

(Aus dem Kaiser Wilhelm-Institut für Arbeitsphysiologie Dortmund-Münster.)

Anpassungserscheinungen an Hitzearbeit.

Von

G. Lehmann und A. Szakáll.

Mit 4 Textabbildungen.

(Eingegangen am 3. August 1937.)

Die vorangegangenen Abhandlungen hatten gezeigt, daß bei vorhandenem Hitzetraining Arbeit bei hohen Außentemperaturen zwar zu einem starken Chlorverlust führen kann, wenn gleichzeitig nur wenig Chlor zugeführt wird; sie hatten aber andererseits gezeigt, daß hierbei ein Zustand erhöhter körperlicher Leistungsfähigkeit ausgebildet wird. Die nachteilige Einwirkung des Kochsalzmangels auf den Kreislauf hält sich in engen Grenzen und wird noch nicht zu einem begrenzenden Faktor für die Arbeitsleistung. Wir hatten andererseits gesehen, daß im Beginn des Hitzetrainings eine mehrere Wochen dauernde Phase absinkender Leistungsfähigkeit durchlaufen wird, bevor der Organismus die Fähigkeit gewinnt, sich an die Hitzearbeit anzupassen. Der Zweck der vorliegenden Untersuchung war es, die beginnende Anpassung einer genaueren Untersuchung zu unterziehen, um insbesondere zu prüfen, ob in diesem Zustand fehlenden Trainings Chlormangel zum leistungsbegrenzenden Faktor oder sogar zu einer Gesundheit und Leben bedrohenden Erscheinung werden kann. Diese Untersuchung erscheint um so wichtiger, als die praktischen Erfahrungen in Hitzebetrieben (Walzwerken usw.) immer wieder zeigen, daß Zwischenfälle so gut wie nur bei neu eingestellten, an die Arbeit nicht gewöhnten Leuten zu befürchten sind. In der Literatur finden sich entsprechende Angaben bei Moss¹, Raschewskaja², Cannon³ und Dill und Mitarbeitern⁴. Auch in der ungarischen Landwirtschaft, wo noch viel Handarbeit geleistet wird, weiß man, daß bei Erntearbeiten für Neulinge die Gefahr, an Hitzekrämpfen zu erkranken oder einen „Hitzschlag“ zu bekommen, sehr viel größer ist als für Leute, die diese Arbeit gewöhnt sind.

Methodik.

Die Versuchsperson (V.P.) war ein 21jähriger Arbeiter, der nur als Lehrling in einem Walzwerke gearbeitet hatte, eine Tätigkeit, die nicht als „Hitzearbeit“ im eigentlichen Sinne aufzufassen ist. Als er zu uns kam, war er arbeitslos und hatte 2 Monate vorher seine 1/2jährige Arbeitsdienstpflicht beendet. Er war in jeder Beziehung gesund und durch die vorangegangene Arbeitsdienstzeit an körperliche Leistungen gewöhnt. Seine anthropometrischen Daten waren folgende:

Körpergewicht	65,0 kg	Ellenbogenhöhe	102,3 cm
Scheitelhöhe	165,1 cm	Handgelenkhöhe	78,6 „
Brustbeinhöhe	133,5 „	Fingerspitzenhöhe	59,2 „
Akromionhöhe	135,6 „	Darmbeinstachelhöhe	93,7 „

Höhe der Kniegelenkfuge	41,8 cm	Unterarmumfang, kleinster	18,2 cm
Knöchelhöhe	6,3 „	Oberschenkelumfang, größter	53,7 „
Fußlänge	25,4 „	„ „ kleinster	38,5 „
Sitzhöhe	83,5 „	Unterschenkelumfang, größter	36,8 „
Akromionbreite	39,5 „	„ „ kleinster	22,0 „
Beckenbreite	24,7 „	Konstitutionsindex	56,7 „
Brustumfang, mittel	93,8 „	Typus	muskulär
„ „ tief eingeatmet	99,0 „	Pulszahl, liegend	48,0
„ „ tief ausgeatmet	88,4 „	„ „ stehend	56,0
Oberarmumfang, gebeugt	31,8 „	Blutdruck	108/60
„ „ gestreckt	29,7 „	Vitalkapazität	4110 ccm
Unterarmumfang, größter	27,9 „		

Während der Versuchszeit wohnte die V.P. im Institut. Ihre Lebensweise wurde auf das strengste kontrolliert. Die Zubereitung der Speisen wurde genau überwacht, der Chlorgehalt der Nahrung und Ausscheidungen in der früher beschriebenen Weise ermittelt. Da der Chlorgehalt des Kotes im ganzen sehr gering ist und, wie wir früher gesehen hatten, sehr konstant bleibt, wurde entsprechend dem Vorgehen von *Meyer-Bisch*⁵ auf Kotanalysen verzichtet und für die Bilanzberechnung ein Wert von täglich 50 mg in Rechnung gesetzt.

Ein prinzipieller Unterschied der Methodik gegenüber den früheren Versuchsreihen bestand darin, daß im Laufe eines Arbeitsversuches weder die Belastung des Fahrradergometers noch das Arbeitstempo geändert wurde. Die pro Minute geleistete Arbeit sollte also vom Anfang bis zum Schluß jedes Versuches auf der gleichen Höhe bleiben. Die V.P. hatte die Aufgabe, täglich 3 Stunden lang eine Leistung von etwa 500—600 mkg pro Minute bei einer Umgebungstemperatur von 37° C zu verrichten. Das Tempo wurde durch ein Metronom vorgeschrieben. Während der 7 Wochen dauernden Versuchsreihe wurde wiederum eine Cl-Bilanz aufgestellt. Neben Körpertemperatur und Pulszahl wurde der Arbeits- und Erholungsumsatz beobachtet. Ferner wurde eine Reihe von blutchemischen Funktionen verfolgt. Das Blut wurde während der Arbeit aus der Vena cubitalis entnommen. Der Blutzucker wurde nach *Hagedorn-Jensen*, das Blutphosphat nach *Myrbäck* in der von *Szakáll* angegebenen Weise, das Serumchlor nach *Koranyi*, modifiziert von *Lehmann* und *Szakáll*, bestimmt.

Um die V.P. an die Fahrradarbeit als solche zu gewöhnen, wurde mit einer 5tägigen Einarbeit begonnen. Hierbei erhielt die V.P. Chlor in der ausreichenden Menge von etwa 9 g pro Tag. Um die eigentlichen Versuche bei einem sicher ausreichenden Chlorbestand des Körpers beginnen zu lassen, wurde nunmehr ein Ruheabschnitt von 8 Tagen eingeschaltet, in dem täglich 13 g Chlor zugeführt wurde. Dann erst begannen die Hitzeversuche, wobei nur 4 g Chlor pro Tag gegeben wurde.

Bei dieser außerordentlich geringen Zufuhr mußte der Chlormangel, wenn er überhaupt eine Rolle spielt, sich schnell bemerkbar machen. Tatsächlich trat in diesem 3. Abschnitt bereits am 4. Tage eine derartige Verschlechterung des Gesundheitszustandes ein, daß die Arbeitsversuche abgebrochen werden mußten. Trotzdem wurde die chlorarme Ernährung bis zum 20. 6. weiter fortgeführt. An diesem Tage mußte die Chlorzufuhr auf 7 g pro Tag erhöht werden, da das Befinden der V.P. so schlecht war, daß eine Weiterführung der Versuchsreihe nicht verantwortet werden konnte. Die geringe Erhöhung der Chlorzufuhr führte zu einer Besserung

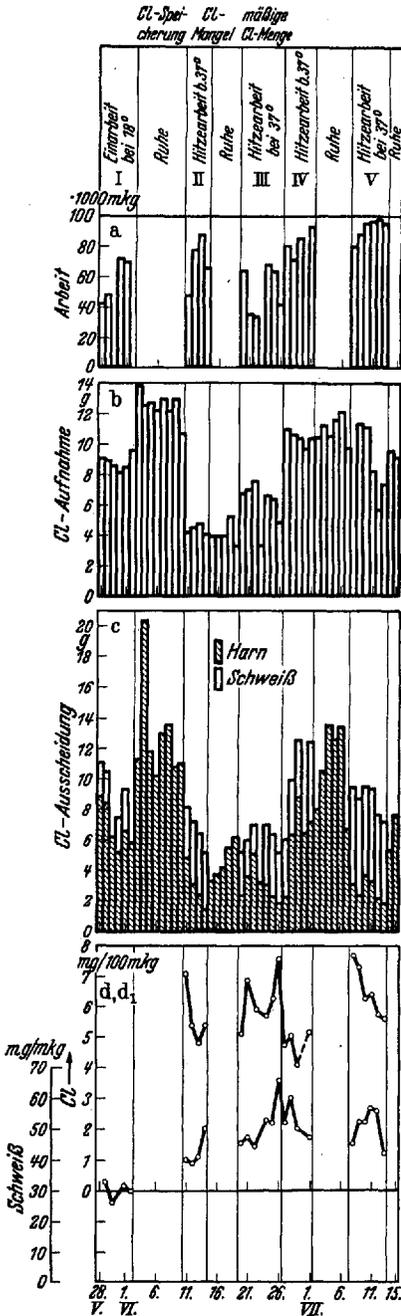


Abb. 1a—d.

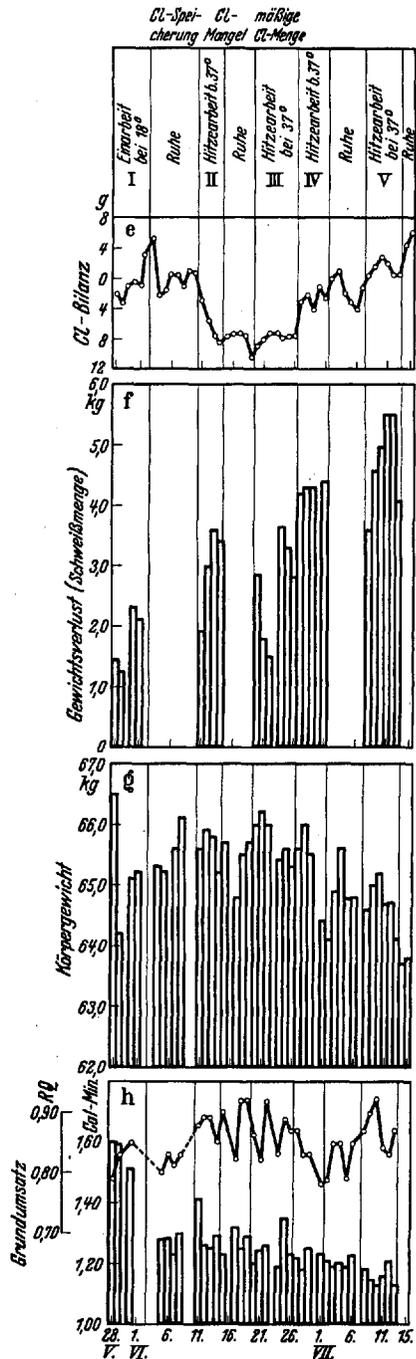


Abb. 1e—h.

im Befinden der V.P., so daß die Arbeitsversuche fortgesetzt werden konnten.

Vom 27. 6. an bekam die V.P. wieder eine ausreichende Chlormenge von etwa 10—11 g pro Tag. Vom 2. 7. bis 7. 7. wurde eine weitere Ruheperiode mit einer täglichen Zufuhr von 11 g eingeschaltet, die nur durch einen einzelnen, bei Zimmertemperatur ausgeführten Arbeitsversuch unterbrochen wurde. Vom 8. bis 13. 7. wurden nochmals Arbeitsversuche bei 37° und ausreichender Chlorzufuhr ausgeführt. Zwei Ruhetage beendeten dann die Versuchsreihe.

Versuchsergebnisse.

Um einen Überblick über die während der Versuchsreihe aufgetretenen Erscheinungen zu erhalten, beginnen wir mit der Besprechung der Chlorbilanz (s. a. Tabelle I und Abb. 1, Kurve e) im Zusammenhang mit dem subjektiven Befinden der V.P. und den bei dieser aufgetretenen pathologischen Erscheinungen. Während der 5tägigen Einarbeit bleibt die Chlorbilanz nach einem anfänglichen Verlust von 3 g nahezu ausgeglichen. Die Zufuhr von 9 g (Kurve b) ist also offenbar ausreichend, um den Bedarf bei Arbeit in Zimmertemperatur zu decken. Auffallenderweise geht an dem der Arbeit folgenden Ruhetag trotz gleichbleibender Chlorzufuhr die Bilanz sprunghaft in die Höhe, um am nächsten Tage bei auf 12 g erhöhter Zufuhr einen positiven Wert von etwa 6 g zu erreichen. Dieses Niveau wird jedoch in der nun folgenden Ruheperiode trotz der hohen Zufuhr von 12 g pro Tag nicht beibehalten. Die Bilanzkurve sinkt vielmehr sofort wieder ab, um während des ganzen Abschnittes dicht bei Null zu bleiben.

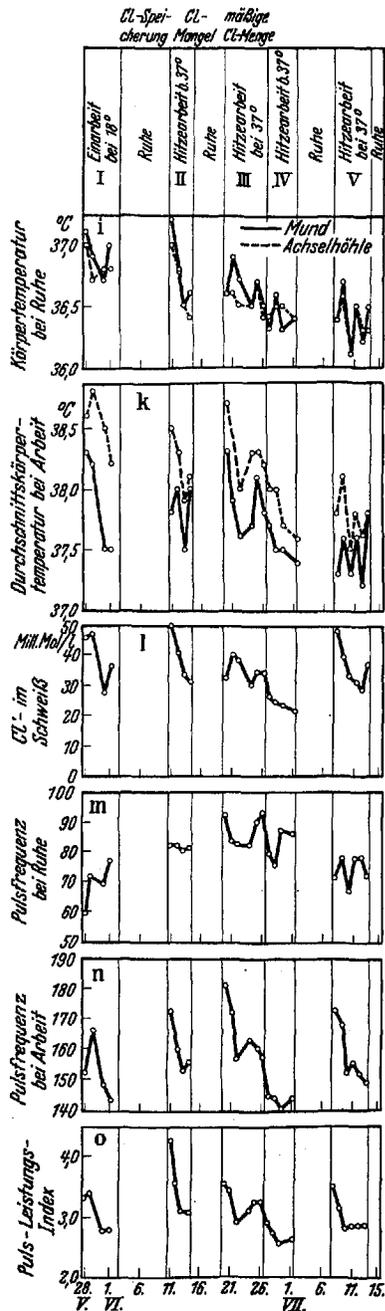


Abb. 1 t-o.

Datum	Wochentage	Art des Versuches	Dauer der Arbeit in Min.	Gesamte Arbeit in mkg	Durchschnittsleistung pro Min.	Tägliche Cl-Aufnahme in g	Harn			Schweiß						
							Tagesmenge in cem	Spez. Gewicht	Cl-Gehalt in g	Gewichtsverlust (Schweißmenge) in kg	Cl-Gehalt in g	Cl-Gehalt in Milli-mol.	Cl-g pro 100 in mkg			
28. 5.	D.	I Ein- arbeit	70	41 800	598	9,12	910	1,025	8,74	1,40	2,30	46,3				
29. 5.	M.		90	48 530	540	9,03	750	1,029	8,40	1,25	2,07	46,6				
30. 5.	D.		130	70 520	543	8,63	610	1,032	6,20							
31. 5.	F.					8,17	680	1,030	5,25	2,25	2,23	27,9				
1. 6.	S.					8,52	1106	1,017	6,60	2,08	2,66	36,0				
2. 6.	So.					9,59	1060	1,016	5,73							
3. 6.	M.					13,89	1155	1,024	11,27							
4. 6.	D.					12,47	1760	1,022	20,22							
5. 6.	M.		Ruhe			12,59	1050	1,026	11,77							
6. 6.	D.					12,23	995	1,028	10,21							
7. 6.	F.	12,88				1115	1,025	12,97								
8. 6.	Sa.	12,24				1230	1,027	13,62								
9. 6.	So.	12,92				1080	1,027	10,86								
10. 6.	M.	10,67				1050	1,028	10,96								
11. 6.	D.	II				90	47 530	530	4,23	545	1,027	4,67	1,90	3,39	50,3	0,007
12. 6.	M.	Arbeits				150	77 910	519	4,46	375	1,026	2,95	3,00	4,22	39,6	0,005
13. 6.	D.	bei				170	88 315	520	4,62	975	1,026	2,25	3,58	4,19	33,0	0,005
14. 6.	F.	37° C				130	66 830	513	4,14	730	1,022	1,43	3,35	3,62	30,5	0,005
15. 6.	S.	Ruhe			3,98	950	1,023	3,23								
16. 6.	So.				4,04	1525	1,013	3,65								
17. 6.	M.				4,02	916	1,021	4,22								
18. 6.	D.				5,31	735	1,028	5,45								
19. 6.	M.				3,34	1310	1,015	6,21								
20. 6.	D.				110	62 890	570	6,73	1205	1,013	2,05	2,85	3,19	31,6	0,005	
21. 6.	F.	III Arbeits bei 37° C	60	36 441	608	7,00	1250	1,017	3,50	1,75	2,51	40,7	0,007			
22. 6.	S.		60	34 140	569	7,50	895	1,025	5,04	1,50	2,02	38,0	0,006			
23. 6.	So.		3,36	535	1,028	3,27										
24. 6.	M.		130	68 380	525	6,56	675	1,027	3,02	3,64	3,86	29,9	0,007			
25. 6.	D.		120	63 850	531	6,51	595	1,027	2,24	3,32	4,03	34,2	0,007			
26. 6.	M.		80	41 820	523	4,89	480	1,032	1,71	2,75	3,37	32,5	0,005			
27. 6.	D.		150	79 600	531	10,99	530	1,031	2,14	4,17	3,86	25,8	0,005			
28. 6.	F.		130	71 900	552	10,55	740	1,025	6,28	4,28	3,75	24,0	0,005			
29. 6.	S.		160	84 830	530	10,49	892	1,027	8,75	4,28	3,84	22,9	0,004			
30. 6.	So.		37° C	180	94 440	524	9,68	650	1,027	6,37						
1. 7.	M.	IV Arbeits bei 37° C	180	94 440	524	10,50	790	1,025	7,20	4,40	5,07	31,3	0,005			
2. 7.	D.		10,54	156	1,024	7,93										
3. 7.	M.		11,29	1030	1,023	10,48										
4. 7.	D.		180	103 160	575	10,60	1025	1,026	12,40	1,75	1,06	17,1	0,001			
5. 7.	F.		11,60	1230	1,021	12,57										
6. 7.	S.		12,20	1965	1,015	13,53										
7. 7.	So.		9,77	820	1,021	6,68										
8. 7.	M.		150	79 480	529	11,37	590	1,027	3,14	3,60	6,38	48,1	0,008			
9. 7.	D.		160	88 170	551	9,75	510	1,025	2,29	4,60	6,42	39,4	0,007			
10. 7.	M.		180	94 800	527	11,17	570	1,025	3,67	4,96	5,85	33,3	0,006			
11. 7.	D.	180	95 845	532	8,26	513	1,028	3,27	5,48	6,09	31,4	0,006				
12. 7.	F.	37° C	180	97 645	542	5,73	442	1,030	2,01	5,48	5,55	28,6	0,007			
13. 7.	S.	180	95 655	531	7,38	480	1,034	1,80	4,05	5,36	37,3	0,006				
14. 7.	So.	V Arbeits bei 37° C			9,51	685	1,032	5,35								
15. 7.	M.				Ruhe	9,22	782	1,028	7,70							

Es folgen nun die Arbeitsversuche bei hoher Temperatur und geringer Chlorzufuhr. Bereits der erste Tag bringt eine Senkung der Bilanz um fast 4 g. Am 2., 3. und 4. Tag wird weiteres Chlor verloren, jedoch wird ebenso, wie wir bei den früheren Bilanzversuchen sahen, der Chlorverlust von Tag zu Tag kleiner. Bei einem Chlorverlust von im ganzen etwa 8 g, einem Verlust also, der weit geringer war als der, den wir bei der früher untersuchten, hitzegewöhnten V.P. sahen, traten am 4. Arbeitstage (14. 6.) folgende Erscheinungen auf: Während des Arbeitsversuches wurde der Puls im Laufe des Versuches zusehends kleiner und weicher. Die Pulsfrequenz betrug etwa 180. Nach 2stündiger Arbeit wurde der Puls plötzlich hart und gespannt, die Schlagfrequenz erschien dabei halbiert, jedoch folgte auf je zwei volle und gespannte Pulsschläge ein kleiner Pulsschlag, der kaum zu fühlen war. Äußerlich war an der V.P. zunächst keine Veränderung wahrzunehmen. Es bestand keine Atemnot und keine Cyanose. Der Versuch wurde selbstverständlich sofort abgebrochen. Der Puls alternans verschwand etwa nach 5 Min. Die Auskultation des Herzens ergab eine leichte systolische Unreinheit.

Nach der Unterbrechung des Versuches machte die V.P. einen recht erschöpften und apathischen Eindruck. Auf Befragen gab sie an, daß ihr sehr übel geworden sei; es hätten heftige Kopfschmerzen eingesetzt. Diese Änderung im subjektiven Befinden sei ganz plötzlich eingetreten, nur habe schon eine Zeitlang vorher Herzklopfen bestanden. Sie hätte das Gefühl gehabt, als ob sie vom Fahrrad fallen müßte und ohnmächtig werden würde. Das Allgemeinbefinden der V.P. besserte sich erst, als ihr 2 g NaCl gegeben wurden; die Kopfschmerzen ließen nur allmählich nach. Beim Versuch, aufzustehen, trat eine halbe Stunde lang immer noch Schwindel ein. Nach einer Stunde fühlte sich die V.P. wieder völlig wohl, erst dann hörte man auch am Herzen keine systolische Unreinheit mehr.

An den folgenden 4 Ruhetagen bei sehr chlorarmer Ernährung blieb die Chlorbilanz etwa auf dem Wert von — 8 g stehen. Erst am 5. Tage ging sie auf — 10 g herunter. In diesen Tagen bestand ausgesprochene Appetitlosigkeit und Müdigkeit. Auch klagte die V.P. häufig über Kopfschmerzen. Als besonders lästig wurde ein Hitzegefühl im Kopf empfunden. Dieses Gefühl entsprach objektiv einer maximalen Rötung der Haut. Eine Steigerung der Körpertemperatur bestand dabei nicht. Am 20. 6. wurden nach dem Wiederbeginn der Arbeit diese Erscheinungen, vor allem das Gefühl der Hitze im Kopf und Oberkörper, für die V.P. unerträglich. Die V.P. fühlte sich so schlecht, daß sie eine Ohnmacht befürchtete. Obwohl die V.P. sich gleich nach der Arbeit zu Bett gelegt hatte, betrug die Pulsfrequenz am Abend 92. Der erste Ton an der Herzspitze war verlängert und unklar. Ein ausgesprochenes Geräusch bestand jedoch nicht. Dieser Allgemeinzustand schien uns so bedrohlich, daß wir uns gezwungen sahen, von einer weiteren Verlängerung des Zustandes

äußersten Chlormangels abzusehen. Um 21 Uhr gaben wir 2 g NaCl in Wasser zu trinken. Der Zustand besserte sich hierauf außerordentlich schnell. Bereits nach 10 Min. war die Pulsfrequenz auf 67 gesunken. Das Druckgefühl bestand jedoch noch weiter. Eine halbe Stunde später gaben wir nochmals 2 g Kochsalz. In der folgenden Viertelstunde schwanden Druck- und Hitzeempfindung, auch die Kopfschmerzen hörten auf. Die Pulszahl blieb normal. Auffallend war, daß sich sofort ein Gefühl des Heißhungers einstellte. Die V.P., die vorher eine Nahrungsaufnahme fast völlig verweigert hatte, vertilgte eine ganze Tagesration auf einmal und fühlte sich daraufhin wieder völlig hergestellt.

Die Erhöhung der Chloraufnahme auf etwa 6—7 g am 20. 6. gestattete eine Fortführung der Arbeitsversuche. Die Werte für die maximale Arbeit (Kurve a) lagen an den einzelnen Tagen zwischen 35 000 und 66 000 mkg. Die niedrigen Werte erklären sich dadurch, daß an einigen Tagen die Erschöpfung der Leistungsfähigkeit nicht abgewartet, sondern aus Gründen der Vorsicht die Arbeit nach einer Stunde abgebrochen wurde. Wenn die Arbeit bis zur Leistungsgrenze durchgeführt wurde, lagen die Werte nicht wesentlich niedriger als in der früheren Arbeitsperiode. Die Chlorbilanz ging von dem niedrigsten Wert von — 10 in 2 Tagen auf — 8 g herauf, hielt sich aber dann konstant auf diesem Wert.

Erst die Erhöhung der Chlorzufuhr auf durchschnittlich 10—11 g hatte einen weiteren Anstieg der Chlorbilanz zur Folge. Während dieser Zeit, also während des Anstieges der Chlorbilanz, betrug die maximale Arbeitsleistung etwa 80 000 mkg. Die V.P. konnte die von uns vorgeschriebene Aufgabe ohne Schwierigkeiten bewältigen. Das subjektive Befinden war ausgezeichnet. Man gewinnt den Eindruck, daß von diesem Abschnitt an sich eine positive Trainingswirkung bemerkbar macht. Wir sehen daher neben dem Anstieg der Chlorbilanz eine wesentlich größere Schweißbildung (Kurve f) als früher, gleichzeitig aber ein Absinken der Chlorausscheidung je 100 mkg Arbeit (Kurve d). Die Chlorkonzentration des Schweißes (Kurve l) geht also zurück. Auch die später noch im einzelnen zu besprechenden Erscheinungen, die wir beim Ruhestoffwechsel (Kurve h), der Körpertemperatur (Kurven i und k), der Pulsfrequenz (Kurven m und n) und dem Pulsleistungsindex (Kurve o) beobachteten, sprechen dafür, daß die Leistungsfähigkeit in diesem Abschnitt bedeutend höher ist als in dem vorangegangenen. Aus den früheren Versuchen sind wir berechtigt, zu schließen, daß nicht die Erhöhung der Chlorzufuhr und der Anstieg der Chlorbilanz primär für diese Erscheinungen verantwortlich zu machen sind, sondern daß das Primäre ein Trainingseffekt im Sinne einer Gewöhnung an die Hitzearbeit sein muß.

In dem nun folgenden Ruheabschnitt vom 2. bis 7. 7. steigt bei gleichbleibender Chlorzufuhr die Chlorbilanz auffallenderweise nicht weiter an, sinkt sogar vorübergehend auf — 4 g. In dem letzten Arbeitsabschnitt vom 8. bis 13. 7. bleibt sie trotz Arbeit und durchschnittlich geringerer

Zufuhr über 0 und erreicht vorübergehend den Wert von + 3. Die Erscheinungen, die wir schon im letzten Arbeitsabschnitt sahen, setzen sich dabei fort. Bei steigender Leistungsfähigkeit nimmt die Schweißmenge zu, die Chlorausscheidung im Schweiß je 100 mkg Arbeit nach einer anfänglich durch den Trainingsverlust in den Ruhetagen bedingten Erhöhung, zeigt fallende Werte. Körpertemperatur und Pulsfrequenz liegen relativ niedrig.

Die Betrachtung der weiteren Kurven auf Abb. 1 gestattet es, die an Hand der Bilanzkurve bisher besprochenen Erscheinungen weiter zu analysieren. An der Kurve c fällt auf, daß gegen Ende der Versuchsreihe die Chlorausscheidung im Schweiß relativ viel größer ist als die im Harn. Gleichzeitig steigt aber auch, wie Kurve f zeigt, die gebildete Schweißmenge sehr beträchtlich an. Im letzten Versuchsabschnitt beträgt sie etwa das 3fache des ersten Versuchsabschnittes, während die Arbeitsleistung noch nicht ganz das Doppelte beträgt (Kurve a). Auf die Einheit der Arbeit umgerechnet ergibt sich das Bild der beiden Kurven d und d_1 . Trotz der allmählichen Verarmung des Körpers an Chlor steigt die Chlorausscheidung je Einheit der Arbeit zunächst an. Dabei darf allerdings nicht übersehen werden, daß dieser Anstieg sich bei relativ kleinen Arbeitsleistungen findet. In dem Moment, wo im Arbeitsabschnitt IV die Arbeitsleistung bei vermehrter Chlorzufuhr wieder erhöht wird, steigt die Chlorausscheidung je Einheit der Arbeit nicht, sondern sinkt sogar auf einen Wert, der dem entspricht, der im Arbeitsabschnitt II nach wenigen Trainingstagen auch erreicht wurde. Körperruhe mit hoher Chlorzufuhr führt dazu, daß im Arbeitsabschnitt V zunächst je Einheit der Arbeit vermehrt Chlor ausgeschieden wird. Dann aber tritt wiederum ein Rückgang ein, der bei entsprechender Fortsetzung der Versuche offenbar wieder bis auf etwa 5 mg Chlor pro 100 mkg Arbeit herunter geführt haben würde.

Wesentlicher als der Cl-Bestand des Körpers scheint der Trainingszustand für die Cl-Ausscheidung pro mkg zu sein. Eine Ruheperiode von wenigen Tagen genügt, um sie vorübergehend zu erhöhen. Wenige Arbeitstage bringen sie fast unabhängig von der Cl-Bilanz auf einen nahezu konstanten Wert herab.

Anders verhält sich die Wasserausscheidung (Kurve d_1). Auch dann, wenn wir den ersten Arbeitsabschnitt, der bei Zimmertemperatur ausgeführt wurde, außer acht lassen, ergibt sich mit zunehmender Chlorverarmung eine Zunahme, später wieder eine geringe Abnahme der pro 100 mkg gebildeten Schweißmenge. In den früheren Versuchsreihen hatten wir festgestellt, daß die Schweißmenge pro 100 mkg eine relativ sehr konstante Größe darstellt, die durch Wasser- und Salzwassertrinken nicht sichtbar geändert werden kann. Dagegen hatte sich bereits ergeben, daß mit zunehmendem Training die Schweißmenge je Einheit der Arbeitsleistung ansteigt. Wir sehen jetzt, daß daneben offenbar die Chlorverarmung auf die Schweißbildung pro Arbeitseinheit nicht ohne Einfluß

ist. Auf die Trainingskurve, die einer allmählichen Zunahme entspricht, ist ein Gipfel aufgesetzt an den Tagen des stärksten Cl-Mangels. Wahrscheinlich führt die erwähnte starke Erweiterung der Hautcapillaren infolge des Cl-Mangels zu einer vermehrten Schweißbildung. Auch muß man daran denken, daß der verminderte Cl-Gehalt der Gewebe, deren Fähigkeit Wasser zu binden, herabsetzt.

Der Quotient aus den Kurven d und d_1 ergibt die Chlorkonzentration im Schweiß, die in Kurve l in Millimol pro Liter eingetragen ist. Im großen und ganzen liegt die Konzentration in allen Arbeitsabschnitten auf dem gleichen Niveau, jedoch ist unverkennbar, daß innerhalb der einzelnen Abschnitte ein deutliches Absinken festzustellen ist. Dieses Absinken ist um so größer, je länger der Abschnitt dauert, aber offenbar ganz unabhängig von der Chlorbilanz, denn das Absinken setzt sich bei dem Übergang aus dem Zustand des Chlormangels in einen chlorreicheren ohne Unterbrechung fort. Das Absinken der Cl-Konzentration ist ein typischer Trainingseffekt, der offenbar sehr schnell erworben, aber auch ebenso schnell wieder verloren wird. Auffallend ist die Parallelität dieser Kurven mit den Kurven der Körpertemperatur bei Arbeit (k). Der Gesamtverlauf der Temperaturkurven zeigt zwar ein regelmäßiges Absinken, das sich in der Kurve der Chlorkonzentration nicht findet, die Einzelheiten des Kurvenverlaufes jedoch stimmen bei beiden Kurven weitgehend überein. Ganz das gleiche gilt für die Pulsfrequenz bei Arbeit (n) und für den Pulsleistungsindex (o). Alle diese Kurven zeigen eine weitgehende Übereinstimmung der Einzelheiten bei teilweise recht verschiedenem Charakter des Gesamtverlaufes.

Die Körpertemperatur bei Ruhe (i), bei normaler Außentemperatur gemessen, zeigt im Laufe der ganzen Versuchsreihe ein regelmäßiges Absinken um etwa $0,5^\circ$. Die Chlorbilanzkurve spiegelt sich in diesem Verhalten nicht wieder, sondern allein die Trainingswirkung. Es ist daher verständlich, daß die Grundumsatzkurve (h) ein ganz ähnliches Bild zeigt. In einer früheren Untersuchung⁹ hatten wir darauf hingewiesen, daß Zunahme des Trainingszustandes bzw. die Entwicklung des Zustandes erhöhter Leistungsfähigkeit nach U.V.-Bestrahlung mit einer Senkung des Grundumsatzes einhergeht. Wir sehen diese Entwicklung jetzt bei dem durchgeführten Hitzetraining ganz besonders stark ausgebildet. Der Ruhe-R. Q. zeigt einen von dem erwarteten abweichenden Verlauf. Die Erhöhung, die wir während des Trainings zu sehen gewohnt sind, kommt nur undeutlich zum Ausdruck, dagegen sehen wir eine deutliche Erhöhung des R. Q. in der Zeit der Chlorverarmung, eine Senkung bei Chlorzufuhr und erst dann wieder eine allmähliche Steigerung. Offenbar bestehen zwischen Chlorumsatz und Kohlehydratstoffwechsel Beziehungen. Es sei daran erinnert, daß es uns beim Hund gelang, die auf die Arbeit folgende Cl-Ausscheidung durch Zuckergaben zum Verschwinden zu bringen.

Die Körpertemperatur bei Arbeit (k) zeigt ein wesentlich stärkeres Absinken als die Körpertemperatur bei Ruhe. Die gestrichelt gezeichnete Werte der Axillartemperatur liegen höher und sind als zuverlässiger zu betrachten als die unter der Zunge gemessenen Werte, da infolge der

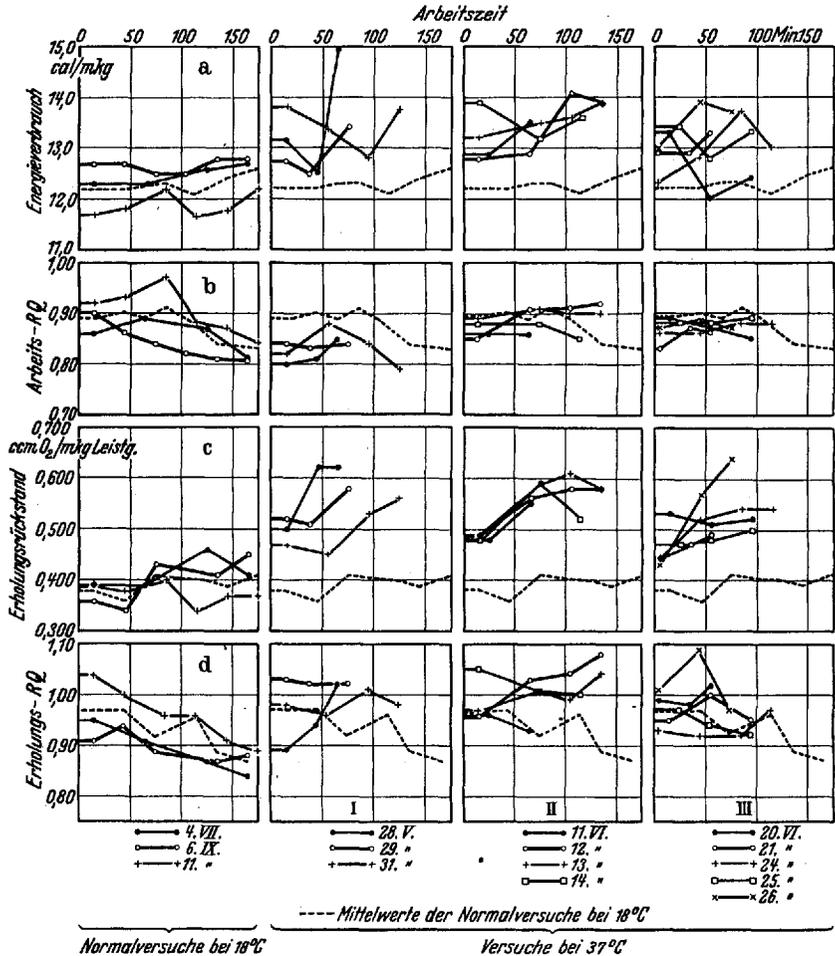


Abb. 2 a.

erhöhten Ventilation bei Arbeit stets eine Abkühlung der Mundhöhle eintritt. Die Kurve der Axillartemperatur zeigt in hervorragendem Maße die im Laufe der Versuchsreihe eintretende Anpassung an die Hitzearbeit. Während im Arbeitsabschnitt I bei einer Zimmertemperatur von 18° noch Axillartemperaturen von 38,8° erreicht werden, finden wir im letzten Abschnitt Versuche bei hoher Arbeitsleistung und einer Raumtemperatur von 37°, bei denen die Körpertemperatur im Durchschnitt 37,5

nicht mehr wesentlich überschreitet. Die gleiche Erscheinung der absinkenden Körpertemperatur hatten wir bereits bei der vergangenen Versuchsreihe beschrieben, mußten jedoch dort die Frage offenlassen, ob es sich im wesentlichen um einen Trainingseffekt oder um einen Einfluß

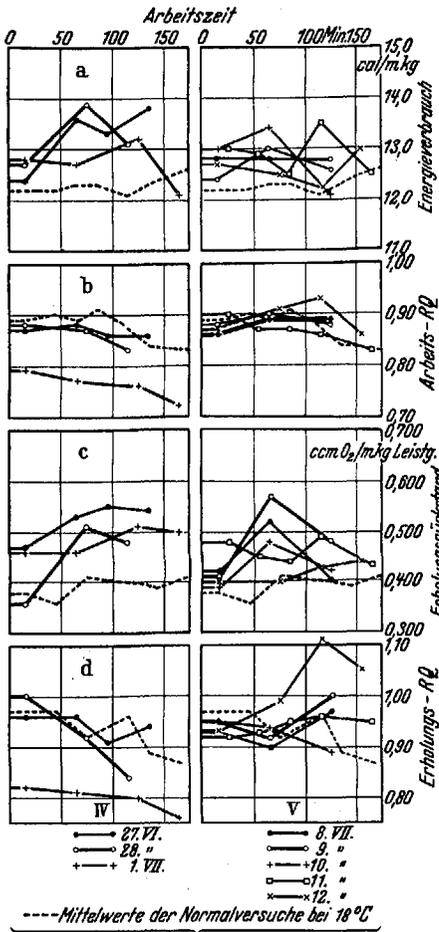


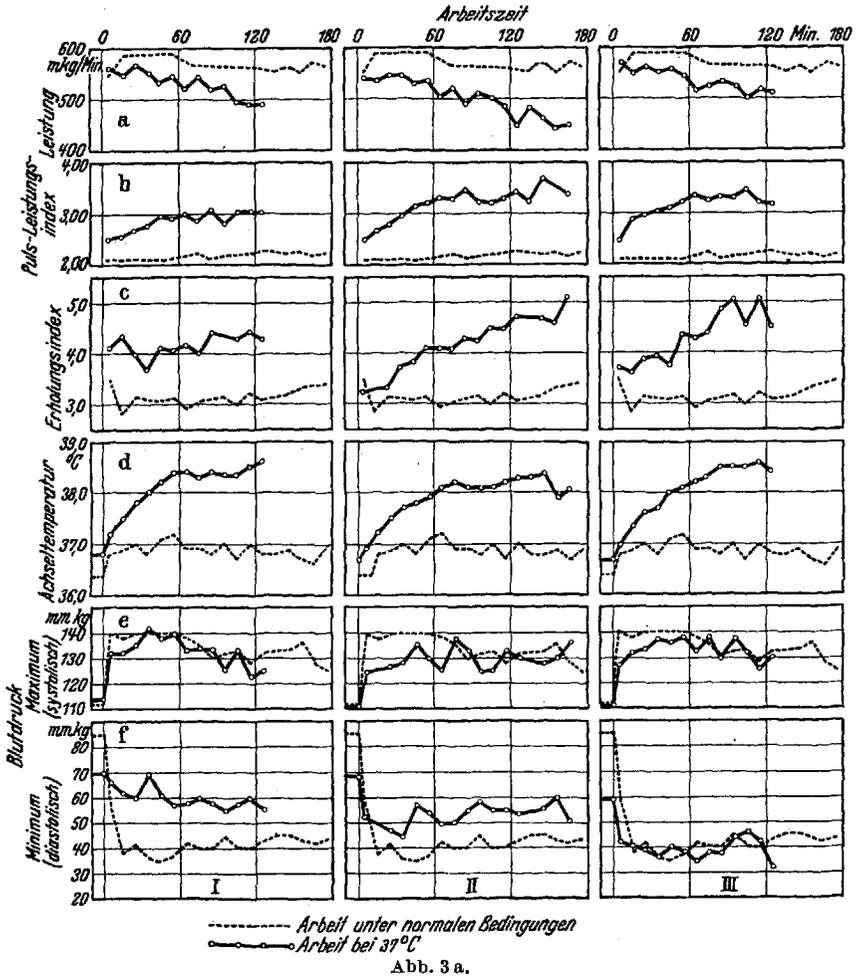
Abb. 2 b.

Es ist daher nicht verwunderlich, daß die Kurve der Pulsfrequenz bei Ruhe im Gegensatz zur Kurve der Körpertemperatur und des Grundumsatzes in erster Linie die Chlorbilanz widerspiegelt. Mit sinkendem Chlorgehalt finden wir steigende Pulswerte, mit steigendem Chlorgehalt sinkende. Auch die Pulsfrequenz bei Arbeit zeigt in ihrem Gesamtverlauf eher ein Abbild der Chlorbilanz als der Trainingskurve. Um so auffällender ist es, daß trotzdem innerhalb der einzelnen Arbeitsabschnitte

der Chlorverarmung handelt. Ein Vergleich der jetzt vorliegenden Kurven mit der zugehörigen Chlorbilanzkurve läßt klar erkennen, daß die Chlorbilanz für das Absinken der Körpertemperatur nicht verantwortlich zu machen ist, vielmehr ist das Absinken des Grundumsatzes, das Absinken der Ruhetemperatur und das Absinken der Arbeitstemperatur als Trainingserscheinung aufzufassen. Die Kurve zeigt überzeugend, daß in einer mehrtägigen Pause ein Teil dieser Erscheinung wieder zurückgeht. In jedem Einzelabschnitt ist der Temperaturrückgang stark ausgesprochen. Die Veränderung der Cl-Konzentration geht offenbar vollkommener zurück. Hieraus ergibt sich die Parallelität beider Kurven in den einzelnen Abschnitten bei abweichendem Gesamtverlauf.

Schon in den früheren Versuchsreihen hatte sich herausgestellt, daß der Chlormangel in erster Linie eine Gefahr für das Herz bedeutet. Die oben wiedergegebene Beschreibung des Verlaufes der Versuchsreihe hat diese Beobachtung bestätigt.

zwischen den Puls- und Temperaturkurven eine überraschende Parallelität besteht. Neben der Cl-Bilanz spielen also für die Pulsfrequenz schnell erworbene und schnell verlorengende Trainingserscheinungen eine Rolle.



Auch in der Kurve des Pulsleistungsindex (o) überdecken sich Trainingserscheinungen und Einflüsse der Chlorbilanz. Ungewohnte Hitzarbeit in Arbeitsabschnitt II führt zunächst zu sehr hohen Indexwerten, die rasch absinken. Die bei Chlorverarmung zu erwartende Steigerung wird durch gleichzeitige Trainingswirkung nahezu kompensiert. Ein Absinken wird erst deutlich, wenn Steigerung der Chlorzufuhr und Trainingseffekt sich gleichzeitig im Sinne einer Senkung auswirken.

Der bisher durchgeführten Betrachtung wurden die während der einzelnen Versuche erhaltenen Durchschnittswerte zugrunde gelegt. Durch diese Darstellung gehen naturgemäß eine Fülle von Einzelheiten verloren, die bei einer Betrachtung des Verlaufes der einzelnen Versuche

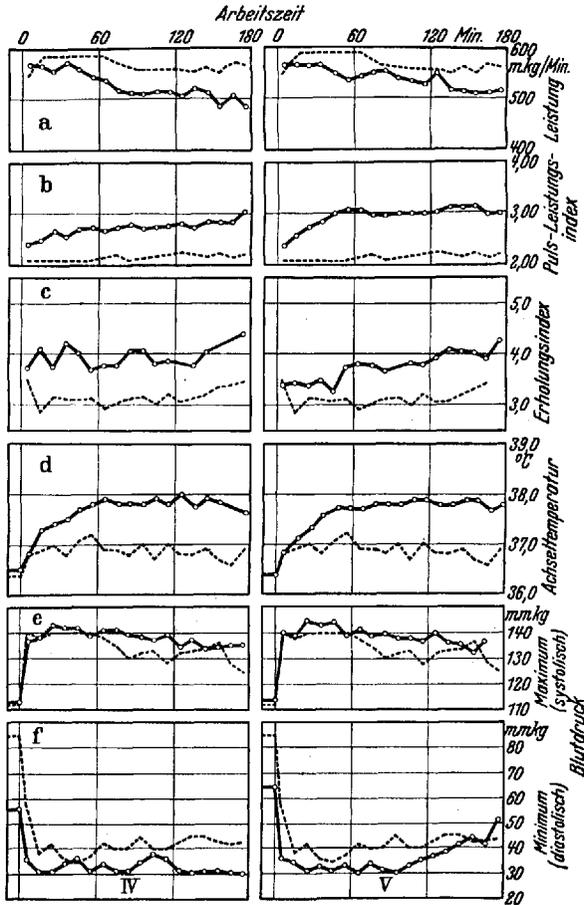


Abb. 3 b.

erkennbar werden. In den Abb. 2, 3 und 4 sind weitere Beobachtungen zusammengestellt, die den Verlauf innerhalb der einzelnen Versuche erkennen lassen. Ein Teil der hier wiedergegebenen Untersuchungen, wie die laufende Bestimmung des Calorienverbrauches pro mkg, des R.Q. bei Arbeit und Erholung und des Sauerstoffverbrauches während der Erholung sowie die in Abb. 3 wiedergegebenen Blutuntersuchungen konnten nur in einem Teil der Versuche durchgeführt werden. Es sind

daher in Abb. 2 und 3 Einzelwerte dieser Versuche niedergelegt. In der ersten Spalte der Abb. 2 und 4 sind einige Versuche eingetragen, die bei Zimmertemperatur in volltrainiertem Zustand ausgeführt wurden. Die punktierte Linie gibt den Durchschnittsverlauf dieser Versuche an. Bei den folgenden Versuchsabschnitten ist, um einen besseren Vergleich zu ermöglichen, diese punktierte Durchschnittskurve jeweils mit eingezeichnet. Jede einzelne Darstellung gestattet also einen Vergleich zwischen dem Ergebnis des betreffenden Versuchsabschnittes und dem Resultat bei Zimmertemperatur in trainiertem Zustand. Die in Abb. 3 wiedergegebenen Funktionen wurden in allen Versuchen bestimmt; jedoch sind hier nur Durchschnittswerte aller Versuche des gleichen Abschnittes eingetragen. Die punktierten Linien entsprechen wiederum dem Mittel der Versuche bei Zimmertemperatur in trainiertem Zustand.

Bei dem Calorienverbrauch pro mkg (Abb. 2a) sehen wir zunächst, daß die in dem Arbeitsabschnitt I, also in völlig untrainiertem Zustand bei Zimmertemperatur erhaltenen Werte eine verhältnismäßig große Streuung aufweisen und im ganzen deutlich höher liegen als die im trainierten Zustand erhaltenen Normalwerte. Der Übergang zur Arbeit bei hoher Temperatur im Arbeitsabschnitt II bringt eine weitere, wenn auch nicht sehr beträchtliche Erhöhung der Durchschnittslage. Diese Erhöhung der Werte muß sicher auf die hohe Außentemperatur zurückgeführt werden, da bei gleichbleibender Temperatur ein Absinken der Werte zu erwarten wäre. Deutlich ist, daß sowohl im Arbeitsabschnitt I wie auch im Arbeitsabschnitt II während der einzelnen Versuche eine gewisse Erhöhung des Energieverbrauches pro mkg eintritt. Die Versuche im Arbeitsabschnitt III zeigen eine verhältnismäßig große Streuung, die wohl auf den schlechten Allgemeinzustand in diesem Abschnitt zurückzuführen ist. Trotzdem liegen die Werte im Mittel eher niedriger als die der vorangegangenen Gruppe. Im Arbeitsabschnitt IV liegen die Durchschnittswerte vielleicht wiederum ein wenig niedriger, deutlich niedriger aber im Arbeitsabschnitt V.

Betrachten wir die ganze Versuchsreihe, so können wir zunächst feststellen, daß offenbar der Chlorbestand des Körpers auf die Höhe des Energieverbrauches keinen wesentlichen Einfluß hat. Vielmehr ergibt sich im Laufe der ganzen Versuchsreihe ein allmähliches Absinken infolge Verbesserung des Trainingszustandes. Daneben bleibt deutlich ein Einfluß der hohen Außentemperatur auf den Energieverbrauch bestehen. Auch in der Versuchsgruppe V liegen die Werte, die bei hoher Temperatur gewonnen wurden, noch deutlich höher als die bei den Kaltversuchen im trainierten Zustand ermittelten Normalwerte. Der Unterschied ist allerdings nicht beträchtlich und dürfte im Mittel etwa 8% betragen.

Dieser Befund steht in einem gewissen Gegensatz zu den in der Literatur niedergelegten Angaben. Zum Teil lassen sich die Abweichungen

auf methodische Ursachen zurückführen. In den Versuchen von *Strauss*¹⁰ betrug die Arbeitsleistung pro Minute nur 200 mkg und wurde nur 45 Min. lang ausgeführt. In einer 2. Versuchsreihe war die Leistung sogar noch geringer. Auch die Temperaturen liegen in der Mehrzahl der Versuche niedriger als bei uns. *Herxheimer*¹¹, der ebenso wie *Strauss*, eine Erhöhung des Energieverbrauches, wie auch der O_2 -Schuld durch gesteigerte Außentemperatur leugnet, ließ nur 15 Min. lang arbeiten, verlangte in dieser Zeit allerdings die sehr hohe Leistung von durchschnittlich 1100 mkg/Min. Bei den *Herxheimerschen* Versuchen arbeitete die V.P. an einem *Kroghschen* Fahrradergometer offenbar nach dem Takt eines Metronoms, ohne daß die geleistete Arbeit gemessen wurde. Nach unserer Erfahrung ist es schon bei einer Leistung von 500—800 mkg/Min., besonders in untrainiertem Zustand, kaum mehr möglich, das Tempo nach den Metronomschlägen exakt einzuhalten. Es bleibt daher die geleistete Arbeit hinter dem Soll zurück. Ordnet man die *Herxheimerschen* Werte, wie das in der nachfolgenden Tabelle 2 geschehen ist, zeitlich, so findet man eine allmähliche Zunahme des Sauerstoffverbrauches, die wahrscheinlich darauf zurückzuführen sein dürfte, daß mit steigendem Training die V.P. besser in der Lage war, dem vorgeschriebenen Tempo zu folgen.

Tabelle 2. Vp. Se.

Datum	O_2 -Wert 5.—15. Arbeitsminute
12. 2.	2178 ccm
3. 2.	2192 „
16. 2.	2266 „
20. 2.	2765 „
3. 3.	2537 „

Sehr wahrscheinlich ist es, daß *Herxheimer* die Erhöhung des Energieverbrauches infolge hoher Außentemperatur entgangen ist, weil er in die Berechnung höhere Arbeitswerte einsetzte, als tatsächlich erreicht waren.

*J. A. Campbell*¹² vermißt ebenfalls eine Zunahme der O_2 -Schuld bei Arbeit in hoher Umgebungstemperatur (14—28° C). *Dill* und Mitarbeiter¹³ führten ihre Arbeitsversuche bei einer Außentemperatur von 34° aus. Der Grund, warum hier die Steigerung des Energieverbrauches übersehen wurde, liegt wohl darin, daß gleichzeitige Hitze- und Trainingseinflüsse nicht scharf genug auseinandergelassen wurden.

Ein dem unseren sehr ähnlicher Befund wurde von *Wolginiski* und *Jakowenko*¹⁴ erhoben, die bei einer Außentemperatur von 35° eine Erhöhung des Sauerstoffverbrauches um etwa 10% fanden. Allerdings scheint sich dieser Befund nur auf eine verhältnismäßig kleine Zahl von Versuchen zu stützen.

Der R. Q. bei Arbeit zeigt in allen Versuchen, insofern sie genügend lang fortgesetzt werden konnten, das bekannte allmähliche Absinken während der Arbeit. Ein Vergleich der Kaltversuche in trainiertem und

untrainiertem Zustand zeigt im trainierten Zustand einen deutlich höheren R. Q. als im untrainierten. Wir beobachten also die bekannte Erscheinung einer zunehmenden Kohlehydratverbrennung bei verbessertem Trainingszustand. Die Arbeit unter hoher Temperatur scheint den R. Q. nur wenig zu beeinflussen. Wir sehen ihn bereits im Arbeitsabschnitt II höher liegen als im Arbeitsabschnitt I und sehen diese Bewegung sich im Arbeitsabschnitt III fortsetzen. Der Chlormangel scheint den Arbeits-R. Q. ebenso wie den Ruhe-R. Q. im Sinne einer Erhöhung zu beeinflussen. Die starke Cl-Zufuhr im Arbeitsabschnitt IV wirkt senkend, während im Abschnitt V die Trainingswirkung wieder zum Durchbruch kommt. Dagegen scheint die hohe Außentemperatur auch im trainierten Zustand nicht ganz ohne Einfluß zu sein. Die Mehrzahl der Werte im Arbeitsabschnitt V liegt immer noch tiefer als die bei niedrigen Temperaturen ermittelten R. Q. Der Unterschied ist nur klein und kann vielleicht schon dadurch hinreichend erklärt werden, daß bei gesteigerter Schweißbildung mit dem Schweiß eine nicht unbedeutliche Menge von Kohlensäure abgegeben wird, die bei der Ermittlung des R. Q. unberücksichtigt bleibt.

Die folgende Kurvenschar auf Abb. 2 zeigt das Verhalten der Sauerstoffschuld, die, um eine bessere Vergleichsmöglichkeit zu haben, durch die jeweils erreichte Leistung (mkg/Min.) dividiert ist. Im Arbeitsabschnitt I sehen wir Werte, die beträchtlich über den Normalversuchen im trainierten Zustand liegen, und die im Laufe jedes Versuches einen deutlichen Anstieg zeigen. In den folgenden Arbeitsabschnitten nimmt sowohl die absolute Höhe der O₂-Schuld als auch das Ansteigen während eines Versuches immer mehr ab. Ein typischer Unterschied zwischen den Arbeitsabschnitten II und III bei Chlormangel und den folgenden Abschnitten bei reichlicher Chlorzufuhr besteht nicht. Der Chlorgehalt des Körpers vermag also den Verlauf der fortschreitenden Trainingserscheinungen in bezug auf die Sauerstoffschuld nicht zu beeinflussen. Der Einfluß der hohen Außentemperatur ist wieder im Arbeitsabschnitt V zu erkennen. Die Werte der Sauerstoffschuld liegen durchschnittlich immer noch deutlich höher als die Werte bei niedriger Temperatur. Das Verhalten des Erholungsrückstandes entspricht demnach vollkommen dem Verhalten des Calorienverbrauches pro mkg Arbeit. Die Befunde stehen ebenso wie bei diesem im Gegensatz zu denen einer Reihe älterer Autoren.

Auffallenderweise ergibt das als Erholungsindex bezeichnete Verhältnis zwischen der Erholungsventilation und der minutlichen Leistung, das in Abb. 3 unter c eingetragen ist, ein deutlich anderes Verhalten. Wir sehen hier nicht ein allmähliches Kleinerwerden bei den Arbeitsabschnitten I—V, sondern beobachten, daß die Arbeitsabschnitte II und III, also die bei Chlormangel durchgeführten, sich durch einen wesentlich steileren und höheren Anstieg im Laufe der Versuche auszeichnen.

Erst bei reichlicher Chlorzufuhr werden die Werte wieder niedriger und zeigen schließlich im Abschnitt V ebenso wie die O_2 -Schuld die niedrigsten Werte. Wir müssen demnach feststellen, daß der Chlormangel, der den Calorienverbrauch pro mkg und die Sauerstoffschuld unbeeinflußt läßt, zu einer Ventilationserhöhung im Laufe der Versuche führt, die offenbar nicht durch die Größe des Gaswechsels bedingt ist.

Der R. Q. in der Erholungsperiode, der in Abb. 2 unten dargestellt ist, läßt ebenso wie der R. Q. während der Arbeit und bei Ruhe einen Einfluß der Chlorverarmung erkennen. Arbeitsabschnitt II und III zeigen wiederum deutlich höhere R. Q. als der Abschnitt IV, in dem die Cl-Zufuhr senkend wirkt. Auffallend ist an den R. Q.-Werten, daß das allmähliche Absinken im Laufe der Erholung, das bei den im trainierten Zustand ausgeführten Kaltversuchen deutlich ist, bei den Hitzeversuchen nicht nur vielfach fehlt, sondern häufig eher durch einen Anstieg ersetzt wird. Besonders deutlich ist dieses Verhalten im Arbeitsabschnitt V. Es bleibt fraglich, ob ihm eine Bedeutung zukommt, da es nicht bei allen Versuchen anzutreffen ist.

In Abb. 3 ist oben die allmähliche Abnahme der Leistung pro Minute dargestellt, verglichen wiederum mit dem Ergebnis der Kaltversuche im trainierten Zustand. Es fällt auf, daß beim Übergang vom Arbeitsabschnitt I zum Arbeitsabschnitt II, d. h. beim Beginn der Hitzeversuche, der Leistungsabfall beschleunigt wird. Im Arbeitsabschnitt III, bei starkem Chlormangel, erfolgt jedoch der Abfall nicht schneller als im Arbeitsabschnitt II. Die Versuche wurden im Arbeitsabschnitt III aus Gründen der Vorsicht wegen der offenbar sehr starken Belastung des Kreislaufs vorzeitig abgebrochen. Auf den Gang des Leistungsabfalls hat aber der Chlormangel an sich keinen Einfluß, im Gegenteil sehen wir einen geringen Trainingsfortschritt. Im Arbeitsabschnitt IV setzt sich diese Verbesserung der Leistungsfähigkeit, die in einem langsameren Abfall zum Ausdruck kommt, weiter fort, ebenso im Arbeitsabschnitt V, in dem der Leistungsabfall nur noch sehr gering ist, während er bei den zum Vergleich herangezogenen Kaltversuchen ganz fehlt. Trotz dieses fehlenden bzw. sehr geringen Abfalls der Leistung befand sich die V.P. am Ende der Versuche an der Grenze ihrer Leistungsfähigkeit und war so stark erschöpft, daß eine Weiterarbeit unmöglich war.

Zusammenfassend müssen wir in bezug auf den Leistungsabfall feststellen, daß die Trainingswirkung stark ausgesprochen ist, ein Einfluß der Cl-Bilanz aber fehlt.

Bei Besprechung der Durchschnittswerte hatten wir bereits festgestellt, daß in Übereinstimmung mit den vorangegangenen Versuchen im Pulsleistungsindex die Chlorverarmung des Körpers stark zum Ausdruck kommt. Das gleiche Bild ergibt sich naturgemäß auch aus dem kurvenmäßigen Verlauf. Der Übergang von den Kaltversuchen zu den

Warmversuchen bringt zunächst einen steileren Anstieg des Pulsleistungsindex, der durch den gleichzeitig eintretenden Chlormangel verstärkt wird. Im Arbeitsabschnitt III bleibt das Verhalten des Index daher unverändert, und erst im Arbeitsabschnitt IV sehen wir eine sprunghafte Verbesserung, die so weit geht, daß die Werte sogar niedriger liegen als die Indexzahlen bei den Kaltversuchen des Arbeitsabschnittes I. Der geringe Wiederanstieg im Arbeitsabschnitt V dürfte in erster Linie auf die größere Arbeitsleistung in diesem Abschnitt zu beziehen sein. Bemerkenswert scheint die weitgehende Übereinstimmung zwischen dem Pulsleistungsindex und dem Verlauf des Erholungsindex, der unter c dargestellt ist. Auf das unterschiedliche Verhalten von Erholungsindex und Sauerstoffschuld war bereits hingewiesen worden. Die Erklärung für diesen Unterschied dürfte darin liegen, daß die Störungen der Kreislauffunktionen durch den Chlormangel den Sauerstoffverbrauch nicht beeinflussen, wohl aber den O_2 -Transport und daher auch die Ventilation.

Durch *Dill*¹³ wurde nachgewiesen, daß bei Hitzearbeit das venöse Blut sauerstoffreicher, die arteriovenöse Differenz also kleiner ist. Gleichzeitig wurden bei Hitzearbeitern auffallend hohe Serum-Proteinwerte bei zunehmendem Zellvolumen gefunden.

In bezug auf die Körpertemperatur hatten wir bei Besprechung der Durchschnittswerte bereits festgestellt, daß durch Training bzw. Gewöhnung an die Hitzearbeit die Temperatursteigerung, die im Arbeitsabschnitt I sogar bei Kaltversuchen recht beträchtlich ist, allmählich immer kleiner wird. Das gleiche Bild geben die Verlaufskurven. Besonders stark ist die Verbesserung ausgesprochen beim Übergang vom Arbeitsabschnitt III zum Arbeitsabschnitt IV, also dann, wenn der Trainingsfortschritt besonders groß ist. Im ganzen dürfte die Abnahme der Körpertemperatur infolge des fortschreitenden Trainings durch den Chlorhaushalt unbeeinflusst bleiben.

Der systolische Blutdruck (Abb. 3e) liegt in den ersten Arbeitsabschnitten meist ein wenig niedriger als die Normalwerte der Kaltversuche im trainierten Zustand. Erst im IV. und V. Arbeitsabschnitt übersteigt er dieses Niveau. Während bis zum Arbeitsabschnitt III die Erhöhung des Blutdruckes bei Arbeitsbeginn allmählich einsetzt, erreicht der systolische Druck im Arbeitsabschnitt IV und V sofort mit Beginn der Arbeit seine volle Höhe, um dann im Laufe der Arbeit eher etwas absinken. Größere Unterschiede finden sich beim diastolischen Druck (f). Während bei den Kaltversuchen im untrainierten Zustand der diastolische Druck nur ganz allmählich etwas absinkt, liegt bei fortschreitendem Training bereits der im warmen Zimmer gemessene Ausgangswert niedriger. Sofort mit Beginn der Arbeit geht er auf einen Wert, der zwischen 30 und 40 mm liegt, um im weiteren Verlauf auf diesem sehr niedrigen Niveau zu bleiben. Bei Hitzearbeit im trainierten Zustand liegt dieses Niveau noch etwas tiefer als bei den entsprechenden Kaltversuchen. Die

allmähliche Zunahme des „Pulsdruckes“ im Laufe des Trainings, die unabhängig ist von dem Chlorhaushalt, dürfte auf eine Vergrößerung des Schlagvolumens zu beziehen sein.

Es muß als auffallend bezeichnet werden, daß die Chlorverarmung, die, wie wir sahen, zu einer Mehrbelastung des Herzens, Steigerung der Pulsfrequenz und u. U. sogar zu schweren Störungen der Herztätigkeit führt, im Verhalten des Blutdruckes keinen Ausdruck findet. Die Erklärung dafür dürfte darin liegen, daß die sichtbaren Trainingserscheinungen eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit des Herzmuskels selbst bedeuten, während die Schädigung durch Chlormangel am Reizleitungssystem angreifen dürfte. Der Herzmuskel selbst ist gegen Chlormangel wahrscheinlich ebensowenig empfindlich wie der Skelettmuskel.

In Abb. 4 sind eine Reihe von Blutuntersuchungen zusammengestellt, die es gestatten, die Änderungen der einzelnen Funktionen im Laufe der Arbeit zu verfolgen. Zum Vergleich sind wiederum Kälteversuche im trainierten Zustand herangezogen. Während der Kälteversuche zu Beginn der Versuchsreihe wurden Blutuntersuchungen noch nicht ausgeführt, so daß die entsprechenden Angaben für den Arbeitsabschnitt I leider fehlen. Die ersten beiden Kurven beziehen sich auf Erythrocytenzahl und Hämoglobingehalt des Blutes. Abgesehen von der Tatsache, daß im ganzen die Erythrocytenzahlen eine größere Unregelmäßigkeit aufweisen als die Zahlen des Hämoglobins, fällt auf, daß in den Arbeitsabschnitten II und III während der Arbeit eine Erhöhung des Gehaltes an roten Blutkörperchen auftritt, die beim Hämoglobingehalt fehlt. Die Tatsache, daß der Steigerung der Erythrocytenzahl keine Erhöhung des Hämoglobingehaltes entspricht, läßt sich durch die Annahme erklären, daß als Folge der anstrengenden, ungewohnten Arbeit junge, noch hämoglobinarmer Erythrocyten aus dem Knochenmark in das strömende Blut gelangen. Bei verbessertem Trainingszustand braucht der Körper nicht mehr zu dieser Notmaßnahme zu greifen, so daß jetzt die Werte für die Erythrocytenzahl gleichmäßiger werden, die Erhöhung während der Arbeit kleiner wird. Immerhin scheint es aber, als ob der Erythrocytengehalt des Blutes in den Hitzeversuchen durchschnittlich etwas höher bleibt als in den Kälteversuchen.

Da das organische Phosphat (Kurve d) sich so gut wie ausschließlich in den roten Blutkörperchen findet, so ist eine gewisse Parallelität zwischen den Kurven der Erythrocytenzahlen und den Kurven des organischen Phosphates verständlich.

Die Kurven des anorganischen Phosphates (c) zeigen im ganzen sehr wenig Abweichungen. Unbeeinflusst durch Chlormangel und fortschreitendes Training gleichen fast alle Kurven den im trainierten Zustand bei Arbeit unter niedrigen Temperaturen gewonnenen. Eine Ausnahme hiervon bilden nur 2 Versuche in den Arbeitsabschnitten II und III. In

diesen Versuchen liegen die Werte nicht nur höher, sondern zeigen außerdem während der Arbeit einen weiteren Anstieg. Diese Erscheinungen dürften jedoch nicht typisch für Chlormangel sein, da sie gerade an den Tagen extremsten Chlormangels nicht zu finden sind.

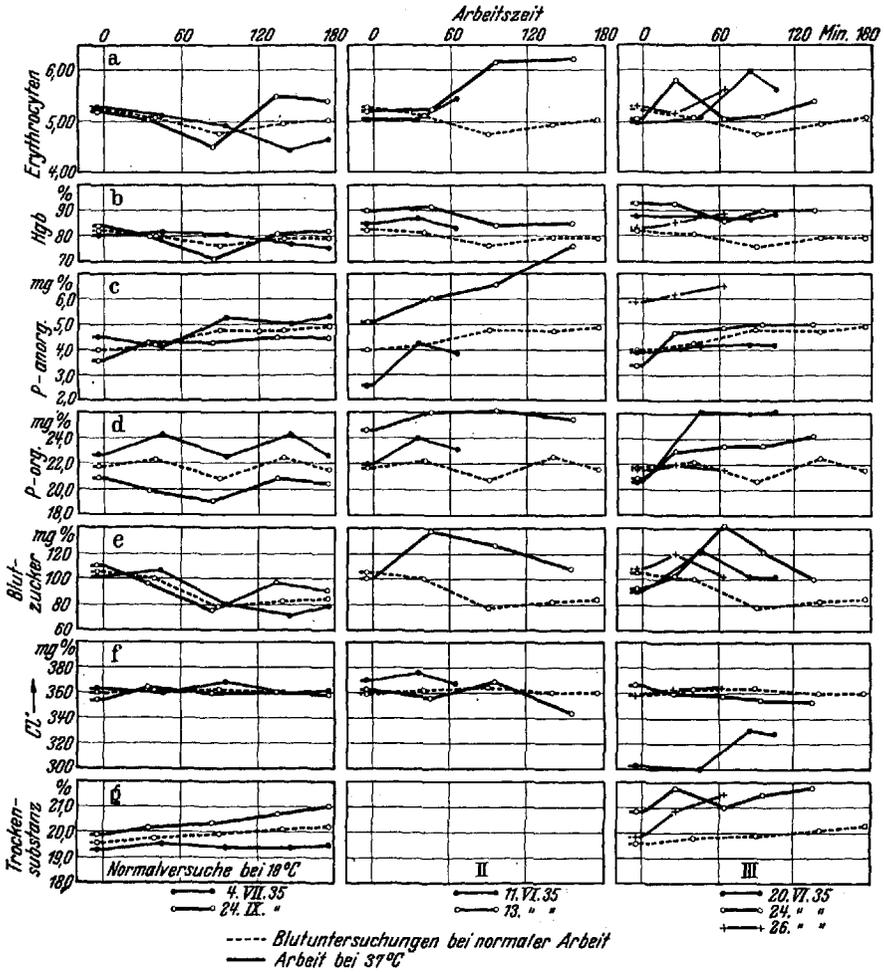


Abb. 4a.

Einen sehr charakteristischen und zum Verständnis der Erscheinungen beitragenden Verlauf bieten die Blutzuckerkurven. Bei den Kälteversuchen im trainierten Zustand sehen wir im Laufe der Arbeit ein allmähliches Absinken. Dieser Befund deckt sich durchaus mit den Angaben von Christensen¹⁵, der bei kleineren Leistungen zwar keinen Zusammenhang zwischen Arbeitsgröße und Blutzucker finden konnte, bei lange-

dauernder, anstrengender Arbeit dagegen, die der Größenordnung nach der von uns geforderten gleich, eine Erniedrigung des Blutzuckerspiegels fand, die er auf die Abnahme des Glykogengehaltes der Leber zurückführte. Die Arbeit in der Hitze hat, wie unsere Kurven zeigen, einen

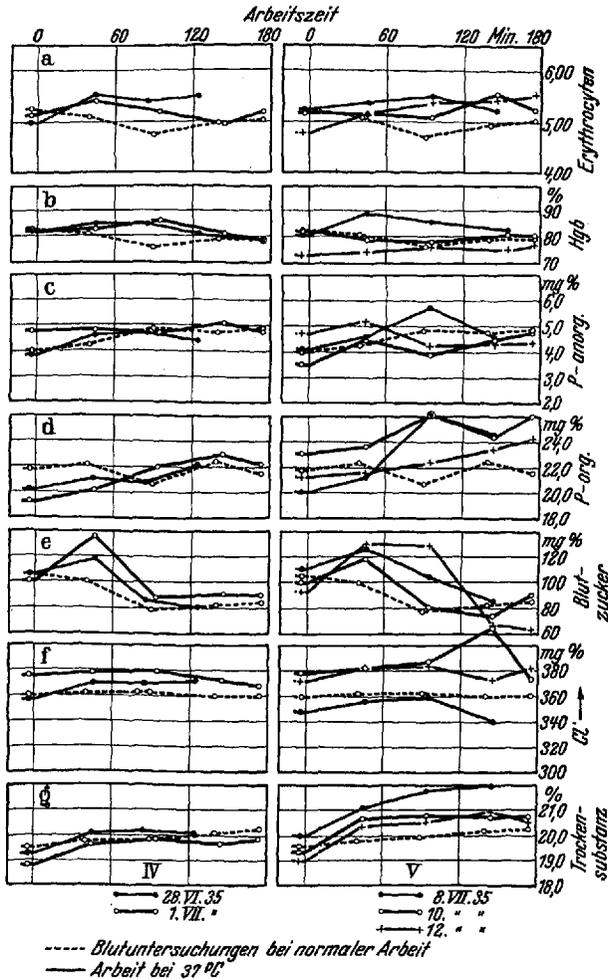


Abb. 4 b.

in allen Versuchen gleichmäßig zum Ausdruck kommenden Einfluß auf den Blutzuckerspiegel. Unabhängig vom Trainingszustand wie vom Chlorhaushalt sehen wir die Blutzuckerkurve mit dem Beginn der Arbeit um etwa 30—40% ansteigen und einen Gipfel erreichen, der in der zweiten Arbeitsstunde zu liegen scheint. Dann erst geht der Blutzucker herunter, um schließlich die gleichen, unter dem Ausgangsniveau

liegenden Werte zu erreichen wie bei den Kälteversuchen. Wenn dieses Niveau bei den Versuchen im Arbeitsabschnitt III nicht erreicht wird, so liegt das sehr wahrscheinlich nur daran, daß die Versuche zu kurz-dauernd waren, um diese letzte Phase erreichen zu können. Das Verhalten der Blutzuckerkurve bei Hitzearbeit macht die Annahme sehr wahrscheinlich, daß die hohe Außentemperatur zu einer vermehrten Adrenalinausschüttung und dadurch zunächst zu einer über den Bedarf hinausgehenden Kohlehydratmobilisation führt. Die beobachteten Kreislauferscheinungen stehen mit dieser Ansicht durchaus im Einklang. Daß eine Erhöhung des Blutdruckes nicht eintritt, spricht nicht gegen diese Ansicht, da wir durch *Rein* wissen, daß Adrenalin auf den Kreislauf bei Arbeit regulierend wirkt im Sinne einer Abdrosselung nicht arbeitender Bezirke und einer vermehrten Durchblutung der arbeitenden Muskeln, ohne daß es dabei zu Änderungen des Blutdruckes zu kommen braucht. Auffallend ist, daß im Laufe des fortschreitenden Trainings die anfängliche Erhöhung der Blutzuckerkurven ganz unverändert bleibt, während wir andere Anzeichen der Adrenalinwirkung, wie die erhöhte Pulsfrequenz und die erhöhte Körpertemperatur, im Laufe des fortschreitenden Trainings immer kleiner werden sehen. Vielleicht läßt sich diese Diskrepanz dadurch erklären, daß die mit dem Training in Verbindung stehende Verschiebung des Gleichgewichtes im vegetativen System in Richtung auf einen gesteigerten Vagustonus zu einer geringeren Adrenalinempfindlichkeit dieser Funktionen führt, während die Adrenalinwirkung in bezug auf die Kohlehydratmobilisation unverändert bleibt. Diese Auffassung würde bedeuten, daß man im Trainingszustand gewissermaßen eine Anpassung an hohe Adrenalinausschüttungen, wie sie schwere Arbeit und insbesondere Arbeit bei hohen Temperaturen mit sich bringt, zu sehen hat.

Die Kurven für den Chlorgehalt des Blutes beweisen die außerordentliche Konstanz dieser Größe. Trotzdem in den Arbeitsabschnitten II und III die Chlorbilanz stark erniedrigt war und deutliche Wirkungen des Chlormangels auf den Kreislauf festzustellen waren, bleibt der Chlorgehalt des Serums in der Mehrzahl der Versuche fast unverändert, nur gegen Ende der Versuche ist ein leichtes Absinken merkbar. Eine Ausnahme bildet lediglich der Versuch vom 20. 6. Es ist das der Versuchstag, an dem die V.P., nachdem sie mehrere Tage auf einem sehr niedrigen Chlorniveau gehalten war, jedoch nicht gearbeitet hatte, mit der Arbeit wieder begann, aber nur einer sehr geringen Arbeitsleistung fähig war und schließlich so bedrohliche Erscheinungen zeigte, daß Chlor zugeführt werden mußte. Der Befund bestätigt durchaus unsere Auffassung, daß die Chlorkonzentration des Blutes, solange es eben geht, konstant gehalten wird, und daß schwere Störungen seitens des Kreislaufs eintreten, sobald die Aufrechterhaltung des konstanten Wertes nicht mehr möglich ist.

Die Kurven, die das Verhalten der Trockensubstanz des Blutes kennzeichnen, lassen ansteigende Werte im Arbeitsabschnitt III erkennen. Ein Vergleich der Kurven mit den Erythrocytenzahlen legt die Annahme nahe, daß die Trockensubstanzzunahme vor allem auf einen vermehrten Gehalt an roten Blutkörperchen zurückzuführen ist.

Schlußbetrachtung.

Bei Hitzearbeit, die über längere Zeit fortgesetzt wird, interferieren 3 Einflüsse in ihrer Wirkung auf die Leistungsfähigkeit und die damit im Zusammenhang stehenden biologischen Größen. Wir haben es zu tun einmal mit der Einwirkung der hohen Außentemperatur als solcher, den Unterschieden also, die sich ergeben zwischen der Ausführung der gleichen Arbeit bei hoher und niedriger Temperatur. Wir haben hiervon abzutrennen die Trainingserscheinungen, die sich infolge längerer Fortsetzung der Arbeit herausbilden. Es ist zweifelhaft, ob hierbei eine Trennung gemacht werden kann zwischen den Anpassungserscheinungen an die Arbeit und den Anpassungserscheinungen an die hohe Außentemperatur. In der Praxis wird ein Hitzetraining in der Regel mit sinkender Chlorbilanz einhergehen. Im Experiment können wir beides trennen. Wir können daher ermitteln, welche Erscheinungen durch den Chlormangel im Organismus bedingt sind.

Bei der Durchführung der Versuchsreihen, die in den vorangegangenen Veröffentlichungen beschrieben worden sind, gelang es uns, einiges Material über die Bedeutung des Chlorhaushaltes bei Hitzearbeit beizubringen. Die in dieser Veröffentlichung wiedergegebene Versuchsreihe gestattet es, auf den früher gewonnenen Erfahrungen aufbauend, die durch Hitze, Training und Chlormangel bedingten Erscheinungen weitgehend zu trennen. Bei der Beschreibung der Versuche wurde bereits für jede einzelne Funktion nach Möglichkeit ermittelt, ob Hitze, Training oder Chlormangel als die ausschlaggebende Ursache anzusehen ist. Es erübrigt noch eine zusammenfassende Besprechung dieser Dinge, wobei die Einwirkungen von Training und Hitze nur insoweit erwähnt werden, als sie in diesem Zusammenhang von Interesse sind.

Durch hohe Außentemperatur findet eine Vergrößerung des Calorienverbrauches pro mkg statt, die in unserem Falle 8% betrug. Entsprechend wächst auch die Sauerstoffschuld. Es ist daher verständlich, daß das Absinken der Leistung innerhalb eines Versuches beschleunigt wird. Ob eine Veränderung des R. Q. eintritt, ist zweifelhaft. Während der Arbeit ist er vielleicht etwas niedriger, in der Erholung eher höher als bei niedriger Außentemperatur. Die Pulsfrequenz und entsprechend der Pulsleistungsindex, d. h. das Verhältnis zwischen Pulsfrequenz und Arbeitsleistung, sind erhöht. Der diastolische Druck ist niedriger, der Pulsdruck daher größer. Die Zahl der Erythrocyten in der Volumeneinheit

des Blutes steigt stärker an als bei Arbeit unter niedrigen Temperaturen. Der Blutzucker zeigt nach dem Beginn der Arbeit einen deutlichen Anstieg, um erst nach diesem Gipfel abzusinken, während bei entsprechender Arbeit in der Kälte das Absinken sofort beginnt. Solange der Trainingszustand sich nicht ändert bzw. als unverändert gut zu betrachten ist, und eine ausgesprochene Chlorverarmung nicht eintritt, steigt die gebildete Schweißmenge mit der Temperatur; jedoch ist die pro Einheit der Arbeitsleistung ausgeschiedene Wasser- und Chlormenge relativ konstant. An dieser Konstanz ändert auch die Aufnahme mäßiger Wasser- oder Salzwassermengen während der Arbeit nichts.

Die Ausbildung eines Trainingszustandes führt zu einer Senkung des Calorienverbrauches pro mkg und der Sauerstoffschuld. Entsprechend sinkt der Erholungsindex, d. h. das Verhältnis zwischen der in der Erholung geatmeten Luftmenge und der Arbeitsleistung. Die körperliche Leistungsfähigkeit steigt, das Absinken der Leistung innerhalb des Einzelversuches nimmt ab. Der R. Q. bei Ruhe, Arbeit und Erholung nimmt zu, die Blutzuckerkurve bleibt dabei unverändert. Die Körpertemperatur bei Ruhe und vor allem bei Arbeit sinkt. Die Pulsfrequenz bei Ruhe und Arbeit und der Pulsleistungsindex zeigen fallende Werte. Der diastolische Blutdruck während der Arbeit fällt, der Pulsdruck nimmt zu, der systolische Druck steigt beim Beginn jeder Tagesarbeit immer schneller auf seinen Endwert. Das beim Beginn der Hitzearbeit beobachtete, die Hämoglobinzunahme übersteigende Anwachsen der Erythrocytenzahl verschwindet allmählich. Die Schweißmenge nimmt zu, auch dann, wenn sie pro Einheit der Arbeitsleistung berechnet wird. Die Chlorkonzentration des Schweißes und die Chlorausscheidung pro Arbeitseinheit nehmen ab, auch dann, wenn eine Chlorverarmung nicht besteht.

Chlorverarmung wirkt auf den Muskelapparat eher günstig als ungünstig, verhindert daher nicht eine Zunahme der Leistungsfähigkeit, sondern fördert sie. Das hervorstechendste Symptom der Chlorverarmung ist die Erhöhung der Pulsfrequenz bei Ruhe und Arbeit, zu der bei hochgradiger Chlorverarmung eine periphere Gefäßerweiterung mit subjektivem Hitzegefühl, aber ohne Erhöhung der Körpertemperatur tritt. Bei hochgradiger Chlorverarmung treten Störungen am Reizeitungssystem des Herzens auf. Der Appetit ist herabgesetzt. Der Pulsleistungsindex ist beträchtlich vergrößert, ebenso der Erholungsindex, nicht aber die Sauerstoffschuld. Es findet also in der Erholung eine stärkere Ventilation, nicht aber eine erhöhte Sauerstoffaufnahme statt. Der Calorienverbrauch pro mkg ist unverändert, der R. Q. bei Ruhe, Arbeit und Erholung aber erhöht. Die Schweißmenge ist bei starker Chlorverarmung, wahrscheinlich im Zusammenhang mit der Erweiterung der Hautgefäße, vermehrt, die Chlorausscheidung aber nicht beeinflusst. Der

Chlorgehalt des Blutes bleibt lange Zeit konstant, sein Sinken im Endstadium führt zu den erwähnten Störungen im Reizleitungssystem des Herzens.

Das Training wirkt sich darin aus, daß Chlormangel bei untrainierten Personen schon nach relativ kleinen Senkungen zu den beschriebenen Erscheinungen führt, während bei trainierten Personen die Erscheinungen erst angedeutet sind, die schwereren noch ganz fehlen können.

Die Zusammenstellung der beobachteten Erscheinungen ergibt noch kein lückenloses Bild von der Bedeutung des Chlorumsatzes für die Muskelarbeit. Es wird die Aufgabe weiterer Untersuchungen sein, diese Verhältnisse zu klären und Zusammenhänge zwischen den einzelnen Beobachtungen herzustellen. Das Ergebnis unserer Untersuchungen erlaubt es jedoch bereits jetzt, zu der praktischen Seite der Frage Stellung zu nehmen:

Fortschreitendes Training bei Hitzearbeit führt dazu, daß der Organismus in die Lage versetzt wird, auch mit einer verhältnismäßig geringen Chlorzufuhr im Gleichgewicht zu sein. Der niedrige Chlorgehalt des Körpers wirkt sich dabei auf die Arbeitsfähigkeit günstig aus. Eine Gefahr erwächst aus der Chlorverarmung nur dann, wenn an den Organismus unvorbereitet Anforderungen gestellt werden, denen er nicht gewachsen ist. Vorsicht ist also stets bei neu eingestellten Leuten geboten, langsame Einarbeit ist erforderlich. Es muß für die Arbeit in der Industrie das Ziel sein, durch eine systematische Gewöhnung an die Hitzearbeit bei allen Arbeitern den Zustand eines optimalen Trainings zu erreichen.

Die Aufnahme von Getränken während der Arbeit soll in kleinen Portionen erfolgen und während der Arbeit etwa ein Drittel der abgegebenen Schweißmenge betragen, die Hälfte jedenfalls nicht überschreiten. Das Trinken von Salzwasser ist in diesem Falle nutzlos, ja sogar eher nachteilig, da die gewohnheitsmäßige Aufnahme von Kochsalz die Ausbildung einer Anpassung an die Chlorverarmung, und damit die Ausbildung eines Zustandes höchster Leistungsfähigkeit, verhindert. Das Trinken von Salzwasser ist aber dann unbedingt geboten, wenn plötzlich hohe Anforderungen in bezug auf Hitzearbeit an den untrainierten Menschen gestellt werden. In diesem Falle wirkt die Aufnahme von Salzwasser nicht nur leistungssteigernd, sondern kann eine unbedingte Notwendigkeit sein, um schweren Störungen vorzubeugen. Sind diese bereits eingetreten, so kann die Aufnahme von Salzwasser geradezu lebensrettend wirken.

Der industriellen Hitzearbeit gleichzusetzen sind große Marschleistungen bei hohen Außentemperaturen. Ein Unterschied gegenüber der industriellen Arbeit besteht jedoch insofern, als unter den Bedingungen des gemäßigten Klimas die Möglichkeit zum Erwerb eines eigentlichen Hitzetrainings kaum gegeben ist. Der Marschierende ist daher immer

in diesem Sinne als mehr oder weniger untrainiert zu betrachten, das Trinken von Salzwasser bei besonders hohen Marschleistungen daher durchaus zu empfehlen. Wir sind überzeugt, daß eine derartige Maßnahme die Zahl der sog. Hitzschläge stark herabsetzen würde und andererseits, daß bei eingetretenem sog. Hitzschlag in den meisten Fällen einige Gramm Kochsalz sich therapeutisch als sehr viel wirksamer erweisen werden, als die heute viel gegebenen Herzmittel.

Die Gefahr des Wassertrinkens bei erhitztem Körper, die jeder Sportsmann kennt, beruht auf der plötzlichen Chlorverarmung im Blut, die zu schweren Schädigungen des Herzens führen kann. Auch hier ist Kochsalz das natürliche Gegenmittel.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden zum Teil mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft ausgeführt, der wir unseren Dank aussprechen.

Zusammenfassung.

An einer untrainierten V.P. werden unter Kontrolle zahlreicher Funktionen und Aufstellung einer Chlorbilanz Arbeitsversuche bei hohen Außentemperaturen durchgeführt. Nach wenigen Tagen Arbeit und einer um nur 8 g gesunkenen Chlorbilanz kam es bei absinkendem Chlorgehalt des Blutes zu Störungen am Reizleitungssystem des Herzens in Verbindung mit schweren Allgemeinerscheinungen, die durch Kochsalz sofort zu beheben waren.

Durch mäßige Chlorverarmung wird die Pulsfrequenz bei Ruhe und Arbeit erhöht, bei stärkerer tritt hierzu eine periphere Gefäßerweiterung mit subjektivem Hitzegefühl, aber ohne Erhöhung der Körpertemperatur. Der Sauerstoffverbrauch pro Arbeitseinheit und die Sauerstoffschuld werden durch Chlormangel nicht beeinflußt, jedoch wird die Ventilation verstärkt. Der R. Q. bei Ruhe, Arbeit und Erholung ist erhöht. Bei stärkerer Chlorverarmung steigt die gebildete Schweißmenge. Die Chlorausscheidung im Schweiß ist weitgehend unabhängig von der Chlorbilanz.

Während bei untrainierten Personen schon relativ kleine Senkungen der Chlorbilanz Störungen hervorrufen, sind solche bei trainierten Personen ohne nachteilige Folgen, so daß die günstigen Einwirkungen auf den muskulären Apparat im Vordergrund stehen.

Durch hohe Außentemperatur wird der Calorienverbrauch pro Arbeitseinheit und die Sauerstoffschuld vergrößert. Die Blutzuckerkurve erreicht in den ersten Arbeitstunden einen Gipfel, um dann abzusinken. Durch Training wird der Verlauf der Blutzuckerkurve nicht verändert.

Infolge Trainings nimmt die Schweißmenge pro Einheit der Arbeitsleistung zu, die Chlorausscheidung pro Arbeitseinheit aber ab. Das ist auch dann der Fall, wenn durch Salzzufuhr eine Chlorverarmung verhindert wird.

Als praktische Konsequenz ergibt sich aus den Untersuchungen, daß eine allmähliche Gewöhnung an Hitzearbeit zur Erreichung eines entsprechenden Trainingszustandes notwendig ist. Die Getränkezufuhr soll bei Hitzearbeit die Hälfte des Schweißverlustes nicht übersteigen. Das Trinken von Salzwasser ist bei vorhandenem Training unnötig, *für die Ausbildung eines Trainingszustandes eher hinderlich*. Dagegen ist das Trinken von Salzwasser zu empfehlen und kann schwere Schäden verhüten, wenn unerwartet hohe Leistungen von einem nicht angepaßten Organismus verlangt werden (Gepäckmarsch u. dgl.). Bei sog. Hitzschlägen ist zur Bekämpfung der Herzschiädigung therapeutisch von Kochsalz Gebrauch zu machen.

Literaturverzeichnis.

- ¹ Moss, K. N.: Proc. roy. Soc. B **95**, 181 (1923). — Trans. Ing.Min. Engr. **66**, 284 (1924). — ² Raschewskaja: Arch. Gewerbepath. **3**, 830 (1932). — ³ Cannon: Erg. Physiol. **27**, 380 (1928). — ⁴ Dill, D. B., Bock, Edwards, Kennedy: J. ind. Hyg. **18**, 417 (1936). — ⁵ Meyer-Bisch: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie, Bd. 16, II, S. 1517. 1931. — ⁶ Myrbäck: Hoppe-Seylers Z. **148**, 197 (1925). — ⁷ Szakall, A.: Arb.physiol. **8**, 316 (1934). — ⁸ Koranyi: Nach Ronas Praktikum, Bd. 2, S. 256. — ⁹ Lehmann, G. u. A. Szakall: Arb.physiol. **5**, 278 (1932). — ¹⁰ Strauss: Arch. Gewerbepath. **1**, 203 (1930); **4**, 552 (1933). — ¹¹ Hersheimer: Arb.physiol. **7**, 309 (1934). — ¹² Campbell, J. A.: Proc. roy. Soc. B **96**, 43 (1923). — ¹³ Dill, D. B. Edwards, Bauer u. Levenson: Arb.physiol. **4**, 508 (1931). — ¹⁴ Wolginsky u. Jakowenko: Zit. nach Strauss¹⁰. — ¹⁵ Christensen: Arb.physiol. **4**, 128 (1931).
-