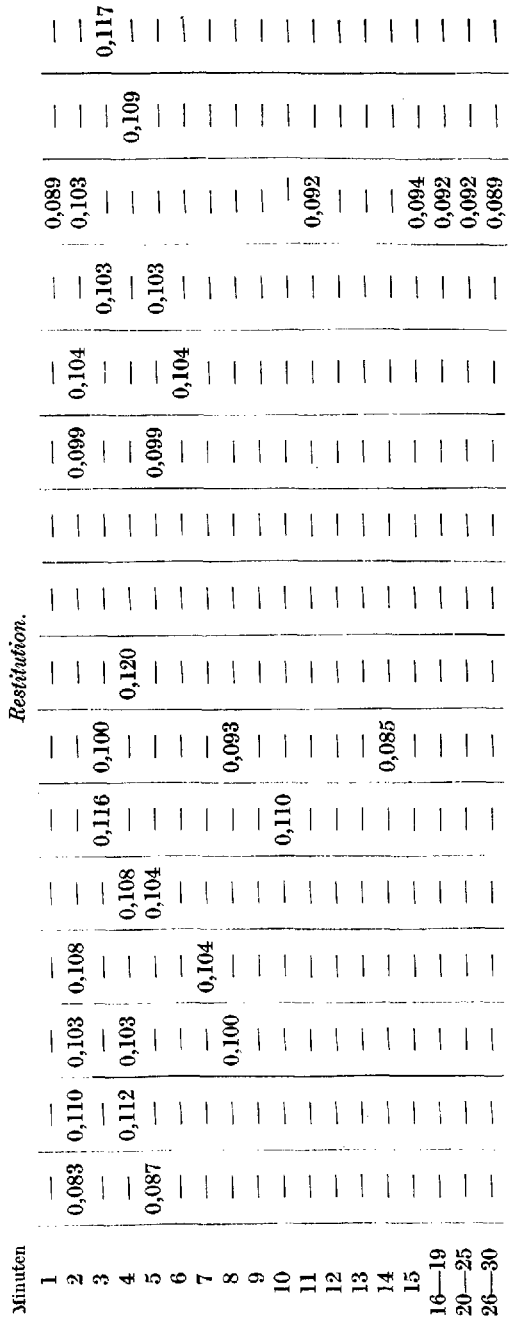
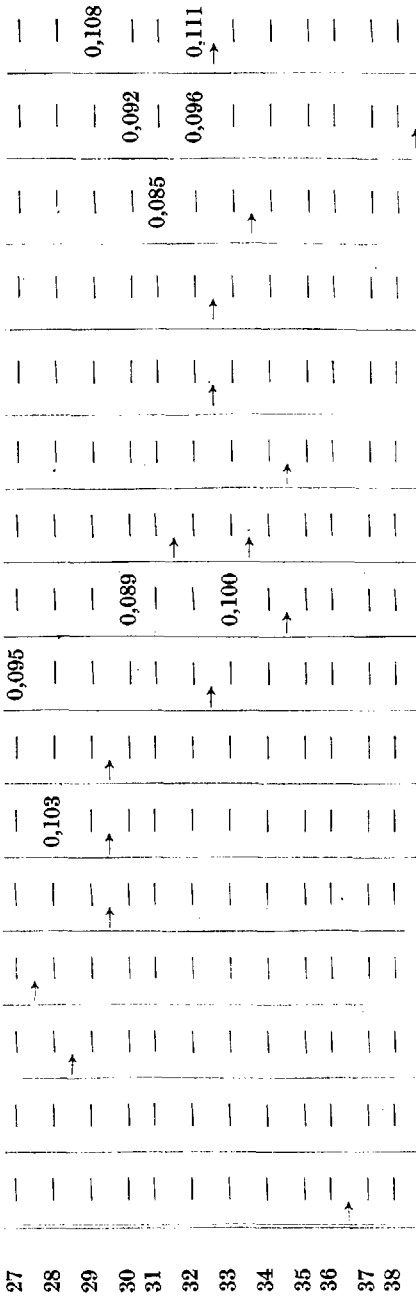
Tab. 1 und Abb. 1 enthalten die Resultate mit der weiblichen Vp. Fr. E. L. L. Die ausgeführte Arbeit war für Versuch I 600 kg/m je

Minute, in den 36 Arbeitsminuten wurde also eine Arbeit von 21 600 kg/m geleistet, in den übrigen 15 Versuchen war die Arbeit 840 kg/m je



Minute, das sind in 30 Minuten 25000 kg/m. Nach dieser Arbeit war die Vp. erschöpft, z. B. war die Pulsfrequenz in den letzten Arbeitsminuten > 180 je Minute.





Minuten

Die *Ruhewerte* in Tab. I zeigen von Tag zu Tag die gewöhnlichen normalen Schwankungen, nur in Versuch XVI liegt der Ruhewert etwas höher als normal, vielleicht war die Vp. an diesem Versuchstage nicht ganz zur Ruhe gekommen, bevor die Blutproben genommen wurden. Die zugehörige Arbeitskurve zeigt aber, wie aus der Abb. I hervorgeht, einen ganz normalen Verlauf.

Die *Arbeitswerte* überblickt man am bequemsten in der Abb. I. Wie schon erwähnt, ist der Ruhewert für jeden Tag gleich 100 und die gesamte Arbeitszeit gleich 100 gesetzt. Die Kurven der einzelnen Versuchstage tragen dieselben Nummern wie in der Tab. I. *Die Kurven zeigen im großen und ganzen einen Abfall des Blutzuckerspiegels während des ersten Teiles der Arbeit; wenn ungefähr die Hälfte der Arbeitszeit vergangen ist, erreicht die Kurve ein Minimum, um in der letzten Hälfte der Arbeitszeit wieder etwas anzusteigen, ohne jedoch den Ruhewert zu erreichen.*

In einzelnen Versuchen erreichen wir doch schon während der Arbeit den Ruhewert, und in Versuch VI liegen die Arbeitswerte in der letzten Zeit der Arbeit bedeutend über dem Ruhewert.

Abb. I zeigt, daß die Werte für die einzelnen Versuche sehr verstreut liegen. *Den größten Abfall* haben wir in Versuch XV, wo der Blutzucker von 0,1015 auf 0,071 herabfällt, das sind 30%. Versuch II zeigt den *geringsten Abfall*, nur von 0,091 auf 0,088, das sind nur etwa 3%; der Unterschied liegt in diesem Falle innerhalb der Fehlergrenzen der Methode. In Versuch XIV erreicht der Blutzucker den *niedrigsten Wert* mit dieser Vp., 0,069. *Es scheint kein Zusammenhang zwischen der Höhe des Ruhewertes und dem Grade des Abfalles während der Arbeit zu bestehen.* Vergleichen wir z. B. die Versuche II und XIV, so haben wir in beiden Fällen ungefähr denselben Ruhewert: 0,091 und 0,0905; in Versuch II fällt der Blutzucker aber nur bis 0,088, d. h. etwa 3%, während er in Versuch XIV auf 0,069 herabfällt, d. h. etwa 30%. *Die Schwere der Arbeit scheint keinen Einfluß auf den Verlauf der Blutzuckerkurve zu haben.* Die Kurve für Versuch I mit der Arbeit von 600 kg/m pro Minute hat denselben Verlauf wie die Kurven für die Versuche mit einer Arbeit von 840 kg/m pro Minute.

*Die Restitutionswerte liegen in allen Versuchen höher als die entsprechenden Arbeitswerte.* Sie scheinen ein Maximum zwischen 0 und 5 Minuten nach dem Aufhören der Arbeit zu erreichen, um dann langsamer oder schneller wieder abzufallen. *In der Mehrzahl der Fälle liegen die Restitutionswerte in dem ersten Teile der Restitution höher als die entsprechenden Ruhewerte.* In Versuch VII erreicht 3 Minuten nach dem Aufhören der Arbeit die Kurve ein Maximum von 0,100, der entsprechende Ruhewert ist 0,089, das ist eine Steigerung von etwa 14%; 14 Minuten später haben wir 0,085, das sind etwa 5% unter dem Ruhe-

Tabelle 2.

M. N. 1930	3. IV.	8. IV.	10. IV.	12. IV.	14. IV.	23. IV.	24. IV.	26. IV.	3. V.	8. V.	9. V.	10. V.
Vers.-Nr.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ruhe . . .	0,091	0,089	0,085	0,099	0,0925	0,090	0,093	0,089	0,1025	0,098	0,092	0,1035
Min.	<i>Arbeit.</i>											
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	0,087	—	0,090	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—	0,085	—	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—	—	0,089	—	—	—	—
6	—	0,089	—	—	0,086	—	0,090	—	—	—	—	—
7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	—	—	—	0,089	—	0,085	—	—	0,095	—	—	—
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	—	—	—	—	0,082	—	—	—	—
11	—	—	—	—	—	—	0,088	—	—	—	—	—
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,079	—
13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,088	—	—
14	—	—	—	—	—	0,091	—	—	—	—	—	—
15	—	—	—	—	—	—	0,091	—	—	—	—	—
16	0,078	—	—	—	—	—	—	0,089	—	—	—	0,090
17	—	—	—	—	0,086	—	—	—	0,082	—	—	—
18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	—	—	—	0,094	—	—	—	—	—	—	—	—
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,077	—
21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,097	—	—
23	—	—	—	—	—	—	—	—	0,086	—	—	—
24	—	0,089	0,087	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,100	—	—
26	—	0,091	—	—	—	—	—	0,102	—	—	0,084	0,081
27	—	—	—	—	—	0,115	—	—	—	—	—	—
28	—	—	—	—	—	—	—	—	0,095	0,102	—	—
29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,094
30	0,093	—	—	0,121*	—	—	0,096	—	—	—	—	—
31	—	—	—	→	0,114	—	—	—	—	0,099	0,086	—
32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
33	—	—	—	—	—	—	0,103	—	—	—	—	—
34	—	—	—	—	—	→	→	—	—	—	0,084	—
35	—	—	—	—	—	—	—	—	0,100	0,109	—	0,101
36	—	→	0,105	—	—	—	—	—	—	→	0,090	—
37	—	—	→	—	→	—	—	—	—	—	→	—
38	→	—	—	—	—	—	—	→	—	—	—	→
39	—	—	—	—	—	—	—	→	—	—	—	—

\* Übertitriert.



Tabelle 2 (Fortsetzung).

M. N. 1930	3. IV.	8. IV.	10. IV.	12. IV.	14. IV.	23. IV.	24. IV.	26. IV.	3. V.	8. V.	9. V.	10. V.
Vers.-Nr.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ruhe . . . .	0,091	0,089	0,085	0,099	0,0925	0,090	0,093	0,089	0,1025	0,098	0,092	0,1035

Min.	Restitution.											
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	0,136	0,135	0,157	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	0,137	0,138	—	—	0,117	—	—	—
4	—	0,136	—	—	—	—	—	0,117	—	—	—	0,115
5	0,120	—	—	—	—	0,140	—	—	—	—	—	—
6	—	—	0,132	—	—	—	—	—	—	—	—	0,111
7	—	—	0,121	0,148	—	—	—	0,123	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	—	—	—	—	0,135	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	—	—	—	0,138	—	—	—	—	—	—	—	—
15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	—	—	—	0,127	—	—	—	—	—	—	—	—

werte. In Versuch XIV gelangen wir wieder unter den Ruhewert nach etwa 30 Minuten. In Versuch VIII haben wir den höchst gemessenen Restitutionswert von 0,120, der zugehörige Ruhewert ist 0,1105, das ist eine Steigerung von 8%. Die größte prozentuale Steigerung ist im Versuch VI, sie beträgt in diesem Versuche 25,5%, von 0,092 auf 0,116. Vergleichen wir die Höhe der Restitutionswerte mit den entsprechenden Ruhewerten, so kann man aus den vorliegenden Versuchen keinen sicheren Zusammenhang ersehen. Die höchsten prozentualen Restitutionswerte scheinen im großen und ganzen mit dem geringsten prozentualen Arbeitsabfall zusammenzugehören, haben wir also einen geringen prozentualen Abfall während der Arbeit, so erreichen wir in der Restitutionsphase ein höheres Niveau im Verhältnis zu den Ruhewerten als in denjenigen Versuchen, wo wir einen kräftigen Arbeitsabfall haben. Versuch III, V und VI gehören in die erste Gruppe, Versuch IV, XI und XIII in die letzte Gruppe. Es muß darauf aufmerksam gemacht werden, daß wir uns, hier und bei den nächsten Abbildungen, nur über die Versuche aussprechen können, wo wir das Maximum und den folgenden Abfall konstatiert haben.

Tab. 2 und Abb. 2 enthalten die Bestimmungen mit der Vp. M. N. Die ausgeführte Arbeit war in allen Versuchen 1440 kg/m je Minute, das sind in 35 Minuten etwa 50000 kg/m. Eine Arbeit von 1440 kg/m

je Minute muß als eine bedeutende Leistung angesehen werden, sie entspricht ungefähr einer Sauerstoffaufnahme von 3,31 je Minute. Die Vp. war aber zu der Zeit, wo diese Bestimmungen ausgeführt wurden, so gut trainiert, daß sie die Arbeit ohne Schwierigkeiten durchführen konnte und nach 30–40 Minuten Arbeit noch nicht erschöpft war.

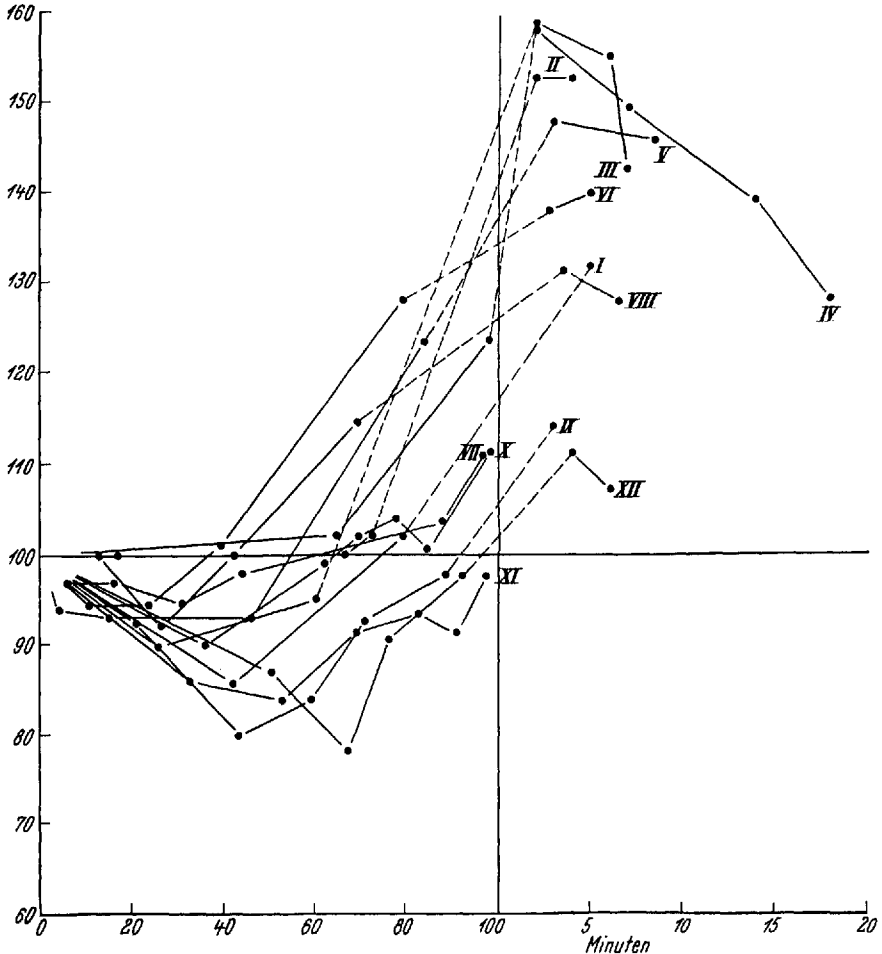


Abb. 2. Vp. M. N. Ruhewert = 100. Gesamtarbeitszeit (ca. 30 Min.) = 100. Die Restitutionszeit ist in Min. nach dem Aufhören der Arbeit angegeben.

Die Ruhewerte zeigen ein ganz normales Verhalten.

Die Arbeitswerte haben hauptsächlich einen ähnlichen Verlauf wie in Abb. 1. Die Kurven zeigen auch hier im großen und ganzen *einen Abfall des Blutzuckers während der ersten Hälfte der Arbeit und eine Steigerung während der zweiten Hälfte. Das durchschnittliche Minimum*

liegt auch hier, wie aus Abb. 4 hervorgeht, an der Stelle, wo ungefähr die Hälfte der Arbeitszeit vergangen ist. In vielen Fällen liegt aber das Minimum bedeutend früher und der Ruhewert wird in einigen Versuchen schon passiert, bevor die halbe Arbeitszeit verlaufen ist. Die Steigerung in dem zweiten Teile der Arbeitsperiode kann sehr bedeutend sein. In Versuch VI liegt z. B. der letztbestimmte Arbeitswert 28% über dem entsprechenden Ruhewert. Nur in 3 Versuchen, IX, XI und XII, erreichen wir nicht wieder den Ruhewert während der Arbeit. (Versuch IV kommt hier nicht in Betracht, teils weil die zuletzt eingezeichnete Arbeitsbestimmung schon nach 19 Minuten liegt, und teils weil die folgende Bestimmung, die wegen Übertitrirung etwas unsicher ist und deswegen nicht mit eingezeichnet ist, 28% über dem Ruhewert liegt.)

Die Streuung der Werte ist, wie in Abb. 1, sehr groß. Den tiefsten Abfall haben wir in Versuch XII, wo der Zucker von 0,1035 auf 0,0783 abfällt, das sind 22%. In Versuch II sind die beiden ersten Bestimmungen gleich dem Ruhewerte, die dritte Bestimmung 2% höher; in Versuch III liegt die erste Bestimmung so spät, daß wir nichts über die Verhältnisse in der ersten Arbeitsphase aussagen können. *Nur für Versuch II darf man also sagen, daß keine Senkung stattgefunden hat, sondern daß sämtliche Arbeitswerte hier gleich oder höher als die Ruhewerte liegen. In Versuch XI haben wir den niedrigsten Wert für diese Vp., 0,077. Es scheint auch hier kein Zusammenhang zwischen der Höhe des Ruhewertes und dem Grade des Abfalles zu bestehen.*

Die Restitutionswerte liegen in allen Versuchen während des ersten Teiles der Restitution höher als die entsprechenden Arbeitswerte und höher als die entsprechenden Ruhewerte. Sie scheinen auch hier ein Maximum zwischen 0 und 5 Minuten nach dem Aufhören der Arbeit zu erreichen, um dann wieder abzufallen. In Versuch IV haben wir den höchsten Restitutionswert von 0,157, der zugehörige Ruhewert ist 0,099, das ist eine Steigerung von 0,056 gleich 58,6%; in Versuch III haben wir die größte prozentuale Steigerung von 0,085 bis 0,135, das sind 58,8%. Vergleichen wir die Höhe der Restitutionswerte mit den zugehörigen Ruhewerten, so scheint kein Zusammenhang zu bestehen. Dagegen sehen wir auch hier als Regel, daß in den Versuchen, wo ein geringer prozentualer Abfall während der Arbeit war, ein höheres Niveau in der Restitutionsphase im Verhältnis zu den Ruhewerten erreicht wird. Die Versuche in Abb. 2 zeichnen sich also durch die große Steigerung in der zweiten Arbeitsphase und die hohen Restitutionswerte aus. Es scheint außerdem ein Zusammenhang zwischen der Versuchsnummer und dem Verlauf der Blutzuckerkurve zu bestehen, indem die zuerst ausgeführten Versuche die kräftigste „Arbeitsreaktion“ zeigen.

Tab. 3 und Abb. 3 enthalten die Versuche mit der Vp. O. B. Versuch I ist in nüchternem Zustand, die übrigen vier etwa 3 Stunden

Tabelle 3.

O. B. 1930	4. IX.	6. IX.	9. IX.	11. IX.	13. IX.
Vers. Nr.	I	II	III	IV	V
Ruhe	0,111	0,095	0,111	0,099	0,111
<i>Arbeit.</i>					
Minuten					
1	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—
3	—	—	—	0,098	—
4	0,109	—	—	—	—
5	—	0,095	0,109	—	—
6	—	—	—	—	0,089
7	—	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—
9	—	—	—	—	—
10	0,099	—	—	0,098	—
11	—	0,084	—	—	—
12	—	—	—	—	—
13	—	—	—	—	—
14	—	0,092	—	—	0,085
15	—	—	0,076	—	—
16	—	—	—	—	—
17	—	0,090	—	0,107	—
18	—	—	—	—	—
19	—	—	—	—	—
20	0,097	—	—	—	—
21	—	—	—	—	—
22	—	—	—	—	0,100
23	—	—	—	0,112	—
24	—	—	—	—	0,100
25	—	—	—	—	—
26	—	—	—	→	→
27	—	—	0,077	—	—
28	0,097	—	—	—	—
29	—	—	—	—	—
30	—	—	—	—	—
31	—	—	→	—	—
32	0,100	—	—	—	—
33	—	0,090	—	—	—
34	→	→	—	—	—
<i>Restitution.</i>					
1	—	—	—	—	—
2	0,102	—	0,095	—	—
3	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—
7	—	0,100	0,106	—	—
8	—	—	—	0,114	—
9	0,111	—	—	—	—
10	—	—	—	—	—
11	—	—	—	—	—
12	—	—	0,120	—	—

nach der letzten Mahlzeit ausgeführt worden. Die Ruhewerte zeigen nichts Besonderes. Versuch I unterscheidet sich nicht von den übrigen Versuchen.

Die ausgeführte Arbeit war in Versuch I und III 1200 kg/m je Minute, das sind 36000 kg/m in 30 Minuten, in Versuch II 1440 kg/m, das sind etwa 50000 kg/m in 34 Minuten, in Versuch IV und V 1680 kg/m je Minute, das sind in 25 Minuten 42000 kg/m. Nach der Arbeit mit 1680 kg/m je Minute in 25 Minuten war die Vp. völlig erschöpft, nach 4–5 Minuten Ruhe war sie jedoch wieder ganz in Ordnung. Zu der Zeit, wo die Blutzuckerbestimmungen ausgeführt wurden, hatte die Vp. eben mit der Arbeit von 1680 kg/m je Minute angefangen und war in dieser

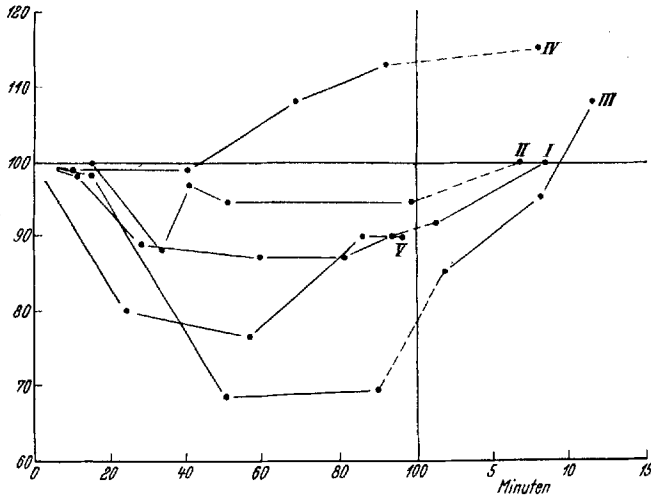


Abb. 3. Vp. O. B. Ruhewert = 100. Gesamtarbeitszeit (ca. 30 Min.) = 100. Die Restitutionszeit ist in Min. nach dem Aufhören der Arbeit angegeben.

sehr schweren Arbeit nicht geübt. Sie hatte wenige Tage später, wo die Sauerstoffaufnahme je Minute in ganz ähnlichen Versuchen bestimmt wurde, eine Sauerstoffaufnahme von etwa 4,51 je Minute. Trotzdem die Vp. sehr gut trainiert war, lag diese Arbeit an der Grenze ihres Könnens; sie liegt sicher auch überhaupt an der Grenze dessen, was der menschliche Körper in gut trainiertem Zustande leisten kann.

Die Arbeitswerte liegen auch in diesen Versuchen sehr verstreut, aber der Verlauf ist hauptsächlich ein ähnlicher wie bei den 2 anderen Vpn., die größte Übereinstimmung findet man mit Abb. 2. Die Schwere der Arbeit scheint auch hier keinen Einfluß auf den Verlauf der Kurven zu haben. Den tiefsten Abfall haben wir in Versuch III mit der geringeren Arbeit, von 0,111 auf 0,076, das sind 31,6%. Der niedrigst gemessene Arbeitswert mit O. B. ist 0,076.

Die Restitutionswerte liegen auch hier in allen Versuchen höher als die entsprechenden Arbeitswerte, und aus dem Verlauf der Kurven darf man sicher schließen, daß sie in allen Versuchen auch über die Ruhewerte gelangen werden. Die Steigerung scheint doch hier langsamer zu gehen und von geringerem Umfange als bei den zwei anderen Vpn. zu sein. Das eventuelle Maximum scheint bedeutend später zu liegen.

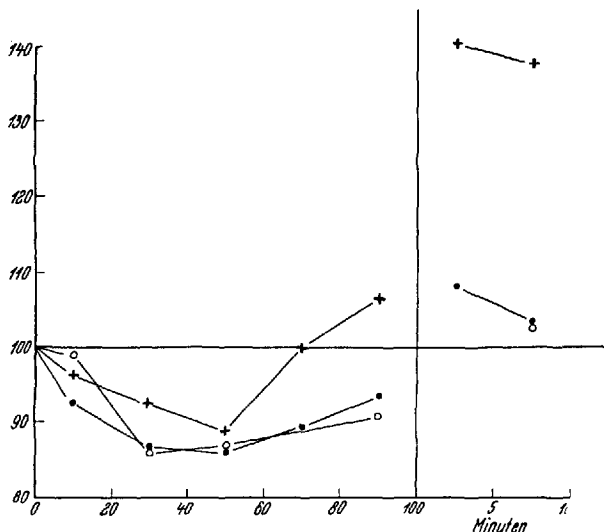


Abb. 4. Durchschnittswerte für ● E. I. L., ○ O. B. und + M. N. Gesamtarbeitszeit ca. 30 Min.

Fassen wir die Resultate der eben beschriebenen kurz dauernden Versuche zusammen, so kann man gewisse allgemeine Gesetze aufstellen; man muß sich jedoch immer vor Augen halten, daß die Variationen von Vp. zu Vp. und in den einzelnen Versuchen mit derselben Vp. sehr groß sind.

Die kurzen Versuche sind in Abb. 4 zusammengestellt. Die eingezeichneten Werte sind Durchschnittswerte für die verschiedenen Zeitabschnitte. Die Arbeitswerte sind in Gruppen zusammengestellt, die Werte von 0--20% der Arbeitszeit, von 20--40%, 40--60% usw. in Gruppen für sich. Das Mittel jeder Gruppe ist dann zum mittleren Zeitpunkt der Gruppe hingeführt und eingezeichnet worden. Die Restitutionswerte sind in Gruppen für jede 5 Minuten gesammelt. Nur wenn 3 oder mehr als 3 Bestimmungen für den Zeitabschnitt da waren, wurde das Mittel eingezeichnet.

1. Der Blutzucker zeigt als Regel einen Abfall in dem ersten Teile der Arbeitsperiode, erreicht ein Minimum, wenn ungefähr die halbe Arbeitszeit verlaufen ist, und steigt wieder empör, um in manchen Fällen

gegen Ende der Arbeit den Ruhewert wieder zu erreichen oder gar zu überschreiten.

2. Unter normalen Verhältnissen scheint kein Zusammenhang zwischen der Höhe des Ruhewertes und dem Grade des Abfalles während der Arbeit zu bestehen.

3. Die Schwere der Arbeit scheint keinen Einfluß auf den Verlauf der Blutzuckerkurve zu haben.

4. Es scheint kein Zusammenhang zu bestehen zwischen dem Ermüdungsgrad und der Höhe des Blutzuckerspiegels beim Aufhören der Arbeit.

5. Es scheint bei der einen Vp. ein Zusammenhang zwischen der Versuchsnummer und dem Verlauf der Blutzuckerkurve zu bestehen.

6. Der Verlauf der Blutzuckerkurve in der Restitutionsphase kann nichts Sicheres über den Blutzucker während der Arbeit aussagen.

7. Die Restitutionswerte liegen in allen kurzen Versuchen höher als die entsprechenden Arbeitswerte, sie scheinen früher oder später ein Maximum, das höher als der entsprechende Ruhewert liegt, zu erreichen und dann wieder abzufallen.

8. Es scheint kein Zusammenhang zwischen der Höhe der Restitutionswerte und den zugehörigen Ruhewerten zu bestehen.

9. Ein geringer prozentualer Abfall während der Arbeit scheint mit hohen Restitutionswerten zusammenzugehören.

#### b) Lang dauernde Versuche.

In den schon beschriebenen Versuchen wurde meistens eine große Arbeit je Minute ausgeführt, aber die Arbeitszeit war von der relativ

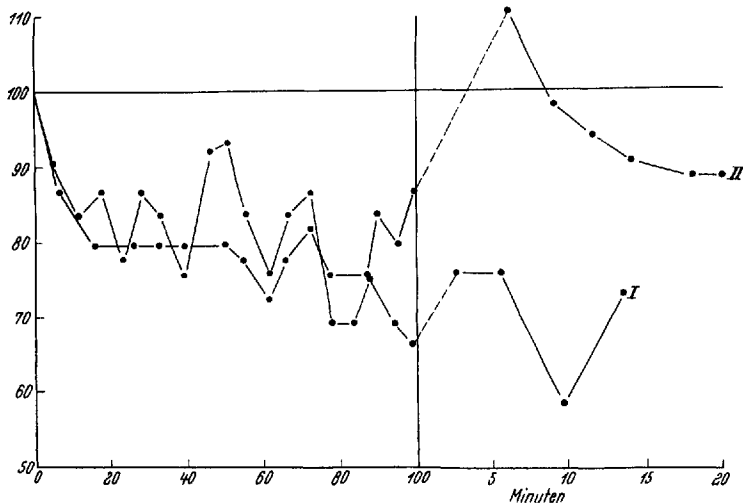


Abb. 5. Vp. M. N. Ruhewert = 100. Gesamtarbeitszeit (ca. 90 Min.) = 100. Die Restitutionszeit ist in Min. nach dem Aufhören der Arbeit angegeben.

kurzen Dauer von etwa 30 Minuten. In den folgenden 2 Versuchen die unter sonst genau gleichen Verhältnissen ausgeführt wurden, war die Arbeitsdauer 90 Minuten. Es wurde in den 90 Minuten 1440 kg/m je Minute geleistet, *das macht in 90 Minuten 130000 kg/m*; das muß als eine recht imponierende Leistung angesehen werden. Die Arbeit wurde morgens in nüchternem Zustande ausgeführt. Die Vp. war zu der Versuchszeit in gutem Trainingszustande, war aber nach den 90 Minuten ziemlich erschöpft und hatte absolut keine Lust weiterzufahren. Nachdem sie eine Zeitlang geruht und ein kaltes Bad genommen hatte, war sie wieder ganz frisch und nicht müde. Die hierhergehörigen Werte sind in Tab. 4 und Abb. 5 enthalten.

Die *Ruhewerte* liegen ganz wie in den früheren Versuchen mit dieser Vp.

Die *Arbeitswerte* zeigen dagegen ganz bedeutende Abweichungen von den früher in den kürzeren Versuchen mit derselben Vp. und derselben Arbeit je Minute erhaltenen Werten.

Die Kurve für Versuch I zeigt gleich den gewöhnlichen Abfall bei Beginn der Arbeit, dieser Abfall geht in eine ziemlich markierte Wellenbewegung über, *doch ist die Kurve im großen und ganzen fallend, so daß die letzte Probe den überhaupt niedrigst gefundenen Arbeitswert repräsentiert.*

Der *Blutzucker* ist von 0,103 auf 0,068 herabgefallen, das sind 34%; *eigentümlich ist es, daß dieser Abfall ganz bis zum Schluß der Arbeit fortgesetzt wird.* Gerade diese Vp. zeigte in den kurzen Versuchen, wie aus Abb. 2 deutlich hervorging, eine ausgesprochene Steigerung des Blutzuckers in dem letzten Teile der Arbeitsperiode. *Diese Steigerung ist also hier ganz und gar ausgeblieben.*

Die Kurve für Versuch II zeigt in dem ersten Teile der Arbeitsperiode einen ganz ähnlichen Verlauf wie für Versuch I. Der erste

Tabelle 4.

M. N. . . .	21. IX. 1930	M. N. . . .	2. X. 1930
Vers.-Nr.	I	Vers.-Nr.	II
Ruhewert	0,103	Ruhewert	0,097
<i>Arbeit.</i>			
Minuten			
4	0,093	6	0,084
11	0,086	14	0,077
16	0,089	23	0,077
21	0,080	30	0,077
26	0,089	36	0,077
30	0,086	45	0,077
36	0,078	50	0,075
42	0,095	56	0,070
46	0,096	60	0,075
51	0,086	66	0,081
56	0,078	69	0,073
61	0,086	76	0,073
66	0,089	82	0,081
71	0,071	86	0,077
76	0,071	91	0,084
80	0,077	91	→
86	0,071	—	—
90	0,068	—	—
92	→	—	—
<i>Restitution.</i>			
3	0,078	6	0,107
6	0,078	9	0,095
10	0,060	12	0,091
14	0,075	14	0,088
—	—	18	0,086
—	—	20	0,086

Der erste



Abfall geht aber hier erst in ein konstantes Niveau über, um dann auch in große Wellenbewegungen überzugehen. Der letzte Teil der Kurve zeigt eine Steigerung des Blutzuckers. Die Steigerung ist aber ziemlich gering, so daß der letzte Arbeitswert immer noch 13,4% unter dem entsprechenden Ruhewerte liegt. Der niedrigste Arbeitswert in diesem Versuche war 0,070 nach 55 $\frac{1}{2}$  Minuten Arbeit, das ist ein Abfall von 27,8%.

Die Restitutionswerte zeigen besonders für Versuch I einen ganz eigentümlichen Verlauf. In allen übrigen Versuchen mit dieser Vp. lagen die Restitutionswerte höher als die entsprechenden Ruhewerte, aber in Versuch I liegen sie ganz bedeutend niedriger; der höchste Restitutionswert ist 0,078, das sind etwa 25% unter dem Ruhewert! 9 $\frac{1}{2}$  Minuten nach dem Aufhören der Arbeit haben wir den überhaupt niedrigst gemessenen Blutzuckerwert von 0,060, das sind 41,8% unter dem Ruhewerte, und also 0,008 = 7,8% niedriger als der niedrigste Arbeitswert. Die Restitutionskurve für Versuch II hat größere Ähnlichkeit mit den früheren Kurven mit dieser Vp., doch liegt schon die erste Bestimmung recht niedrig und die Kurve geht sehr schnell unter den Ruhewert. Die Vp. fühlte sich bedeutend mehr erschöpft nach Versuch II als nach Versuch I. Ein Zusammenhang zwischen dem Ermüdungsgrade und der Höhe des Blutzuckerspiegels scheint also auch hier nicht zu bestehen.

#### *Frühere Versuche.*

Wollen wir die eben mitgeteilten Resultate mit den Resultaten der Literatur vergleichen, so kann das nur innerhalb gewisser Grenzen geschehen. Wie schon früher erwähnt, sind die Angaben über den ganzen Versuchsgang und über den genauen Zeitpunkt der Blutprobeentnahmen meistens sehr unvollständig. Wollen wir aber doch den Versuch machen, so können die früheren Arbeiten in zwei Gruppen geteilt werden: 1. diejenigen, wo Bestimmungen vor, während und nach der Arbeit ausgeführt worden sind, und 2. diejenigen, wo Bestimmungen nur vor und nach oder nur nach der Arbeit ausgeführt worden sind.

#### *1. Bestimmungen während der Arbeit.*

In diese Gruppe kommen sehr wenige Arbeiten, und die Bestimmungen sind meistens an Tieren oder an Menschen unter ziemlich ungewöhnlichen Verhältnissen ausgeführt worden.

Reach<sup>2</sup> hat Versuche mit strychninvergifteten Hunden gemacht; diese Versuche zeigen an sich sehr wenig, und nachdem von mehreren Verfassern (*Stenström*, *Bang*<sup>3</sup>) gezeigt worden ist, daß Strychninvergiftung durch Erregung des Rhombencephalons Hyperglykämie erzeugen kann, haben sie kein Interesse in dieser Verbindung.

*Benthin*<sup>4</sup> und *Ryser*<sup>5</sup> haben den Blutzucker während der Geburt bestimmt, und haben gefunden, daß der Blutzucker besonders in der Austreibungszeit sehr hoch liegt. Die Verhältnisse sind in diesen Versuchen von einer solchen Art, daß ein direkter Vergleich zwischen diesen Versuchen und den unsrigen nicht möglich ist.

## 2. Bestimmungen nach der Arbeit.

Weiland<sup>8</sup> ist einer der ersten, welcher Blutzuckerbestimmungen nach der Arbeit ausgeführt hat. Der Verfasser nennt zwar seine Werte Arbeitswerte, aber das beruht auf dem gewöhnlichen Mißverständnis. Die Versuche wurden an gesunden Vpn. angestellt, die in 5 von 6 Versuchen bis zur Ermüdung am Gärtnerischen Ergostat arbeiteten; die Arbeit wurde nicht genau dosiert, sie dauerte gewöhnlich 25—30 Minuten. Eine Vp. fuhr 3 Stunden auf dem Rad. In 5 Versuchen ist der Blutzucker nach der Arbeit niedriger als der Ruhewert, in einem Falle war kein merklicher Unterschied vorhanden. Mittel der Ruhewerte 0,093 %, Mittel der „Arbeitswerte“ 0,065 %. Da man aus den Versuchen nicht sehen kann, wann die Proben genommen wurden, ob sie immer zu derselben Zeit nach der Arbeit genommen wurden, und wie groß die ausgeführte Arbeit war, haben die Versuche kein größeres Interesse.

Wie Weiland so fanden auch Burger und Martens<sup>7</sup>, daß der Blutzucker schon nach ziemlich kurz dauernder Muskelarbeit bei gesunden Menschen abnahm. Genauere Angaben fehlen auch hier.

Grote<sup>8, 9</sup> hat Versuche an gesunden und stoffwechselkranken Menschen gemacht. Die Arbeit bestand in Faradisation der Muskulatur im Bergoniéschen Stuhl. Die ganze Sitzung dauerte jedesmal 25 Minuten, aber die Arbeit wurde scheinbar jede 5. Minute unterbrochen, um die Blutproben dem Ohrfläppchen zu entnehmen. Der Verfasser schreibt S. 355: „Die Entnahme von 2 Kontrollproben unterbrach die kontinuierliche Arbeit jedesmal um höchstens 1 Minute.“ Er fand unter diesen Bedingungen, daß die Blutzuckerkurve bei gesunden Menschen im allgemeinen horizontal verlief, und daß sich nur gegen Ende der Arbeit (d. h. gegen Ende der ganzen Sitzung) eine leichte Tendenz zum Sinken zeigte.

Ist die kontinuierliche Arbeit, wie nach den Angaben des Verfassers scheinbar hervorgeht, tatsächlich jede 5. Minute unterbrochen worden, so sind die erhaltenen Werte keine Arbeitswerte, wie der Verfasser selbst meint, sondern Restitutionswerte. Ein Vergleich mit unseren Versuchen ist nicht möglich, da wir u. a. nicht die Größe der Arbeit in den Groteschen Versuchen kennen.

Levine, Gordon und Derick<sup>10</sup> machen Blutzuckerbestimmungen an den Teilnehmern eines Marathonlaufes. Sie haben Bestimmungen an 9 Vpn. gemacht. Der Blutzucker war nach dem Laufe in 3 Fällen normal, in 2 Fällen etwas herabgesetzt, in 4 Fällen deutlich herabgesetzt (bis zu 0,045 und 0,047). Die Blutproben wurden zwischen 2 und 30 Minuten nach dem Laufe entnommen. Von jeder Vp. nur eine Probe. Nach den Verfassern bestand ein enger Zusammenhang zwischen dem Zustand der Läufer am Ende des Laufes und dem Blutzuckergehalt. Diejenigen, die einen extrem niedrigen Blutzuckergehalt hatten, zeigten ein Bild, daß dem Insulinhock nicht unähnlich war. Da die Blutproben zwischen 2 und 30 Minuten nach der Arbeit genommen worden sind, und da man keine genauen Angaben über den Zeitpunkt der Entnahme bei den einzelnen Vpn. findet, ist das Resultat nicht mit den unsrigen vergleichbar. Ein verschiedener Zeitpunkt der Blutentnahme bei den verschiedenen Vpn. ist vielleicht die einzige Ursache der scheinbar verschiedenen Reaktion der einzelnen Läufer. Eine Senkung des Blutzuckerspiegels nach dieser lang dauernden Arbeit wird auch mit unseren Versuchen übereinstimmen. Vgl. Versuch I, M. N. mit der lang dauernden Arbeit.

Piazza, G.<sup>11</sup> und Bernardi<sup>12</sup> finden eine Senkung, Morasczewski<sup>13</sup> und Johnson<sup>14</sup> dagegen eine Steigerung des Blutzuckers nach der Arbeit. Da weder die Größe der ausgeführten Arbeit noch der genaue Zeitpunkt der Blutentnahme angegeben sind, haben die Versuche wenig Interesse.

Bürger<sup>15</sup> untersucht die Wirkung der Muskelarbeit auf Blut und Harnzucker bei Diabetikern und findet bei ihnen eine starke Erhöhung des Plasmazuckers.

Diese Erhöhung scheint stärker bei „nervösen“ Diabetikern als bei phlegmatischen zu sein. Je ungewohnter die Arbeit, je geringer die Übung, desto kräftiger ist die Reaktion. Bei Wiederholung der Versuche kann eine früher beobachtete „Arbeits“-hyperglykämie (d. h. Restitutionshyperglykämie) geringer ausfallen oder ganz ausbleiben. Einen ähnlichen Einfluß der Übung finden wir in den kurzen Versuchen mit M. N., wo scheinbar ein Zusammenhang zwischen der Versuchsnummer und der Höhe des Blutzuckers besteht. Werden die Diabetiker diätisch vorbereitet, so beobachtet der Verfasser eine Senkung der Blutzuckerkurve im Anschluß an die Arbeit. Das wird auf einen geringen Glykogenvorrat in der Leber zurückgeführt. Diese Verhältnisse sind vielleicht mit denjenigen im lang dauernden Versuche I mit M. N. vergleichbar, wo, wie später besprochen wird, ein großer Teil des Leberglykogens wahrscheinlich am Ende des Versuches verbraucht war.

*Cäsar* und *Schaal*<sup>16</sup> bestimmen den Zuckergehalt nach einem anstrengenden Waldwettlauf. Nach Beendigung des Laufes wird eine deutliche Erhöhung des Zuckerspiegels gefunden. Die Blutproben sind aber erst 20—46 Minuten nach dem Aufhören genommen. Die vor dem Laufe bestimmten Ruhewerte zeigen schon ganz anormale Schwankungen, sie liegen für die verschiedenen Vpn. zwischen 0,054 und 0,153, nach dem Laufe liegen sie zwischen 0,086 und 0,166. Da nur eine Probe von jeder Vp. genommen wurde, und zwar zu verschiedenen Zeitpunkten nach dem Aufhören der Arbeit, so sind die gefundenen Werte kaum untereinander vergleichbar. Da man keine genauen Angaben über die Schwere und Dauer der Arbeit findet, können die Versuche mit den unsrigen kaum verglichen werden.

*Mittelstedt*, *Dervies* und *Geögievskaja*<sup>17</sup> machen Versuche mit großen Hunden, die eine Stunde hindurch eine größere körperliche Arbeit leisten. Das Blut wird vor und nach der Arbeit aus der V. jugularis entnommen. Die Autoren finden, daß unter normalen Bedingungen der Blutzucker nach dem Aufhören der Arbeit höher liegt als vorher. Man findet keine genauen Angaben über die Größe der ausgeführten Arbeit oder über den Zeitpunkt der Blutentnahme nach dem Aufhören der Arbeit.

*Seidenschmur*, *Solian* und *Judina*<sup>18</sup> machen Bestimmungen an Trabrennern und finden, daß die Hyperglykämie nach dem Rennen umso größer ist, je stärker die Alkalireserve (AR.) des Blutes erschöpft ist. Wir werden später auf diese Versuche zurückkommen.

*Schenk* und *Craemer*<sup>19</sup> haben Bestimmungen an einigen Teilnehmern der IX. Olympischen Spiele gemacht. Die Bestimmungen sind nach dem Laufen ausgeführt worden. Bei genauer Betrachtung der Resultate zerfallen diese in 2 natürliche Gruppen. 1. Die Bestimmungen an Kurzstreckenläufern von 300—1500 m. In diese Gruppe gehören 5 Versuche an 5 Läufern. In sämtlichen Fällen liegt der Blutzucker viel höher nach dem Laufe als vorher. Die Bestimmungen sind „sofort“ nachher — leider ist der genaue Zeitpunkt nicht angegeben — und 60 bis 70 Minuten nachher ausgeführt worden. In mehreren Fällen ist der Blutzucker sofort nachher mehr als verdoppelt, z. B. von 0,100 auf 0,221 gestiegen. 60 Minuten nachher liegt der Blutzucker wieder niedriger, ohne doch in allen Fällen den Ruhewert zu erreichen. In die 2. Gruppe gehören 6 Versuche an 6 Teilnehmern eines Langstreckenlaufes von 10 km. Die Blutproben sind vor dem Laufe, „sofort nachher“ oder 5 oder 10 Minuten nachher und 60 Minuten nachher genommen worden. Die 4 Vpn. zeigen sowohl „sofort nachher“ wie 5 Minuten nachher und 60 Minuten nachher eine deutliche Senkung des Blutzuckers. 2 Vpn. zeigen sofort oder 10 Minuten nachher eine Steigerung des Blutzuckers. Diese Steigerung ist jedoch bei der einen, wo wieder eine Probe 60 Minuten nachher genommen wurde, in einen Abfall übergegangen, so daß der letzte Wert auch hier bedeutend unter dem Ruhewerte liegt. Die kolossale Steigerung in den kurzen Versuchen wird

von den Verfassern zum Teil starken psychischen Einflüssen zugeschrieben. Das stimmt auch mit unseren Versuchen (vgl. die ersten kurzen Versuche mit M. N.). Die Ergebnisse der lang dauernden Versuche stimmen auch mit den unsrigen Versuchen mit M. N. sehr schön überein.

*Trimbe* und *Maddock*<sup>20</sup> finden an nüchternen Vpn., daß mäßige körperliche Arbeit, wie Stehen, Umhergehen usw. keinen merkbaren Einfluß auf den Blutzuckerspiegel hat. Erst bei kräftiger Arbeit finden sie eine Erhöhung des Blutzuckers nach dem Aufhören der Arbeit.

*Prikladowsky* und *Appolonow*<sup>21</sup> haben Versuche mit erwachsenen Hunden ausgeführt. Die Hunde liefen in einer Treibbahn 6,6 km in 30 Minuten. Die Blutproben wurden unmittelbar (meistens in der 1. Minute) nach dem Aufhören der Arbeit, 30 Minuten und 90 Minuten nachher genommen. Sie finden sofort nach dem Laufe eine bedeutende Hyperglykämie, die rasch abnimmt und 90 Minuten später den Ruhewert erreicht. Die von den Verfassern aufgestellte Theorie zur Erklärung dieser Steigerung des Blutzuckers werden wir später besprechen. Die gefundenen experimentellen Resultate stimmen mit den unsrigen überein.

*Lichtwitz*<sup>22</sup> macht Bestimmungen an Gesunden und Kranken vor und nach körperlicher Arbeit. Die Vpn. arbeiten bis zur Ermüdung an einem Gärtnerschen Ergostaten. Man findet keine Angabe darüber, nach wie langer Zeit die Ermüdung eingetreten ist. Wenige Bestimmungen an Gesunden. Bei Gesunden zeigt sich in einem Falle eine Erniedrigung des Blutzuckers von 0,105 auf 0,084, in 2 Fällen eine Erhöhung von 0,104 auf 0,107 und von 0,093 auf 0,104 (50—60 Minuten später lag der Blutzucker auch bei diesen beiden niedriger als der ursprüngliche Ruhewert). Da man keine genauen Angaben über den Zeitpunkt der Blutentnahmen findet, sagen diese Versuche sehr wenig über den Blutzuckerspiegel in der ersten Zeit nach dem Aufhören der Arbeit. Die Variationen sind sehr klein, und die verschiedene Reaktion der Vpn. kann allein auf dem verschiedenen Zeitpunkt der Blutentnahmen beruhen.

*Brösamlen* und *Sterkel*<sup>23</sup> machen Bestimmungen vor und nach ermüdender Muskelarbeit. Die Bestimmungen nach der Arbeit sind Reihenbestimmungen. Die Proben werden in einem Abstände von etwa einer Stunde in 3—4 Stunden fortgesetzt genommen. Sie finden, daß bei Gesunden ermüdende Muskelarbeit den Blutzuckerspiegel im allgemeinen herabdrückt. Ab und zu geht der Abnahme eine rasch vorübergehende Hyperglykämie voraus. Unter 10 Versuchen war dies 3mal der Fall. Die Differenzen zwischen Ruhewerten und Arbeitswerten betragen im Durchschnitt 0,020%. Der Höhepunkt der Reaktion wird erst einige Stunden ( $1\frac{1}{2}$ —4) nach dem Arbeitsende erreicht. Bei Diabetikern hat ermüdende Muskelarbeit als Regel eine Steigerung des Blutzuckergehaltes zur Folge. Die Arbeitsleistung bestand aus Treppensteigen und Arbeit am Ergostaten. Von einer genauen Dosierung der Arbeit wurde abgesehen. Leider ist auch hier der genaue Zeitpunkt der ersten Blutprobenentnahme nicht angegeben. Aus diesen beiden Gründen sind die Versuche kaum untereinander vergleichbar, und sie können auch nicht mit den unsrigen verglichen werden.

*Rakestraw*<sup>24</sup> macht Versuche an Studenten und findet, daß 10—15 Minuten dauernde starke körperliche Anstrengung eine Erhöhung des Blutzuckers um durchschnittlich 0,035% bewirkt. Nach starker Ermüdung durch 12stündiges Radfahren findet er eine Herabsetzung des Blutzuckers um 0,005. Die kurz dauernde Arbeit bestand aus Treppenlaufen, die ausgeführte Arbeit war etwa 58000 foot pounds in 10 Minuten, das entspricht etwa 800 kg/m je Minute. Die Proben wurden vor und nach der Arbeit genommen. Die Resultate stimmen im Ganzen mit den unsrigen überein. Der genaue Zeitpunkt der Blutprobenentnahme nach der Arbeit ist nicht angegeben. Leider ist es nicht möglich, mit der von

den Verfassern angewendeten Methodik, die Größe der Arbeit auch nur annähernd richtig zu bestimmen.

*Hartman, Frank und Griffith*<sup>25</sup> haben Untersuchungen an Tieren, Katzen und Hunden, welche in einer Tretmühle bewegt wurden, vorgenommen. Bei forcierter *unfreiwilliger* Bewegung nahm der Blutzucker stark zu (100—400%). Ließ man dagegen die Tiere ihr eigenes Tempo freiwillig laufen, so blieben die Veränderungen aus, der Blutzucker sank sogar langsam ab.

*Cassinis und Bracaloni*<sup>26, 27, 28</sup> bestimmen den Blutzucker nach verschiedenen Sportleistungen, Laufen oder Gehen von verschiedener Intensität und Dauer. Die Verfasser schreiben in einer persönlichen Mitteilung: „Bei dem kurz dauernden Laufe von 600 m wurden die Blutproben unmittelbar nach Beendigung des Laufes und danach jede 15—20 Minuten in einer Gesamtzeit von 2—2½ Stunden genommen. War der Marsch oder der Lauf lang dauernd, so wurde die Arbeit 2 bis 3 Minuten unterbrochen, um die Blutproben zu nehmen, und dann wieder fortgesetzt.“ Die von *Cassinis* und *Bracaloni* erhaltenen Werte sind also auch keine Arbeitswerte, sondern es sind in allen Fällen Restitutionswerte.

*Campos, Cannon, Lundin und Walker*<sup>29</sup> machen Bestimmungen an Hunden, die in einer Tretbahn laufen, bis sie völlig erschöpft sind. In gewissen Zeitabständen wird die Arbeit unterbrochen und die Blutproben genommen. Es zeigt sich ein Abfall des Blutzuckers im Laufe der ganzen Arbeitszeit. Wenn die Arbeit abgeschlossen ist, steigt der Blutzucker wieder langsam an. Die Verfasser finden keinen Zusammenhang zwischen dem Erschöpfungsgrade der Tiere und der Höhe des Blutzuckerspiegels. Es muß hier wieder hervorgehoben werden, daß die gefundenen Werte nicht Arbeitswerte, sondern Restitutionswerte sind. Die Verfasser meinen scheinbar, daß die von ihnen bestimmten Werte Arbeitswerte sind, indem sie von Blutzuckerwerten „during exercise“ und „during the recovery“ sprechen, aber aus ihrer Beschreibung der Versuchsanordnung geht hervor, daß wir es in allen Fällen mit Restitutionswerten zu tun haben. Sie schreiben: „When blood samples were taken at fairly regular intervals for estimating blood sugar and lactic acid in course of a test the treadmill was stopped only long enough to obtain the sample and to count the pulse and respiration, usually not longer than from three to six minutes.“

#### *Die Regulation des Blutzuckers.*

Wie im einzelnen *die Regulation* des Blutzuckers während der Ruhe vor sich geht, ist noch Gegenstand verschiedener Auffassungen, und noch gar nicht geklärt ist die Regulation während körperlicher Arbeit. Der Blutzuckerspiegel ist in der Ruhe durch ein Zusammenspiel von nervösen, hormonalen und chemischen Faktoren bestimmt, und etwas Ähnliches muß während und nach Muskelarbeit der Fall sein. Den Anteil der einzelnen Faktoren an diesem Regulationsmechanismus zu bestimmen, sind wir aber noch lange nicht imstande.

Die große Mehrzahl der im Laufe der Jahre aufgestellten Theorien zur Erklärung dieser Regulation sind, wie schon früher erwähnt, von geringem Interesse, indem sie von der falschen Voraussetzung ausgehen, daß die Höhe des Blutzuckers nach dem Aufhören der Arbeit ein Bild der Verhältnisse während der Arbeit geben kann.

Daß *psychische* Faktoren für die Höhe des Blutzuckerspiegels mitbestimmend sein können, ist unter anderem durch Untersuchungen

von *Bürger*<sup>15</sup> wahrscheinlich gemacht. Seiner Anschauung nach wirkt die Arbeit als Reiz, der der Leber auf nervösem Wege zugeleitet wird; der Reiz ist um so stärker, je ungewohnter die Arbeit, je geringer die Übung ist. Bei Wiederholung der Versuche kann eine früher beobachtete Hyperglykämie geringer ausfallen oder ausbleiben.

Die großen Schwankungen der „Ruhewerte“, die man oft bei Bestimmungen an Sportsleuten vor einem Wettstreite beobachtet, sind wahrscheinlich auch auf Aufregungen zurückzuführen. Das gilt z. B. sicher für die Bestimmungen von *Cäsar* und *Schaal*<sup>16</sup> und ganz besonders für die von *Schenk* und *Craemer*<sup>19</sup> untersuchten Teilnehmer der olympischen Spiele. Die sehr große Steigerung der Blutzuckerwerte nach den Übungen wird auch von den Verfassern zum großen Teile psychischen Einflüssen zugeschrieben.

Die schon zitierten Versuche von *Hartman*, *Frank* und *Griffith*<sup>25</sup> weisen in dieselbe Richtung. Wie früher erwähnt, sind wir durch die eigenen Versuche mit M. N. zu einem gleichen Resultate gekommen. Bei dieser Vp. schien ein Zusammenhang zwischen der Versuchsnummer und dem Verlauf der Blutzuckerkurve zu bestehen. Die „Arbeitsreaktion“ war viel kräftiger in den ersten als in den letzten Versuchen, was deutlich aus Abb. 2 hervorgeht. Die Steigerung der Arbeitsblutzuckerkurve gegen Ende der Arbeit, die bei allen 3 Vpn. beobachtet wurde, ist wahrscheinlich auch zum Teil ein psychisch bedingtes Phänomen. Die Vpn. wußten immer genau, wie lange sie noch zu arbeiten hatten.

Mehrere Verfasser haben gemeint, einen kausalen Zusammenhang zwischen der *Körpertemperatur* und der Höhe des Blutzuckerspiegels feststellen zu können. Durch neuere Arbeiten, unter anderem von *Kuno*<sup>30</sup>, *Schwarz* und *Kaspar*<sup>31</sup> und *Carvalho*<sup>32</sup>, ist aber wahrscheinlich gemacht worden, daß dieser Zusammenhang ein zufälliger ist und daß eine Hyperglykämie bei verschiedenen Fieberkrankheiten nicht auf die erhöhte Körpertemperatur zurückzuführen ist.

In unseren Versuchen ist auch keine Beziehung zwischen Körpertemperatur und Blutzucker nachweisbar. Ich habe Temperaturbestimmungen während derselben Arbeit ausgeführt, in der ich die Blutzuckerbestimmungen gemacht habe und überhaupt keinen Zusammenhang gefunden. Die Resultate der Temperaturbestimmungen werden später veröffentlicht werden\*, aber in den Versuchen mit M. N. z. B. war die Temperatur am Ende der kurzen Arbeit gewöhnlich bis auf etwa 38,4° gestiegen, in den langen Versuchen stieg dagegen die Temperatur bis auf 39,8°. Vergleichen wir diese Temperaturen mit den Blutzuckerkurven, so scheint kein Zusammenhang zu bestehen.

\* II. Mitteilung.

*Seidenschwur, Solian und Judina*<sup>18</sup> und später *Prikladowsky* und *Appolonow*<sup>21</sup> meinen, einen Zusammenhang zwischen der *Alkalireserve des Blutes* und der Höhe des Blutzuckers festgestellt zu haben. Die letzten Verfasser schreiben: „Die von uns erhaltenen Angaben gestatten es uns, die Vermutung auszusprechen, daß einer von den wesentlichen Faktoren, welche die Hyperglykämie bei angestrenzter und verhältnismäßig kurzdauernder Muskelarbeit bedingen, die Abnahme der Alkalireserve des Blutes ist, welche im Resultat der Ansammlung von sauren Produkten im Organismus eintritt.“ Sie haben durch intravenöse Injektion von verdünnten Säuren eine ganz gleiche Reaktion hervorgerufen. Zur Illustration ihrer Versuchsergebnisse haben die Verfasser einige Kurven mitgeteilt (vgl. Abb. 6). Jede Abbildung enthält 2 Kurven, die eine zeigt den Verlauf des Blutzuckers vor, während

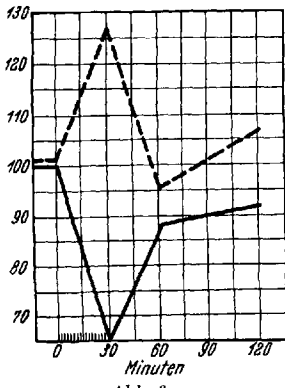


Abb. 6.

Nach *Prikladowsky & Appolonow*.  
 — = Gesamte CO<sub>2</sub> des Gesamtblutes. --- = Zucker des Gesamtblutes. ||||| = Periode des Laufens.

und nach der Arbeit, die andere die gesamte CO<sub>2</sub> des Gesamtblutes in denselben Perioden. Die Kurven, die die Verhältnisse während der Arbeitsphase abbilden sollen, sind durch gerade Linien, welche die Ruhewerte bei Anfang der Arbeit und die ersten Restitutionswerte verbinden, dargestellt. Die Kurven der Restitutionsphase sind durch Bestimmungen 1 Minute, 30 und 90 Minuten nach dem Aufhören der Arbeit festgelegt worden. Die zu demselben Versuche gehörenden Blutzucker- und „CO<sub>2</sub>-Kurven“ haben einen fast vollkommen antagonistischen Verlauf. Auf dem Verlauf dieser Kurven haben nun die Verfasser scheinbar ihre ganze Theorie aufgebaut. Ob die Verfasser den Verlauf der „CO<sub>2</sub>-Kurven“ aufrechterhalten können, weiß ich

nicht, aber die Blutzuckerkurven haben ohne Zweifel nicht den von ihnen gezeichneten Verlauf, das geht mit größter Sicherheit aus den von uns mitgeteilten Versuchsergebnissen hervor. Überhaupt machen unsere Versuche einen nahen kausalen Zusammenhang zwischen der Alkalireserve und der Blutzuckerhöhe unwahrscheinlich.

Nehmen wir an, daß die „CO<sub>2</sub>-Kurve“ den von *Prikladowsky* und *Appolonow* angegebenen Verlauf hat, und vergleichen wir diese Kurve mit unseren einzelnen Blutzuckerkurven oder mit den Durchschnittskurven in Abb. 5, so finden wir in keinem Falle Andeutungen von einem Zusammenhang weder während noch nach der Arbeit.

Es zeigt sich hier wieder, wie wertlos es ist, aus Werten, die *nach der Arbeit* bestimmt worden sind, Theorien über die Regulation *während der Arbeit* aufstellen zu wollen.

*Ellias*<sup>33</sup> meint, daß der *Glykogengehalt der Leber* mitbestimmend für die Höhe des Blutzuckers ist. Zu einem gleichen Resultate kommen wir durch unsere Versuche. Vergleichen wir wieder die Kurve für den lang dauernden Versuch I mit M. N. mit den übrigen Kurven derselben Vp. Die Arbeit je Minute war in allen Versuchen gleich groß, 1440 kg/m je Minute, und alle Versuchsbedingungen waren genau dieselben, nur die Versuchszeit war in Versuch I um das Dreifache verlängert. Diese längere Arbeitszeit erhöht die Körpertemperatur um etwa 1,5° mehr als in den kurzen Versuchen, außerdem muß man annehmen, daß die Alkalireserve vermindert worden ist; diese beiden Faktoren haben aber scheinbar keinen Einfluß auf die Höhe des Blutzuckers; daß sie keine Hyperglykämie hervorrufen, ist schon erwähnt worden. Das psychische Moment, das wir zur Erklärung der Steigerung in der letzten Arbeitszeit bei den kurzen Versuchen herangezogen haben, wird sicher ebenso kräftig in dem langen Versuche I gewesen sein wie in den kurzen Versuchen, aber die Reaktion ist völlig ausgeblieben. Die Erklärung hierfür finden wir in dem verminderten Glykogengehalt der Leber. Diesen verminderten Glykogengehalt können wir nicht direkt nachweisen aber schon *Külz*<sup>34</sup> konnte zeigen, daß lang dauernde Muskelarbeit die Leber fast glykogenfrei machen kann. Er machte Versuche an Hunden, die bis zum Versuchstage von gewöhnlicher Kost lebten. Am Versuchstage wurden sie nicht gefüttert und mußten 5—7 Stunden hindurch arbeiten, einen Wagen ziehen. Unmittelbar nach der Fahrt wurden sie getötet und der Glykogengehalt der Leber bestimmt. In allen Versuchen fand er, daß die Lebern fast glykogenfrei waren. Um durch Hungern die Leber einigermaßen glykogenfrei zu machen, mußten dagegen die Tiere 12—20 Tage hungern.

Die Vp. M. N. hat in den lang dauernden Versuchen eine Arbeit von 1440 kg/m je Minute in 90 Minuten ausgeführt, das entspricht einer Gesamtarbeit von 130000 kg/m. Die Sauerstoffaufnahme ist in ähnlichen Versuchen zu 3,27 l je Minute bestimmt worden, in 90 Minuten wurden also  $90 \times 3,27 \text{ l O}_2 = 294 \text{ l O}_2$  aufgenommen, bei einem calorischen Werte des Sauerstoffes von 4,85 je Liter waren 1425 Calorien produziert worden. Da 1 g Glykogen 3,8 Calorien liefert, müssen etwa 375 g *Glykogen* verbrennen, um diese 1425 Calorien zu bilden. Nun ist das Glykogen freilich nicht die einzige Energiequelle für die arbeitenden Muskeln, aber ein großer Teil der Energie wird doch sicher von dem Glykogen geliefert, und hieraus folgt, daß bei dieser großen Arbeit ohne Zweifel ein bedeutender Teil des Leberglykogens verbraucht worden ist. Die glykogenarm gemachte Leber hat nun eine höhere Reizschwelle als früher und der Blutzuckerspiegel sinkt. Der kräftige Reiz, der wahrscheinlich am Ende der Arbeit auftritt, vermag nicht diesen Abfall zu verhindern.



Die schon mitgeteilten Versuche an Gesunden von *Rakestraw*<sup>24</sup>, *Levine, Gordon* und *Derick*<sup>10</sup>, *Schenk* und *Craemer*<sup>19</sup> und die von *Bürger*<sup>15</sup> an „glykogenarm“ gemachten Diabetikern, weisen in dieselbe Richtung; in allen diesen Versuchen besteht sicher eine nahe Beziehung zwischen dem niedrigen Blutzuckerspiegel und dem Glykogenvorrat der Leber.

Wir wissen also augenblicklich sehr wenig über den ganzen Regulationsmechanismus. Die hier mitgeteilten Versuche können vielleicht hier und da eine kleine Aufklärung liefern, aber das Material ist noch lange nicht vollständig genug, um etwas Sicheres daraus schließen zu können. Die nächsten Versuche müssen sicher dort angefangen werden, wo der lange Versuch I mit M. N. abgeschlossen wurde, d. h. wenn die Leber einigermaßen glykogenarm gemacht worden ist, entweder durch lang dauernde Muskularbeit, Diät oder Hungern.

Betrachten wir zum Schluß die Kurve für den lang dauernden Versuch II mit M. N. Diese Kurve wollen wir versuchen als eine „normale“ Blutzuckerkurve für diese Vp. mit dieser Arbeit aufzustellen. Mit Anfang der Arbeit fällt der Blutzuckerspiegel, so daß er 14 Minuten nach Anfang etwa 20% unter dem Ruhewerte liegt. In dieser Höhe hält er sich bis gegen Ende der Arbeit, wo wieder eine Steigerung eintritt, die in dem ersten Teile der Restitution andauert. Der erste Restitutionswert 6 Minuten nach der Arbeit liegt über, die nächsten unter dem Ruhewerte. Das relativ konstante Niveau während der Arbeit, meinen wir, ist auf eine chemische, hormonale Regulation zurückzuführen. Gegen Ende der Arbeit kommt noch ein Reiz hinzu, der psychischer Natur ist. Ob dieser Reiz noch in dem ersten Teile der Restitution wirksam ist oder ob hier noch andere Faktoren hinzukommen, darüber wagen wir uns nicht auszusprechen.

#### *Zusammenfassung.*

Es wurden Blutzuckerbestimmungen während und nach der Arbeit an einer weiblichen und zwei männlichen Vpn. ausgeführt. Eine gründliche Analyse der vorliegenden Literatur zeigt, *daß bis jetzt überhaupt keine einwandfreien Blutzuckerbestimmungen während körperlicher Arbeit ausgeführt worden sind.* Es wird auf Grund eigener Versuche gezeigt, *daß nur die Werte, die während unveränderter Arbeit gewonnen worden sind, Arbeitswerte genannt werden dürfen; wird die Arbeit auch nur für weniger als eine Minute unterbrochen, sind die erhaltenen Werte keine Arbeits-, sondern Restitutionswerte.* Die erhaltenen Werte zeigen große individuelle Schwankungen von Versuch zu Versuch, aber alle Kurven zeigen doch, daß in der Regel der Blutzucker zu Beginn der Arbeit unter den Ruhewert abfällt und mit dem Aufhören der Arbeit, oder schon früher, wieder ansteigt. Es scheint kein Zusammenhang zwischen Blutzucker, Arbeitsintensität und Ermüdungsgrad zu bestehen. Bei langdauernder großer

Arbeit kann man eine auch in der Restitutionsphase anhaltende Senkung des Blutzuckerspiegels hervorrufen. Diese Senkung wird auf einen verminderten Glykogengehalt zurückgeführt. Es wird mit Hilfe der Versuchsergebnisse gezeigt, daß die Mehrzahl der bis jetzt aufgestellten Theorien zur Erklärung der Blutzuckerregulation während körperlicher Arbeit von falschen Voraussetzungen ausgehend, nicht stichhaltig sind. Es werden einige der Faktoren, die wahrscheinlich für die Höhe des Blutzuckerspiegels mitverantwortlich sind, hervorgehoben.

Literaturverzeichnis.

- <sup>1</sup> Hagedorn u. Jensen, Biochem. Z. **135**, 46 (1923). — <sup>2</sup> Reach, Ibidem **33**, 436 (1911). — <sup>3</sup> Bang, I., Der Blutzucker. Wiesbaden 1913. — <sup>4</sup> Benthin, Z. Geburtsh. **69**. — <sup>5</sup> Ryser, Dtsch. Arch. klin. Med. **118**, 408. — <sup>6</sup> Weiland, Ibidem **92**, 223 (1908). — <sup>7</sup> Burger u. Martens, Klin. Wschr. **1924**, Nr 41, 1860. — <sup>8</sup> Grote, L. R., Halle 1918. — <sup>9</sup> Grote, L. R., Zbl. inn. Med. **39**, 353 (1918). — <sup>10</sup> Levine, Gordon u. Derick, J. amer. med. Assoc. **82**, 1778 (1924). — <sup>11</sup> Piazza, Arch. Farmacol. sper. **42**, 98 (1926). — <sup>12</sup> Bernadi, Boll. Soc. Biol. sper. **3**, 123 (1928) (Berichte B. 47). — <sup>13</sup> Moraszczewski, Biochem. Z. **71**, 268 (1915). — <sup>14</sup> Johnson, J. comp. Psychol. **2**, 155 (1922). Ref. Rona **18**, 104 (1923). — <sup>15</sup> Bürger, M., Arch. f. exper. Path. **87**, 233 (1920). — <sup>16</sup> Cäsar u. Schaal, Z. klin. Med. **98**, 96 (1924) (Berichte B. 25). — <sup>17</sup> Mittelstedt, Dervies u. Geógievskaja, nach Berichte B. 49. — <sup>18</sup> Seidenschnur, Solian u. Judina, Med. biol. J. **2**, 85 (1927). — <sup>19</sup> Schenk u. Craemer, Ergebnisse der sportärztlichen Untersuchungen bei den IX. Olympischen Spielen. Amsterdam 1928. — <sup>20</sup> Trimbe u. Maddock, J. of biol. Chem. **81**, 595 (1929). — <sup>21</sup> Prikladowizsky u. Appolonow, Arb. physiol. **3**, 322 (1930). — <sup>22</sup> Lichtwitz, Berl. klin. Wschr. **1914**, Nr 22. — <sup>23</sup> Brösamlen u. Sterkel, Dtsch. Arch. klin. Med. **130**, 358 (1919). — <sup>24</sup> Rakestraw, J. of biol. Chem. **47**, 565 (1921). — <sup>25</sup> Hartman u. Griffith, Proc. Soc. exper. Biol. a. Med. **21**, 561 (1924). — <sup>26</sup> Cassinis u. Bracaloni, Arch. di Fisiol. **24**, 652 (1926). — <sup>27</sup> Cassinis u. Bracaloni, Ibidem **25**, 408 (1927). — <sup>28</sup> Cassinis u. Bracaloni, Ibidem **25**, 548 (1927). — <sup>29</sup> Campos, Cannon, Lundin u. Walker, Amer. J. Physiol. **87**, 680 (1929). — <sup>30</sup> Kuno u. Yoskimaro, Mitt. med. Fak. Tokyo **30**, 269 (1923). — <sup>31</sup> Schwarz u. C. u. E. Kaspar, Biol. generalis (Wien) **3**, 689 (1927) (Berichte B. 45). — <sup>32</sup> Carvalho, C. r. Soc. Biol. Paris **99**, 935 (1928). — <sup>33</sup> Elias, Erg. inn. Med. **25**, 192 (1924). — <sup>34</sup> Külz, Pflügers Arch. **24**, 41 (1881). — <sup>35</sup> Feigel u. Querner, Z. klin. Med. **83**, 197 (1916).