

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

## Die physiologischen Grundlagen der leistungssteigernden Wirkung des Traubenzuckers.

Von

E. Atzler, G. Lehmann und A. Szakáll.

Mit 4 Textabbildungen.

(Eingegangen am 15. Juni 1937.)

Seitdem es durch die Einführung eines billigen Traubenzuckerpräparates (*Dextropur*) möglich geworden ist, Traubenzucker in größerem Umfange anzuwenden, wird dieser Stoff, der „den Vorteil hat, durch sämtliche Körperzellen am leichtesten verwertet werden zu können“ (*Holtz*<sup>1</sup>), nicht nur für die verschiedensten therapeutischen Zwecke verwendet, sondern vor allem auch als leistungssteigerndes Mittel von Sportsleuten genommen, wenn Dauerleistungen von ihnen verlangt werden. In der sportphysiologischen Literatur wird übereinstimmend über günstige Wirkung des Traubenzuckers berichtet<sup>2, 3, 4, 5, 6</sup>.

In den erwähnten Arbeiten handelt es sich allerdings nahezu ausschließlich um die Wiedergabe des subjektiven Urteils, das die betreffenden Sportsleute bei dem Gebrauch von Traubenzucker abgaben. Nur selten ist der Versuch gemacht, die Leistungssteigerung aus der Höhe der sportlichen Leistung exakt festzulegen. Der Einfluß der Glucosezufuhr auf den Gaswechsel, die Höhe der Arbeitsleistung bzw. die Ermüdung und auf den Blutzucker wurde untersucht von *Talbott*, *Henderson*, *Edwards* und *Dill*<sup>7</sup>, *Dill*, *Edwards* und *Talbott*<sup>8</sup>, *Christensen*, *Krogh* und *Lindhard*<sup>9</sup>, *Miyama*<sup>10</sup>, *Wierzuchowsky* und Mitarbeiter<sup>11</sup>. In diesen Veröffentlichungen wird eine erhebliche Steigerung der Leistung beschrieben. Der Zucker wurde meist bei maximalen Arbeitsleistungen gegeben, in Fällen, bei denen mit einer Erschöpfung der Glykogenreserven und einer Hypoglykämie gerechnet werden kann. Untersuchungen darüber, wie man sich den Mechanismus der Leistungssteigerung im einzelnen vorzustellen hat, fehlen bis heute. Seitdem es bekannt ist, daß als begrenzender Faktor menschlicher Arbeitsleistung die Erschöpfung der Nährstoffvorräte des Körpers nur unter bestimmten Bedingungen bei sehr lang dauernder und anstrengender Arbeit (*Boje*<sup>12</sup>) eine Rolle spielt, kann die einfache Erklärung, daß in Form von Traubenzucker dem Muskel das am leichtesten verwertbare Brennmaterial zugeführt wird, nicht mehr als hinreichend für die Erklärung der Leistungssteigerung angesehen werden. Der Zweck der bei uns durchgeführten Versuche war daher eine nähere Untersuchung über die Vorgänge, die sich bei der Zunahme der Leistungsfähigkeit durch Traubenzuckerzufuhr abspielen.

Es ist bekannt, daß die Aufnahme von Traubenzucker in den Magen im Ruhezustand unter Umständen zu einer Erhöhung des Blutzuckers und zu einer Steigerung der Adrenalinsekretion führen kann zu einem Zeitpunkt, an dem eine Resorption des Zuckers nachweislich noch nicht stattgefunden hat (*Holtz*<sup>13</sup>). Man muß also daran denken, daß per os gegebener Traubenzucker auf diesem hormonalen Umwege anfänglich nicht die Kohlehydratvorräte des Körpers verstärkt, sondern im Gegenteil zunächst zu einer vermehrten Ausschöpfung der vorhandenen Depots führt. Man könnte sich daher vorstellen, daß Traubenzucker zunächst, d. h. solange er noch nicht in nennenswertem Umfange resorbiert ist, eine unerwünschte Reizwirkung entfaltet. Solche Reizwirkung auf das Adrenalin-system fällt aber weniger ins Gewicht, sobald der Traubenzucker bei Muskelarbeit verabreicht wird. Man weiß aus den Untersuchungen von *Edwards* und Mitarbeiter<sup>14</sup>, *Strandell*<sup>15</sup>, ferner *Lehmann* und *Szakáll*<sup>16</sup> und *Boje*<sup>12</sup>, daß anstrengende Muskelarbeit schon an sich eine Adrenalinausschüttung und dadurch eine Mobilisierung des Leberglykogens und vorübergehende Zunahme des Blutzuckers und des Respirations-Quotienten (R.Q.) bewirkt. Während von *Cannon*<sup>17</sup> ein indirekter Nachweis für die Ausschüttung von Adrenalin erbracht wurde, wurde der direkte Nachweis kürzlich von *Hartmann*, *Waite* und *Powell*<sup>18</sup>, ferner *Katz*<sup>20</sup> geliefert. Neben dem direkten Adrenalinnachweis wurde ein Zusammenhang zwischen Blutzuckerspiegel und Adrenalinausschüttung, an Sportsleuten von *F. Meythaler* und *Wossidlo*<sup>19</sup> festgestellt. Dem Adrenalin wird hierbei die Funktion der Sicherstellung eines kontinuierlichen Nachschubes aus den Depots zugesprochen. Der plötzliche Zusammenbruch hochtrainierter Sportsleute nach anstrengenden Leistungen soll auf einem Versagen dieser Sicherheitsfunktion beruhen. Für eine Klärung dieser Fragen schien es vor allem wichtig, langdauernde Versuche zu machen, die zu einer genügenden Ausschöpfung der Leistungsfähigkeit führen. Es war weiter notwendig, den Verlauf der Erholung über mehrere Stunden in den Versuch einzubeziehen, da erfahrungsgemäß die bei der Erholung zu beobachtenden Erscheinungen ein klareres Bild von dem Grad der erreichten Erschöpfung geben, als die während der Arbeit selbst gemachten Beobachtungen.

#### Methodik.

Wegen der Notwendigkeit der fortlaufenden Blut- und Harnentnahmen wurden die Versuche an Hündinnen durchgeführt. Den Tieren wurde eine Dauertrachealkanüle eingesetzt, so daß sie für den Zweck von Respirationsversuchen direkt mit einem Benedict-Kreislauf-Respirationsapparat verbunden werden konnten. Die Hündinnen wurden ferner darauf dressiert, mehrere Stunden auf einer im Winkel von 11° 40' schräg ansteigenden Treibahn zu laufen und andererseits zur Durchführung der Ruheversuche ruhig liegen zu bleiben<sup>21</sup>. Auch die Durchführung der Katheterisierung und der regelmäßigen Blutentnahmen aus der V. saphena erfordert eine gewisse Dressur der Tiere, die jedoch leicht zu erreichen ist. Um

konstante Bedingungen zu erhalten und um zugleich eine Kotentleerung während der Laufversuche zu vermeiden, erhielten die Tiere nur alle 48 Stunden Futter, das bei Hund I jeweils aus 70 g Eiweiß, 108 g Fett und 116 g Kohlehydrat bestand. Hund II wurde fettärmer ernährt und erhielt 78 g Eiweiß, 59 g Fett und 116 g Kohlehydrat. Die Phosphatzufuhr in 48 Stunden betrug bei Hund I 1,596 g, bei Hund II 1,943 g  $P_2O_5$ .

Läßt man Hunde auf einer ansteigenden Tretbahn laufen, so kommt es besonders an wärmeren Tagen beim Laufen zu einer Steigerung der Rectaltemperatur bis über  $40^{\circ}C$ . Die Hyperthermie wird dann zum begrenzenden Faktor der Arbeitsfähigkeit. Eine Herabsetzung der Rectaltemperatur gelingt durch reichliches Begießen der Hunde mit Alkohol zur Beschleunigung der Wärmeabgabe.

Neben der Bestimmung des R.Q. und des Kalorienverbrauches bei Ruhe, während der Arbeit und in den einzelnen Erholungsstunden wurde bei den Tieren der Gehalt des Blutes an anorganischem und organischem Phosphat zum Teil in stündlichen Intervallen ermittelt, ferner die Ausscheidung von anorganischem Phosphat im Harn. Weiter wurde der Cl-Gehalt des Blutes und die Cl-Ausscheidung im Harn, der Blutzucker, der Hämoglobingehalt, die Zahl der Erythrocyten und die Menge des Trockenrückstandes des Blutes bestimmt. Der Blutzucker wurde nach Hagedorn-Jensen bestimmt. Das Cl im Blut und Harn wurde nach dem Volhardschen Prinzip titriert, die Veraschung erfolgte nach Korányi<sup>23</sup>. Im einzelnen ist die Methodik von Szakáll<sup>22</sup> beschrieben worden.

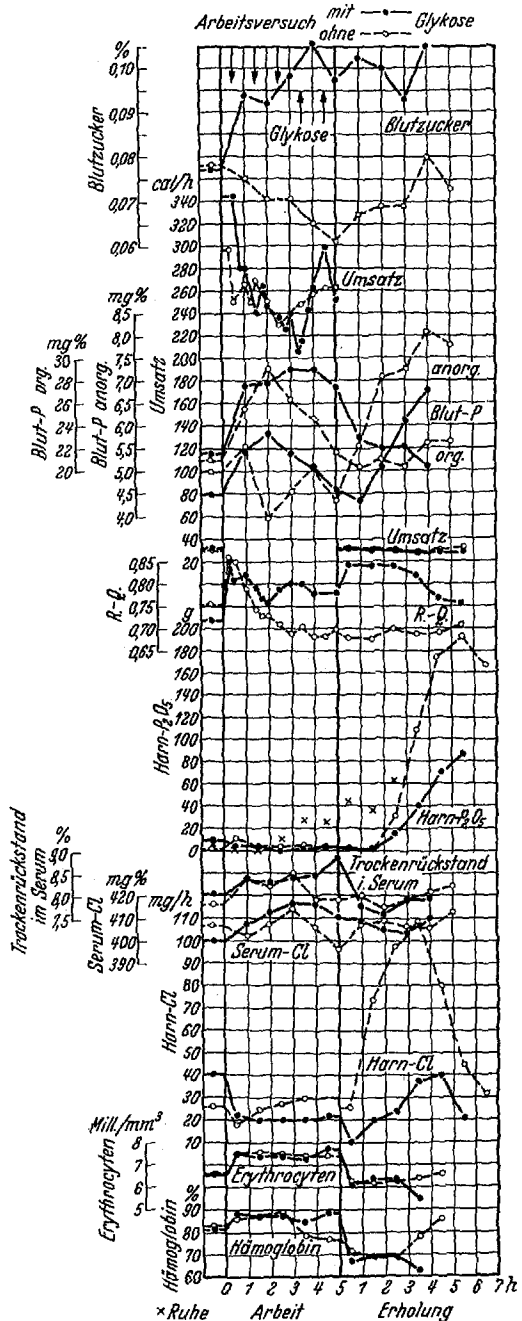


Abb. 1. Versuche mit großen Zuckermengen (Hund I).

Versuchsergebnisse.

Die Arbeitsversuche mit und ohne Zuckergaben wurden jeweils solange durchgeführt, als der Zustand der Tiere das gestattete. Die Größe der in den einzelnen Versuchen erreichten Laufleistungen könnte daher unmittelbar ein Maß der Leistungsfähigkeit des Tieres bzw. ihrer Beeinflussung durch Traubenzucker darstellen. Diese Art der Betrachtung wird erschwert einmal durch die unvermeidliche Erhöhung der Leistungsfähigkeit, die mit der Verbesserung des Trainingszustandes einhergeht.

Zum anderen aber auch dadurch, daß häufig zusätzliche Faktoren zum Abbruch der Versuche zwingen. Bei sehr großen Laufleistungen kam es am Ende des Versuches häufig zu einem Wundlaufen des Tieres, das uns daran hinderte, die letzten Leistungsreserven auszuschöpfen. Unser Hund I war ein sehr leistungsfähiges Tier und konnte schon bald Laufleistungen bis zu 34 km auf der ansteigenden Bahn ausführen. Um eine Schädigung des Tieres durch Wundwerden zu vermeiden, gingen wir über die Lauf-

strecke von 34 km nicht hinaus, so daß daher bei diesem Tier aus den erreichten Laufstrecken ein Schluß auf die Leistungsfähigkeit nicht zu ziehen ist. Hund II dagegen war zu Beginn der Versuche

Tabelle 1.

| Datum      | Gegebene Glykose g | Laufleistung km-Weg |
|------------|--------------------|---------------------|
| 16. 10. 36 | 0                  | 10,9                |
| 19. 10. 36 | 90                 | 13,6                |
| 21. 10. 36 | 135                | 16,5                |
| 23. 10. 36 | 0                  | 14,3                |
| 26. 10. 36 | 144                | 16,5                |
| 28. 10. 36 | 0                  | 15,0                |
| 30. 10. 36 | 144                | 17,0                |
| 2. 11. 36  | 0                  | 13,6                |
| 4. 11. 36  | 9                  | 13,6                |
| 6. 11. 36  | 36                 | 13,6                |

Tabelle 2. Hund I.

|                        | I.<br>Arbeit ohne Traubenzucker<br>Mittelwert aus 3 Versuchen |      |           |        | II.<br>Arbeit bei Zufuhr von<br>10—40 g Traubenzucker<br>Mittelwert aus 5 Versuchen |      |           |        | III.<br>Traubenzuckerzufuhr<br>entspricht dem Bedarf<br>Mittelwert aus 10 Versuchen |      |           |        |                   |
|------------------------|---|------|-----------|--------|---|------|-----------|--------|---|------|-----------|--------|-------------------|
|                        | R.Q.  | Cal. | verbrannt |        | R.Q.  | Cal. | verbrannt |        | R.Q.  | Cal. | verbrannt |        |                   |
|                        |   |      | Fett g    | K.H. g |   |      | Fett g    | K.H. g |   |      | Fett g    | K.H. g |                   |
| Grundumsatz:           | 0,75  | 30,8 | —         | —      | 0,76  | 24,7 | —         | —      | 0,72  | 30,6 | —         | —      |                   |
| Arbeitsleistung km-Weg | 6,80  | 0,80 | 149       | 11,9   | 11,0  | 0,80 | 152       | 12,0   | 14,3  | 0,81 | 165       | 10,2   | 14,2 <sup>1</sup> |
|                        | 13,60   | 0,73 | 144       | 15,8   | 0   | 0,73 | 150       | 15,3   | 0   | 0,78 | 140       | 11,4   | 8,4 <sup>1</sup>  |
|                        | 20,40   | 0,71 | 136       | 14,5   | 0   | 0,69 | 142       | 14,9   | 0   | 0,77 | 138       | 12,4   | 6,9 <sup>1</sup>  |
|                        | 27,20   | 0,73 | 139       | 14,6   | 0   | 0,69 | 145       | 15,7   | 0 <sup>1</sup>  | 0,79 | 128       | 9,3    | 8,4 <sup>1</sup>  |
|                        | 34,00   | 0,67 | 122       | 13,1   | 0   | 0,70 | 138       | 14,5   | 0   | 0,79 | 93        | 7,4    | 5,3 <sup>1</sup>  |
| Erholungsstunden       | 1. Std.   | 0,68 | 33,2      | 3,6    | 0   | 0,69 | 31,5      | 3,3    | 0   | 0,84 | 33,1      | 1,8    | 4,1               |
|                        | 2. „  | 0,68 | 31,7      | 3,4    | 0   | 0,72 | 31,2      | 3,5    | 0   | 0,84 | 31,6      | 1,9    | 3,7               |
|                        | 3. „  | 0,70 | 30,6      | 3,3    | 0   | 0,70 | 30,1      | 3,3    | 0   | 0,84 | 31,3      | 2,3    | 3,2               |
|                        | 4. „  | 0,69 | 29,2      | 3,3    | 0   | 0,69 | 29,8      | 3,3    | 0   | 0,82 | 29,1      | 2,2    | 3,1               |
|                        | 5. „  | 0,69 | 30,4      | 3,3    | 0   | 0,72 | 29,2      | 3,1    | 0   | 0,77 | 29,0      | 2,3    | 3,1               |
|                        | 6. „  | 0,71 | 32,6      | 3,5    | 0   | 0,70 | 28,6      | 3,0    | 0   | 0,76 | 28,7      | 2,3    | 2,4               |

<sup>1</sup> Zuckergabe.

sehr wenig trainiert und konnte auch am Ende nur Leistungen bis zu 17 km ausführen. Tabelle 1 zeigt in chronologischer Reihenfolge die von diesem Tier erreichten Laufleistungen und gibt gleichzeitig die Traubenzuckermengen (Dextropur) an, die während des Laufes verabreicht wurden.

Aus der Tabelle ergibt sich zweifelsfrei, daß die großen Glykosegaben von 90—144 g jeweils zu einer Erhöhung der Laufleistung führten, die über die Trainingswirkung hinausgeht.

In Tabelle 2 geben wir das Ergebnis der Respirationsversuche wieder, die bei Hund I während der Arbeit und in der darauffolgenden Erholung ausgeführt worden sind. In der Tabelle sind die Versuche in 3 Gruppen aufgeteilt; Versuche ohne Traubenzucker, Versuche mit kleinen und Versuche mit großen Traubenzuckermengen. Die Werte sind auch in Abb. 1 und 2 eingetragen. Zu Beginn der Arbeitsleistung steigt der R.Q. stets beträchtlich an, um dann aber sofort wieder abzusinken. Die Versuche ohne Zuckerezufuhr zeigen übereinstimmend, daß der R.Q. nach einer Laufarbeit von etwa 5—12 km, entsprechend einer Zeit von 1—2 Stunden, auf einen Wert absinkt, der reiner Fettverbrennung entspricht. Es

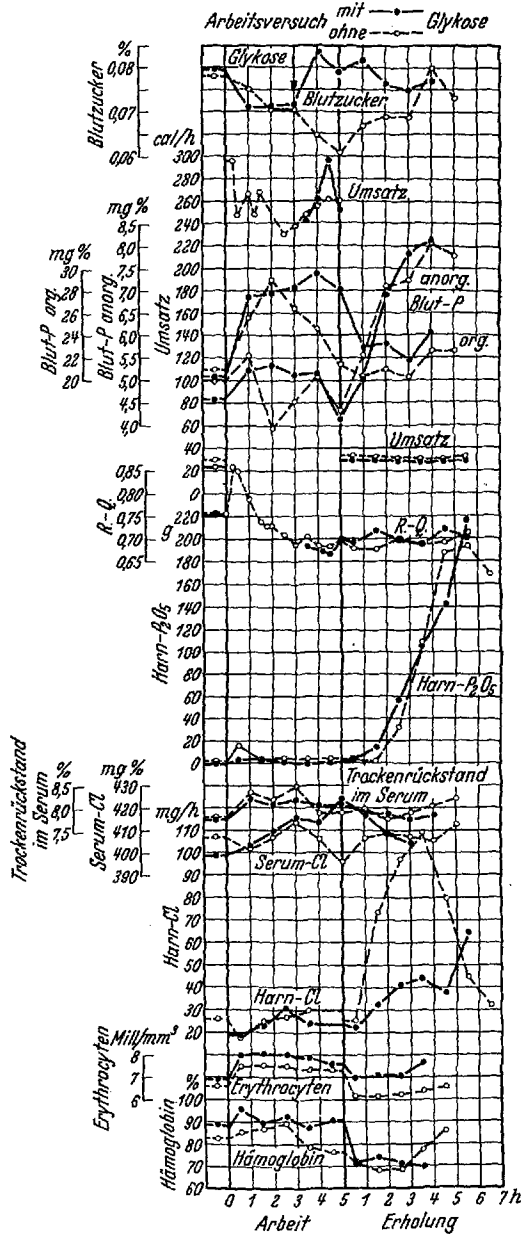


Abb. 2. Versuche mit kleinen Zuckermengen (Hund I).

Es

kommt also verhältnismäßig schnell zu einer Erschöpfung der Kohlehydratdepots. Die Erholung wurde bis zu 6 Stunden lang beobachtet. In den Versuchen ohne Zucker bleibt der R.Q. auf 0,68 bis 0,71 stehen, entspricht also auch weiterhin reiner Fettverbrennung. Es ist wahrscheinlich, daß in dieser Zeit eine Umwandlung von Fett in Kohlehydrat stattfindet zur Regenerierung der erschöpften Kohlehydratdepots. Wird nun Traubenzucker gegeben in einer solchen Menge, daß der zugeführte Zucker kalorisch ungefähr der geleisteten Arbeit entspricht, so erfolgt, wie Abb. 1 zeigt, das Absinken des R.Q. nach der durch den Arbeitsbeginn hervorgerufenen Steigerung nur bis zu einem Niveau von etwa 0,76 und bleibt damit deutlich höher als der Ruhe-R.Q., der in diesen Versuchen bei 0,72 lag. Trotz der großen Zuckerezufuhr kommt es nicht zu einer reinen Kohlehydratverbrennung. Es bleibt vielmehr ein immer noch recht beträchtlicher Fettanteil. Erst nach der Arbeit steigt in den Zuckerversuchen der R.Q. auf 0,84, um im Laufe der nächsten Stunden nahezu auf den Ausgangswert herunter zu sinken.

Die Angaben der Tabelle 2 ermöglichen es, den Anteil der Zuckermenge zu berechnen, der während der Laufarbeit verbrannt worden ist. Im Maximum wurden von uns 200 g Traubenzucker gegeben. Während der Arbeit wurden aber höchstens etwa 60 g Kohlehydrat verbrannt. Rechnen wir hierzu noch die in der Erholungsperiode umgesetzte Kohlehydratmenge, so kommen wir auf maximal etwa 85 g. Auch dann, wenn wir annehmen, daß wir beim Abbruch der Erholungsversuche das tatsächliche Ende der gesteigerten Kohlehydratverbrennung noch nicht erreicht hatten, ergibt sich während und nach der Arbeit eine

Tabelle 3.

| Datum      | Art des Versuches           | Grundumsatz |      | Erholungs- |      |         |      |
|------------|-----------------------------|-------------|------|------------|------|---------|------|
|            |                             |             |      | 1. Std.    |      | 2. Std. |      |
|            |                             | R.Q.        | Cal. | R.Q.       | Cal. | R.Q.    | Cal. |
| 16. 10. 36 | Ohne Glykose 10,9 km . . .  |             |      | 0,77       | 40,6 | 0,76    | 39,8 |
| 23. 10. 36 | „ „ 14,3 „ . . .            |             |      | 0,77       | 40,6 | 0,75    | 40,6 |
| 28. 10. 36 | „ „ 15,0 „ . . .            |             |      | 0,74       | 37,4 | 0,75    | 36,4 |
| 2. 11. 36  | „ „ 13,6 „ . . .            |             |      | 0,67       | 38,7 | 0,67    | 38,2 |
|            | Mittel                      | 0,79        | 35,4 | 0,74       | 39,3 | 0,73    | 38,8 |
| 19. 10. 36 | Mit 90 g Glykose 13,6 km .  |             |      | 0,90       | 42,2 | 0,90    | 41,1 |
| 21. 10. 36 | „ 135 g „ 17,3 „ .          |             |      | 0,91       | 45,2 | 0,96    | 44,9 |
| 26. 10. 36 | „ 144 g „ 16,5 „ .          |             |      | 0,93       | 41,8 | 0,90    | 37,0 |
|            | Mittel                      | 0,79        | 35,4 | 0,91       | 43,1 | 0,92    | 41,0 |
| 4. 11. 36  | Mit 9 g Glykose 13,6 km . . |             |      | 0,65       | 36,7 | 0,68    | 36,3 |
| 6. 11. 36  | „ 36 g „ 13,6 „ . .         |             |      | 0,76       | 45,1 | 0,72    | 41,4 |
|            | Mittel                      | 0,79        | 35,4 | 0,71       | 40,9 | 0,70    | 38,8 |

Verbrennung von nur etwa 100 g, d. h., daß ungefähr die Hälfte des zugeführten Kohlehydrates verwertet worden ist.

Bei der Zufuhr geringer Zuckermengen sehen wir am R.Q. keinen wesentlichen Unterschied im Vergleich zu den Versuchen ohne Zucker. 9 oder auch 36 g Traubenzucker während der Arbeit gegeben, vermögen das Absinken des R.Q. auf die Werte reiner Fettverbrennung nicht zu verhindern (Abb. 2). Erst Zuckermengen von 54—90 g haben einen deutlichen Einfluß.

Bei Hund II gelang es nicht, während der Arbeit selbst exakte Respirationsversuche durchzuführen. Wir beschränken uns daher auf die Wiedergabe der Erholungswerte in Tabelle 3. In Abb. 2 sind die betreffenden Werte eingezeichnet. Ein Vergleich mit Abb. 1 zeigt, daß zwischen dem Verhalten der beiden Hunde kein grundsätzlicher Unterschied bestand. So waren insbesondere auch bei Hund 2 die geringen Zuckermengen (Abb. 4) von 9 bzw. 36 g Traubenzucker ohne erkennbaren Einfluß auf den R.Q., während die Zufuhr von Traubenzuckermengen, welche dem Kalorienverbrauch ungefähr entsprachen, zu einem beträchtlich erhöhten R.Q. in den ersten 4 Erholungsstunden führt.

Die Tabellen 4 und 5 zeigen das Verhalten des Blutzuckers während der Arbeit und in den Erholungsstunden bei den beiden Hunden. In den Abb. 1, 2, 3 und 4 sind die entsprechenden Werte ebenfalls wiedergegeben. Bei Hund I kommt es ohne Anwendung von Traubenzucker im Laufe der Arbeit zu einem regelmäßigen und beträchtlichen Absinken des Blutzuckers, der in den ersten 5 Erholungsstunden ungefähr wieder auf seinen Ausgangswert zurückkehrt. Ein Bestehenbleiben der Hypoglykämie stundenlang nach Beendigung der Leistung stimmt mit

Hund II.

| stunden |      |         |      |         |      |         |      |         |      |
|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|
| 3. Std. |      | 4. Std. |      | 5. Std. |      | 6. Std. |      | 7. Std. |      |
| R.Q.    | Cal. | R.Q.    | Cal. | R.Q.    | Cal. | R.Q.    | Cal. | R.Q.    | Cal. |
| 0,74    | 38,7 | 0,76    | 39,1 | 0,78    | 40,8 | 0,80    | 39,6 | 0,82    | 37,7 |
| 0,74    | 40,1 | 0,75    | 38,9 | 0,75    | 38,2 | 0,75    | 37,8 | 0,76    | 37,8 |
| 0,76    | 35,3 | 0,75    | 35,1 | 0,75    | 36,2 | 0,76    | 38,3 | 0,76    | 39,7 |
| 0,69    | 38,4 | 0,70    | 39,1 | 0,67    | 41,5 | 0,68    | 41,9 | 0,71    | 41,8 |
| 0,73    | 38,1 | 0,74    | 38,1 | 0,74    | 39,2 | 0,75    | 39,4 | 0,76    | 39,3 |
| 0,91    | 41,1 | 0,96    | 39,5 | 0,88    | 36,8 | 0,84    | 41,5 | 0,80    | 45,8 |
| 0,99    | 44,1 | 0,95    | 43,4 | 0,86    | 42,0 | 0,78    | 35,7 | 0,79    | 31,2 |
| 0,83    | 34,2 | 0,80    | 33,8 | 0,79    | 35,1 | 0,80    | 33,8 | 0,79    | 36,2 |
| 0,91    | 40,8 | 0,90    | 38,9 | 0,84    | 38,0 | 0,81    | 37,0 | 0,79    | 37,7 |
| 0,76    | 37,0 | 0,78    | 36,4 | 0,75    | 34,1 | 0,70    | 34,2 | 0,75    | 37,2 |
| 0,69    | 38,0 | 0,71    | 37,0 | 0,71    | 35,8 | 0,72    | 36,4 | 0,72    | 37,4 |
| 0,73    | 37,5 | 0,74    | 36,7 | 0,73    | 34,9 | 0,71    | 35,3 | 0,73    | 37,3 |

Tabelle 4. Hund I.

| Datum     | Art des Versuches        | Blutzucker in % |         |          |          |          |          |         |         |         |         |         |
|-----------|--------------------------|-----------------|---------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
|           |                          | Arbeit          |         |          |          |          | Erholung |         |         |         |         |         |
|           |                          | 0               | 60 Min. | 120 Min. | 180 Min. | 240 Min. | 300 Min. | 1. Std. | 2. Std. | 3. Std. | 4. Std. | 5. Std. |
| 8. 5. 36  | Ohne Glykose 20,4 km     | 0,069           | 0,078   | 0,076    | 0,078    |          |          | 0,073   | 0,071   | 0,078   | 0,069   | 0,062   |
| 11. 5. 36 | " 20,4 "                 | 0,082           | 0,088   | 0,086    | 0,077    |          |          | 0,065   | 0,063   | 0,049   | 0,086   | 0,084   |
| 20. 5. 36 | " 27,2 "                 | 0,089           | 0,075   | 0,076    | 0,075    | 0,073    |          | 0,078   | 0,091   | 0,089   | 0,076   |         |
| 10. 6. 36 | " 34,0 "                 | 0,084           | 0,063   | 0,052    | 0,063    | 0,061    | 0,061    | 0,060   | 0,070   | 0,074   |         |         |
| 13. 7. 36 | " 34,0 "                 | 0,078           | 0,072   | 0,072    | 0,072    | 0,073    | 0,073    | 0,075   | 0,073   | 0,073   |         |         |
| 3. 6. 36  | " 34,0 "                 | 0,065           | 0,073   | 0,056    | 0,053    | 0,051    | 0,049    | 0,049   | 0,044   | 0,051   |         |         |
| 13. 5. 36 | Mit 90 g Glykose 27,2 km | 0,078           | 0,075   | 0,070    | 0,070    | 0,065    | 0,061    | 0,067   | 0,069   | 0,069   | 0,080   | 0,073   |
| 18. 5. 36 | " 27,2 "                 | 0,081           | 0,075   | 0,088    | 0,124    | 0,107    |          | 0,116   | 0,093   | 0,124   | 0,104   |         |
| 25. 5. 36 | " 34,0 "                 | 0,076           | 0,085   | 0,076    | 0,094    |          |          | 0,110   | 0,107   | 0,098   | 0,107   |         |
| 27. 5. 36 | " 34,0 "                 | 0,073           | 0,089   | 0,073    | 0,085    | 0,127    |          | 0,105   | 0,103   | 0,089   | 0,103   |         |
| 5. 6. 36  | " 34,0 "                 | 0,078           | 0,072   | 0,078    | 0,096    | 0,103    |          | 0,117   | 0,094   | 0,083   | 0,083   |         |
| 8. 6. 36  | " 34,0 "                 | 0,082           | 0,098   | 0,089    | 0,091    | 0,094    | 0,098    | 0,102   | 0,107   | 0,084   | 0,080   |         |
| 26. 6. 36 | " 34,0 "                 | 0,074           | 0,078   | 0,092    | 0,089    | 0,101    | 0,087    | 0,072   | 0,103   | 0,080   | 0,088   |         |
|           |                          | 0,072           | 0,158   | 0,125    | 0,109    | 0,102    | 0,105    | 0,100   | 0,095   | 0,088   |         |         |
|           |                          | 0,077           | 0,094   | 0,092    | 0,098    | 0,106    | 0,097    | 0,103   | 0,100   | 0,092   | 0,106   |         |
| 12. 6. 36 | Mit 22 g Glykose 34,0 km | 0,076           | 0,067   | 0,063    | 0,065    | 0,086    | 0,072    | 0,072   | 0,072   | 0,072   |         |         |
| 15. 6. 36 | " 34,0 "                 | 0,081           | 0,070   | 0,072    | 0,072    | 0,084    | 0,075    | 0,073   | 0,079   | 0,073   |         |         |
| 17. 6. 36 | " 34,0 "                 | 0,079           | 0,075   | 0,077    | 0,079    | 0,081    | 0,090    | 0,102   | 0,081   | 0,077   | 0,077   |         |
|           |                          | 0,079           | 0,071   | 0,071    | 0,072    | 0,084    | 0,079    | 0,082   | 0,077   | 0,075   | 0,077   |         |
|           |                          | 1. Std.         | 2. Std. | 3. Std.  | 4. Std.  | 5. Std.  | 6. Std.  | 7. Std. | 8. Std. |         |         |         |
| 6. 5. 36  | Ruheversuch . . . . .    | 0,089           | 0,085   | 0,085    | 0,083    |          |          |         |         |         |         |         |
| 1. 7. 36  | " . . . . .              | 0,076           | 0,081   | 0,079    | 0,083    | 0,083    | 0,081    | 0,079   | 0,079   |         |         |         |
| 20. 7. 36 | " . . . . .              | 0,076           | 0,074   | 0,078    | 0,076    | 0,076    | 0,076    | 0,076   | 0,074   |         |         |         |
|           |                          | 0,080           | 0,080   | 0,081    | 0,081    | 0,080    | 0,079    | 0,078   | 0,077   |         |         |         |



den Befunden von *Talbot* und *Dill* (l. c. 8) überein, nicht aber mit den Angaben von *Christensen* (24) und *Boje* (l. c. 12), die sofort nach der Unterbrechung der Arbeit höhere Blutzuckerwerte fanden als im Ruhezustand vor der Arbeit. Sie gaben daher an, daß man, um den Blutzuckerwert bei Arbeit zu bestimmen, die Blutentnahme ohne Unterbrechung der Arbeit vornehmen müsse. Nach unseren Befunden dürfte diese Vorsichtsmaßregel nicht notwendig sein, wenn die Arbeit bis zur Erschöpfung fortgesetzt wird. Wird Glykose in einer dem Kalorienverbrauch entsprechenden Menge zugeführt, so bleibt die Senkung nicht nur aus, sondern wird durch eine Erhöhung ersetzt, die in der Erholungszeit erst sehr langsam zurückkehrt. Während die Zufuhr kleiner Mengen (9—36 g) Glykose auf den Gaswechsel ohne Einfluß blieb, sehen wir beim Blutzucker auch bei Zufuhr geringer Zuckermengen schon eine deutliche Reaktion. Der Zucker wurde nach 3 Arbeitsstunden gegeben, als der Blutzucker bereits beträchtlich abgesunken

Tabelle 5. Hund II.

| Datum   | Art des Versuches        | Blutzucker in % |         |         |         |         |          |         |         |         |         |
|---------|--------------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|
|         |                          | Arbeit          |         |         |         |         | Erholung |         |         |         |         |
|         |                          | 0               | 30 Min. | 45 Min. | 60 Min. | 90 Min. | 120 Min. | 1. Std. | 2. Std. | 3. Std. | 4. Std. |
| 16. 10. | Ohne Glykose 10,9 km     | 0,070           | 0,088   | 0,079   | 0,075   |         | 0,075    | 0,077   | 0,079   | 0,079   | 0,075   |
| 23. 10. | " " 14,3 "               | 0,079           |         | 0,086   | 0,081   |         | 0,081    | 0,079   | 0,081   | 0,079   | 0,079   |
| 28. 10. | " " 15,0 "               | 0,077           |         | 0,075   | 0,074   |         | 0,081    | 0,072   | 0,081   | 0,081   | 0,075   |
| 2. 11.  | " " 13,6 "               | 0,075           | 0,073   | 0,066   | 0,072   |         | 0,082    | 0,082   | 0,082   | 0,082   | 0,079   |
| 19. 10. | Mit 90 g Glykose 13,6 km | 0,075           | 0,081   | 0,076   | 0,076   |         | 0,076    | 0,078   | 0,080   | 0,080   | 0,077   |
| 21. 10. | " " 13,5 g "             | 0,072           |         | 0,093   | 0,090   |         | 0,100    | 0,092   | 0,100   | 0,097   | 0,099   |
| 26. 10. | " " 14,4 g "             | 0,073           |         | 0,096   | 0,100   | 0,098   | 0,098    | 0,100   | 0,100   | 0,101   | 0,091   |
| 30. 10. | " " 14,4 g "             | 0,079           |         | 0,095   | 0,095   | 0,098   | 0,104    | 0,114   | 0,121   | 0,104   | 0,090   |
|         | " " 17,0 "               | 0,081           |         | 0,095   | 0,100   | 0,093   | 0,105    | 0,109   | 0,102   | 0,097   | 0,090   |
| 4. 11.  | Mit 9 g Glykose 13,6 km  | 0,076           |         | 0,096   | 0,096   | 0,096   | 0,101    | 0,104   | 0,106   | 0,100   | 0,093   |
| 6. 11.  | " " 36 g "               | 0,077           |         | 0,084   | 0,084   | 0,084   | 0,083    | 0,081   | 0,081   | 0,079   | 0,079   |
|         | " " 13,6 "               | 0,077           |         | 0,098   | 0,092   | 0,092   | 0,089    | 0,078   | 0,077   | 0,077   | 0,078   |
|         |                          | 0,077           |         | 0,091   | 0,088   | 0,088   | 0,086    | 0,080   | 0,079   | 0,078   | 0,079   |

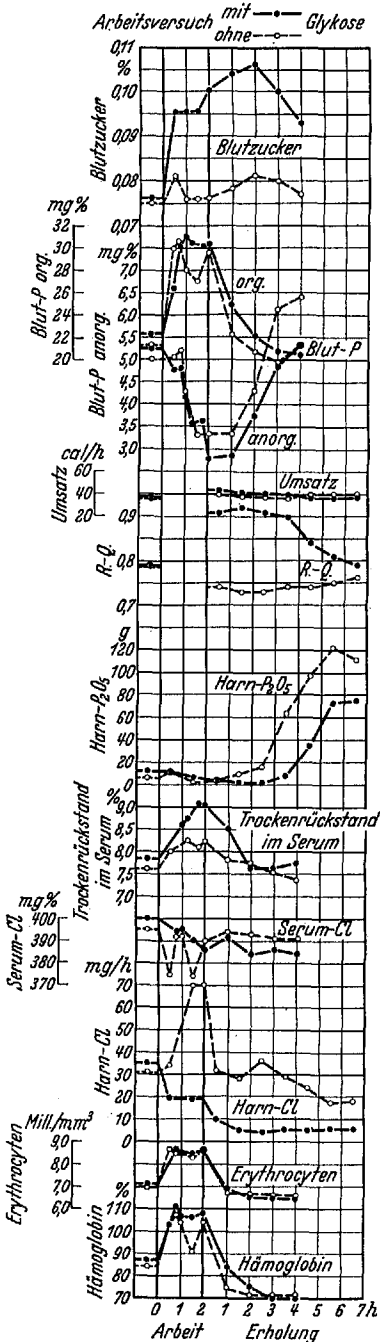


Abb. 3. Versuche mit großen Zuckermengen (Hund II).

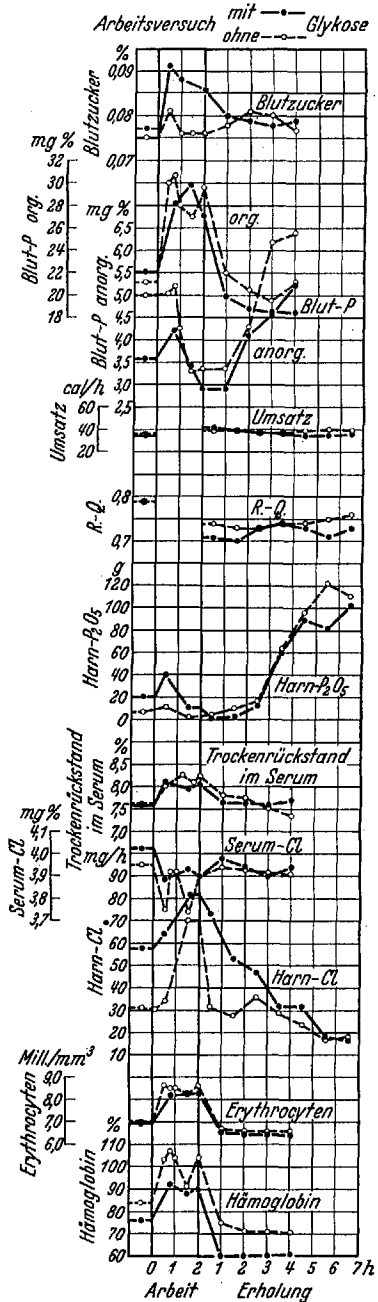


Abb. 4. Versuche mit kleinen Zuckermengen (Hund II).

Tabelle 6. Hund I.

| Datum  | Art des Versuches         | Blut-P.<br>mg. % | Zeitpunkt der Blutentnahme |              |              |              |              |              |            |            |              |              |               |              |              |
|--------|---------------------------|------------------|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
|        |                           |                  | Arbeit                     |              |              |              |              | Erholung     |            |            |              |              |               |              |              |
|        |                           |                  | 0                          | 60<br>Min.   | 120<br>Min.  | 180<br>Min.  | 240<br>Min.  | 300<br>Min.  | 1.<br>Std. | 2.<br>Std. | 3.<br>Std.   | 4.<br>Std.   | 5.<br>Std.    |              |              |
| 8. 5.  | Ohne Glykose 20,4 km . .  | anorg.<br>org.   | 5,51<br>20,7               | 5,51<br>27,3 | 2,50<br>35,5 | 4,40<br>29,4 |              |              |            |            | 5,47<br>21,4 | 7,10<br>22,8 | 8,09<br>19,3  | 7,69<br>19,7 | 7,35<br>22,2 |
| 11. 5. | " " 20,4 " . .            | anorg.<br>org.   | 5,10<br>20,9               | 5,88<br>27,1 | 3,43<br>32,2 | 4,08<br>27,5 |              |              |            |            | 6,85<br>22,6 | 7,66<br>23,9 | 6,26<br>25,5  | 8,55<br>26,3 | 8,20<br>23,1 |
| 20. 5. | " " 27,2 " . .            | anorg.<br>org.   | 5,63<br>22,5               | 6,85<br>26,2 | 5,30<br>25,8 | 5,80<br>26,4 | 6,35<br>27,5 |              |            |            | 7,01<br>20,2 | 7,86<br>19,2 | 8,48<br>20,5  | 8,16<br>22,0 |              |
| 13. 7. | " " 34,0 " . .            | anorg.<br>org.   | 3,84<br>19,4               | 4,08<br>22,3 | 4,56<br>22,6 | 4,25<br>22,2 | 3,84<br>21,9 | 4,32<br>21,7 |            |            | 3,92<br>17,4 | 5,71<br>17,6 | 6,20<br>15,80 |              |              |
| 18. 5. | Mit Glykose 72 g, 27,2 km | anorg.<br>org.   | 5,02<br>20,9               | 5,58<br>25,7 | 3,95<br>29,0 | 4,63<br>26,4 | 5,09<br>24,7 | 4,32<br>21,7 |            |            | 5,56<br>20,4 | 7,08<br>20,9 | 7,26<br>20,3  | 8,13<br>22,7 | 7,78<br>22,6 |
| 25. 5. | " " 90 g, 34 "            | anorg.<br>org.   | 4,40<br>20,3               | 4,86<br>26,8 | 4,94<br>27,2 | 5,14<br>27,7 |              |              |            |            | 3,87<br>20,9 | 5,88<br>20,7 | 7,05<br>21,7  | 6,77<br>20,4 |              |
| 27. 5. | " " 90 g, 34 "            | anorg.<br>org.   | 3,92<br>20,7               | 3,34<br>26,1 | 4,56<br>27,2 | 5,02<br>30,3 | 5,05<br>29,3 |              |            |            | 3,76<br>23,2 | 4,32<br>22,7 | 5,79<br>22,4  |              |              |
| 26. 6. | " " 200 g, 34 "           | anorg.<br>org.   | 4,57<br>22,3               | 4,90<br>27,7 | 4,90<br>28,4 | 5,06<br>28,7 | 5,46<br>30,0 |              |            |            | 5,64<br>21,1 | 5,79<br>23,6 | 5,88<br>24,0  |              |              |
|        |                           |                  | 5,26<br>22,5               | 8,89<br>29,8 | 9,14<br>27,1 | 6,44<br>28,8 | 4,73<br>28,1 | 4,57<br>27,3 |            |            | 4,08<br>26,3 | 4,40<br>21,3 | 5,70<br>20,7  |              |              |
| 15. 6. | Mit Glykose 9 g, 34 km    | anorg.<br>org.   | 4,54<br>21,5               | 5,50<br>27,6 | 5,89<br>27,8 | 5,42<br>28,9 | 5,08<br>29,1 | 4,57<br>27,3 |            |            | 4,34<br>22,9 | 5,09<br>22,1 | 6,11<br>22,2  | 6,77<br>20,4 |              |
| 17. 6. | " " 9 g, 34 "             | anorg.<br>org.   | 4,74<br>20,1               | 5,46<br>26,4 | 5,30<br>27,5 | 5,46<br>28,3 | 4,74<br>29,5 | 4,38<br>29,5 |            |            | 4,81<br>21,8 | 6,60<br>23,2 | 7,50<br>21,6  |              |              |
|        |                           |                  | 4,41<br>20,8               | 5,05<br>28,0 | 5,39<br>27,9 | 4,81<br>28,5 | 5,55<br>29,5 | 4,08<br>28,7 |            |            | 5,26<br>24,5 | 7,17<br>23,6 | 8,20<br>21,8  | 8,07<br>24,2 |              |
|        |                           |                  | 4,58<br>20,5               | 5,26<br>27,2 | 5,35<br>27,7 | 5,13<br>28,4 | 5,15<br>29,5 | 4,21<br>29,1 |            |            | 5,03<br>23,1 | 6,89<br>23,4 | 7,85<br>21,7  | 8,07<br>24,2 |              |

war. Die Zugabe von Glykose führte hier zu einer geringen Überschreitung des Ausgangsniveaus, von wo bei der weiteren Arbeit und im Laufe der Erholung nur ein geringes Absinken stattfand. Hund II (Abb. 3 und Tabelle 5) zeigt insofern ein abweichendes Verhalten, als bei Arbeit ohne Zucker eine Senkung des Blutzuckers nicht eintrat. Die Erhöhung des Blutzuckers bei einer dem Kalorienverbrauch entsprechenden Zufuhr von Traubenzucker war ungefähr die gleiche wie bei Hund I. Ebenso findet sich bei Hund II bereits eine deutliche Reaktion des Blutzuckers auf die Zufuhr von 9 bzw. 36 g Glykose.

Die Tabellen 6 und 7 und die Abb. 1 und 2 geben einen Überblick über das Verhalten des Phosphatstoffwechsels bei Hund I. Während der Arbeit steigt das organische Phosphat im Blut, in der Erholung dagegen folgt ein rasches Absinken auf den Ausgangswert. An diesem Verhalten des organischen Blutphosphates wird weder durch kleine, noch durch große Zuckermengen etwas Grundsätzliches geändert. Da

Tabelle 7.

| Datum     | Art des Versuches        | Ruhe  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Ausscheidung |         |         |         |         |         |
|-----------|--------------------------|-------|---|---------|---------|---------|---------|---------|
|           |                          |       | Arbeit                                      |         |         |         |         |         |
|           |                          |       | 1. Std.                                     | 2. Std. | 3. Std. | 4. Std. | 5. Std. |         |
| 8. 5. 36  | Ohne Glykose 20,4 km . . |       | 0,002                                       | 0,002   | 0,001   |         |         |         |
| 11. 5. 36 | „ „ 20,4 „ . .           |       | 0,016                                       | 0,015   | 0,019   |         |         |         |
| 20. 5. 36 | „ „ 27,2 „ . .           |       | 0,041                                       | 0,001   | 0,000   | 0,000   |         |         |
| 10. 6. 36 | „ „ 34,0 „ . .           | 0,003 | 0,001                                       | 0,001   | 0,004   |         |         |         |
| 13. 7. 36 | „ „ 34,0 „ . .           |       | 0,005                                       | 0,002   | 0,003   | 0,005   |         |         |
| 3. 6. 36  | „ „ 34,0 „ . .           | 0,003 | 0,001                                       | 0,001   | 0,001   | 0,003   |         |         |
|           |                          | 0,003 | 0,011                                       | 0,004   | 0,005   | 0,003   |         |         |
| 23. 5. 36 | Mit 90 g Glykose 27,2 km | 0,002 | 0,007                                       | 0,000   | 0,000   | 0,000   |         |         |
| 18. 5. 36 | „ 72 g „ 27,2 „          | 0,002 | 0,001                                       | 0,001   | 0,001   |         |         |         |
| 15. 5. 36 | „ 90 g „ 34,0 „          | 0,001 | 0,001                                       | 0,001   | 0,000   | 0,004   | 0,004   |         |
| 27. 5. 36 | „ 90 g „ 34,0 „          | 0,003 | 0,003                                       | 0,007   | 0,003   | 0,002   |         |         |
| 25. 6. 36 | „ 200 g „ 34,0 „         | 0,012 | 0,009                                       | 0,014   | 0,001   | 0,002   |         |         |
| 8. 6. 36  | „ 200 g „ 34,0 „         | 0,029 | 0,016                                       | 0,006   | 0,002   | 0,002   |         |         |
| 6. 6. 36  | „ 200 g „ 34,0 „         |       | 0,000                                       | 0,001   | 0,001   | 0,000   |         |         |
|           |                          | 0,008 | 0,005                                       | 0,004   | 0,001   | 0,002   | 0,004   |         |
| 15. 5. 36 | Mit 22 g Glykose 40,8 km | 0,001 | 0,000                                       | 0,001   | 0,001   | 0,001   | 0,002   |         |
| 12. 6. 36 | „ 22 g „ 34,0 „          |       | 0,004                                       | 0,004   | 0,002   | 0,001   |         |         |
| 15. 6. 36 | „ 9 g „ 34,0 „           |       | 0,002                                       | 0,003   | 0,002   | 0,001   |         |         |
| 17. 6. 36 | „ 9 g „ 34,0 „           |       | 0,004                                       | 0,008   | 0,007   |         |         |         |
|           |                          | 0,001 | 0,003                                       | 0,004   | 0,003   | 0,001   | 0,002   |         |
|           |                          |       | 1. Std.                                     | 2. Std. | 3. Std. | 4. Std. | 5. Std. | 6. Std. |
| 6. 5. 36  | Ruhe . . . . .           | 0,008 | 0,002                                       | 0,000   | 0,008   | 0,025   | 0,028   |         |
| 19. 6. 36 | „ . . . . .              | 0,002 | 0,001                                       | 0,003   | 0,012   | 0,027   | 0,025   |         |
|           |                          | 0,005 | 0,002                                       | 0,002   | 0,010   | 0,026   | 0,027   |         |

organisches Phosphat wesentlich in den roten Blutkörperchen enthalten ist, so sind die hier beobachteten Veränderungen des Gehaltes an organischem Blutphosphat ein Ausdruck für die Vermehrung der roten Blutkörperchen bei Arbeit. Bei Hund II (Tabellen 8, 9 und Abb. 3 und 4) sind die Veränderungen vollkommen die gleichen. Ganz anders verhält sich das anorganische Phosphat. Bei fehlender Zuckerezufuhr sehen wir während der Arbeit im Blut schwankende, in ganzen eher absinkende Werte, nach der Arbeit dagegen, im Laufe von etwa 4 Stunden einen mächtigen Anstieg um etwa 60—70% des Ausgangswertes. Die nach der Arbeit während der Erholungsperiode einsetzende Vermehrung des anorganischen Blutphosphates entspricht der in Tabelle 7 bzw. in den Abbildungen wiedergegebenen Ausscheidung im Harn. Während der Arbeit ist diese außerordentlich gering. Erst 2 Stunden nach der Arbeit beginnt sie anzusteigen. Etwa in der 5. Erholungsstunde erreicht die Phosphatausscheidung ihr Maximum. In einer früheren Veröffentlichung

Hund I.

im Harn in g

| Erholung |         |         |         |         |         |         | 12stünd.<br>Nachttharn |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------------|
| 1. Std.  | 2. Std. | 3. Std. | 4. Std. | 5. Std. | 6. Std. | 7. Std. |                        |
| 0,001    | 0,001   | 0,008   | 0,028   | 0,227   | 0,370   | 0,116   | 0,587                  |
| 0,001    | 0,001   | 0,014   | 0,093   | 0,266   | 0,090   | 0,176   | 0,419                  |
| 0,000    | 0,002   | 0,045   | 0,141   | 0,117   | 0,118   |         | 0,361                  |
| 0,003    | 0,000   | 0,013   | 0,131   | 0,193   | 0,201   |         | 0,391                  |
| 0,004    | 0,002   | 0,083   | 0,060   | 0,105   | 0,194   | 0,210   | 0,816                  |
| 0,003    | 0,003   | 0,031   | 0,190   | 0,136   |         |         | 0,568                  |
| 0,002    | 0,002   | 0,032   | 0,107   | 0,174   | 0,195   | 0,167   | 0,524                  |
| 0,006    | 0,000   | 0,029   | 0,068   | 0,121   | 0,069   |         | 0,107                  |
| 0,001    | 0,001   | 0,001   | 0,028   | 0,068   | 0,151   |         | 0,062                  |
| 0,001    | 0,000   | 0,048   | 0,053   | 0,128   |         |         | 0,321                  |
| 0,002    | 0,002   | 0,000   | 0,047   | 0,043   |         |         | 0,508                  |
| 0,002    | 0,002   | 0,001   | 0,043   | 0,075   |         |         | 0,309                  |
| 0,003    | 0,006   | 0,025   | 0,030   | 0,043   |         |         | 0,369                  |
| 0,000    | 0,004   | 0,006   | 0,020   | 0,018   | 0,040   |         | 0,850                  |
| 0,002    | 0,002   | 0,016   | 0,041   | 0,071   | 0,087   |         | 0,371                  |
| 0,002    | 0,030   | 0,114   |         |         |         |         | 0,590                  |
| 0,001    | 0,005   | 0,023   | 0,123   | 0,114   | 0,130   |         | 0,540                  |
| 0,006    | 0,015   | 0,035   | 0,111   | 0,156   | 0,155   |         | 0,500                  |
| 0,001    | 0,009   | 0,054   | 0,079   | 0,157   | 0,373   |         | 0,635                  |
| 0,003    | 0,015   | 0,057   | 0,104   | 0,142   | 0,219   |         | 0,566                  |
| 7. Std.  | 8. Std. | 9. Std. |         |         |         |         |                        |
| 0,060    | 0,035   | 0,082   |         |         |         |         | 0,157                  |
| 0,028    | 0,035   | 0,040   |         |         |         |         | 0,112                  |
| 0,044    | 0,035   | 0,061   |         |         |         |         | 0,135                  |

Tabelle 8. Hund II.

| Datum   | Art des Versuches         | Blut-P.<br>mg-% | Zeitpunkt der Blutentnahme |            |            |            |            |            |             |         |         |         |         |       |       |
|---------|---------------------------|-----------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|
|         |                           |                 | Arbeit                     |            |            |            |            |            | Erholung    |         |         |         |         |       |       |
|         |                           |                 | 0                          | 30<br>Min. | 45<br>Min. | 60<br>Min. | 75<br>Min. | 90<br>Min. | 120<br>Min. | 1. Std. | 2. Std. | 3. Std. | 4. Std. |       |       |
| 16. 10. | Ohne Glykose 10,9 km      | anorg.<br>5,59  |                            | 5,22       | 4,32       |            |            |            |             |         | 3,76    | 3,43    | 4,81    | 5,71  | 6,76  |
|         |                           | org.<br>25,05   |                            | 30,58      | 29,28      |            |            |            |             |         | 30,04   | 24,17   | 22,99   | 21,89 | 22,24 |
| 23. 10. | " " 14,3 "                | anorg.<br>4,56  |                            |            | 3,76       |            |            |            |             |         | 2,53    | 3,26    | 4,98    | 5,79  | 6,44  |
|         |                           | org.<br>19,14   |                            | 29,94      | 28,54      |            |            |            |             |         | 30,17   | 22,14   | 20,22   | 18,01 | 22,16 |
| 28. 10. | " " 15,0 "                | anorg.<br>5,30  |                            |            | 5,30       |            |            |            |             |         | 4,49    | 3,76    |         | 7,16  | 6,81  |
|         |                           | org.<br>20,10   |                            |            | 29,10      |            |            |            |             |         | 29,31   | 22,84   |         | 20,44 | 20,29 |
| 2. 11.  | " " 13,6 "                | anorg.<br>4,57  |                            |            | 3,55       |            |            |            |             |         | 2,49    | 2,90    | 3,10    | 5,87  | 5,71  |
|         |                           | org.<br>20,63   |                            |            | 25,95      |            |            |            |             |         | 29,96   | 19,60   | 18,90   | 18,13 | 20,69 |
| 19. 10. | Mit Glykose 90 g, 13,6 km | anorg.<br>5,01  |                            | 5,06       | 4,23       |            |            |            |             |         | 3,34    | 3,34    | 4,30    | 6,13  | 6,43  |
|         |                           | org.<br>21,2    |                            | 29,9       | 28,20      |            |            |            |             |         | 29,96   | 22,20   | 20,70   | 19,60 | 21,40 |
| 21. 10. | " " 135 g, 17,3 "         | anorg.<br>5,55  |                            | 4,65       | 3,67       |            |            |            |             |         | 3,67    | 3,51    | 4,57    | 5,06  | 5,46  |
|         |                           | org.<br>23,05   |                            | 32,55      | 30,53      |            |            |            |             |         | 29,13   | 24,89   | 22,83   | 20,63 | 19,94 |
| 26. 10. | " " 144 g, 16,5 "         | anorg.<br>4,90  |                            | 4,24       | 3,51       |            |            |            |             |         | 4,16    | 2,61    | 3,34    | 4,98  | 5,14  |
|         |                           | org.<br>22,00   |                            | 28,76      | 27,36      |            |            |            |             |         | 30,64   | 23,09   | 20,66   | 19,72 | 18,06 |
| 30. 10. | " " 144 g, 17,0 "         | anorg.<br>5,55  |                            | 5,71       | 4,90       |            |            |            |             |         | 3,76    | 3,18    | 3,18    | 4,49  | 5,55  |
|         |                           | org.<br>22,05   |                            | 28,89      | 30,40      |            |            |            |             |         | 31,74   | 27,82   | 25,42   | 23,31 | 24,25 |
|         |                           | anorg.<br>5,35  |                            | 4,74       | 3,56       |            |            |            |             |         | 3,10    | 2,12    | 3,92    | 4,90  | 5,30  |
|         |                           | org.<br>21,40   |                            | 26,26      | 35,66      |            |            |            |             |         | 29,90   | 23,58   | 19,58   | 19,30 | 20,10 |
|         |                           | anorg.<br>5,34  |                            | 4,87       | 4,21       |            |            |            |             |         | 3,67    | 2,86    | 3,75    | 4,86  | 5,36  |
|         |                           | org.<br>22,3    |                            | 30,10      | 31,00      |            |            |            |             |         | 30,20   | 24,85   | 22,12   | 20,74 | 20,59 |
| 4. 11.  | Mit Glykose 9 g, 13,6 km  | anorg.<br>4,16  |                            | 4,65       | 3,16       |            |            |            |             |         | 4,16    | 3,47    | 4,56    | 5,46  | 5,64  |
|         |                           | org.<br>21,24   |                            | 27,55      | 29,14      |            |            |            |             |         | 27,04   | 19,53   | 18,94   | 17,54 | 18,36 |
| 6. 11.  | " " 36 g, 13,6 "          | anorg.<br>3,02  |                            | 3,76       | 2,61       |            |            |            |             |         | 2,61    | 2,40    | 3,59    | 3,76  | 4,90  |
|         |                           | org.<br>22,98   |                            | 28,84      | 30,39      |            |            |            |             |         | 27,07   | 20,20   | 18,71   | 19,54 | 18,70 |
|         |                           | anorg.<br>3,59  |                            | 4,21       | 3,39       |            |            |            |             |         | 2,90    | 2,94    | 4,08    | 4,61  | 5,27  |
|         |                           | org.<br>22,11   |                            | 28,20      | 29,77      |            |            |            |             |         | 27,06   | 19,87   | 18,83   | 18,54 | 18,53 |

Tabelle 9. Hund II.

| Datum   | Art des Versuches         | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Ausscheidung im Harn in g |         |         |         |          |         |         |         |         |         |         |                          |  |  |
|---------|---------------------------|--|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------------|--|--|
|         |                           | Ruhe   |         | Arbeit  |         | Erholung |         |         |         |         |         |         | 12stündiger<br>Nachtharn |  |  |
|         |                           | 1. Std.  | 2. Std. | 1. Std. | 2. Std. | 1. Std.  | 2. Std. | 3. Std. | 4. Std. | 5. Std. | 6. Std. | 7. Std. |                          |  |  |
| 16. 10. | Ohne Glykose 10,9 km . .  | 0,005  | 0,009   | 0,003   | 0,004   | 0,006    | 0,002   | 0,004   | 0,085   | 0,089   | 0,490   |         |                          |  |  |
| 23. 10. | " " 14,3 " . .            | 0,010  | 0,015   | 0,005   | 0,004   | 0,026    | 0,045   | 0,062   | 0,166   | 0,137   | 0,742   |         |                          |  |  |
| 28. 10. | " " 15,0 " . .            | 0,003  | 0,005   | 0,002   | 0,002   | 0,003    | 0,010   | 0,104   | 0,125   | 0,104   | 0,740   |         |                          |  |  |
| 2. 11.  | " " 13,6 " . .            | 0,005  | 0,014   | 0,001   | 0,001   | 0,003    | 0,008   | 0,086   | 0,103   | 0,117   | 0,760   |         |                          |  |  |
| 19. 10. | Mit Glykose 90 g, 13,6 km | 0,006  | 0,011   | 0,003   | 0,003   | 0,010    | 0,016   | 0,064   | 0,095   | 0,122   | 0,683   |         |                          |  |  |
| 21. 10. | " " 135 g, 16,5 "         | 0,009  | 0,009   | 0,003   | 0,004   | 0,001    | 0,003   | 0,025   | 0,063   | 0,102   | 0,503   |         |                          |  |  |
| 26. 10. | " " 144 g, 16,5 "         | 0,008  | 0,007   | 0,006   | 0,002   | 0,002    | 0,002   | 0,007   | 0,043   | 0,054   | 0,393   |         |                          |  |  |
| 30. 10. | " " 144 g, 17,0 "         | 0,001  | 0,001   | 0,001   | 0,000   | 0,001    | 0,001   | 0,002   | 0,008   | 0,014   | 0,305   |         |                          |  |  |
| 4. 11.  | Mit Glykose 9 g, 13,6 km  | 0,012  | 0,011   | 0,005   | 0,003   | 0,002    | 0,002   | 0,009   | 0,035   | 0,073   | 0,437   |         |                          |  |  |
| 6. 11.  | " " 36 g, 13,6 "          | 0,022  | 0,057   | 0,007   | 0,002   | 0,002    | 0,006   | 0,058   | 0,095   | 0,088   | 0,520   |         |                          |  |  |
|         |                           | 0,018  | 0,021   | 0,014   | 0,001   | 0,003    | 0,011   | 0,066   | 0,085   | 0,078   | 0,420   |         |                          |  |  |
|         |                           | 0,020  | 0,039   | 0,010   | 0,002   | 0,003    | 0,014   | 0,062   | 0,090   | 0,083   | 0,470   |         |                          |  |  |
|         |                           | 1. Std.  | 2. Std. | 3. Std. | 4. Std. | 5. Std.  | 6. Std. | 7. Std. | 8. Std. | 9. Std. |         |         |                          |  |  |
| 16. 11. | Ruheversuch . . . . .     | 0,027  | 0,013   | 0,019   | 0,007   | 0,011    | 0,030   | 0,034   | 0,045   | 0,048   | 0,236   |         |                          |  |  |

hat Szakáll<sup>22</sup> auf dieses Verhalten des anorganischen Phosphates nach anstrengender Muskelarbeit hingewiesen und hat damals bereits festgestellt, daß es durch die enge Beziehung zwischen Phosphat- und Kohlehydratstoffwechsel bedingt sein muß.

Da anzunehmen ist, daß Zuckergaben ebenfalls auf den Kohlehydratstoffwechsel des Muskels einwirken, so war es wichtig festzustellen, ob durch Zuckergaben auch der Phosphatgehalt des Blutes und die Phosphatausscheidung im Harn in irgendeiner Weise beeinflußt wird. Die Werte des Phosphatgehaltes im Blut zeigen, daß während der Arbeit ein nennenswerter Unterschied gegenüber den Versuchen ohne Zucker nicht besteht. Deutliche Unterschiede finden sich aber in der Erholungsperiode. In den Zuckerversuchen erfolgt der nach der Arbeit einsetzende Anstieg des Blut-Phosphat-Spiegels später und erreicht weniger hohe Werte als in den Versuchen ohne Zucker. Noch deutlicher sind die Unterschiede bei der Phosphatausscheidung im Harn. Wiederum sehen wir während der Arbeit in beiden Fällen eine sehr geringe Phosphatausscheidung und einen Anstieg erst in der 2. Erholungsstunde. Jedoch erreicht der Anstieg der Phosphatausscheidung bei den Zuckerversuchen knapp die Hälfte der bei den Versuchen ohne Zucker erreichten Werte. Der Eindruck, der durch die Kurve vermittelt wird, bedarf insofern noch einer Korrektur, als im Laufe des Tages auch bei ruhenden Hunden die Ausscheidung von Phosphat allmählich in die Höhe geht (s. Tabelle 7 unten). Die den betreffenden Tagesstunden entsprechenden Ruhewerte sind in Abb. 1 als Kreuze eingesetzt. Es zeigt sich, daß die Phosphatausscheidung nach Traubenzuckerdarreichung die bei Ruhe bereits vorhandene Ausscheidung kaum überschreitet. Wir können demnach feststellen, daß der im Anschluß an schwere Arbeit auftretende Phosphatverlust durch Traubenzucker vollkommen oder doch nahezu vollkommen vermieden werden kann. Bei Hund II ist das Bild insofern etwas anders, als während der Arbeit eine sehr starke Senkung des anorganischen Phosphates

Tabelle 10.

|                                | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -Ausscheidung im Harn in g |                     |                     |       |           | Aufgenommen<br>P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |
|--------------------------------|--|---------------------|---------------------|-------|-----------|--|
|                                | 1.<br>0—24<br>Std.                                       | 2.<br>24—35<br>Std. | 3.<br>35—48<br>Std. | 2 + 3 | 1 + 2 + 3 |  |
| Hund I:                        |  |                     |                     |       |           |  |
| Ohne Glykose . . . . .         | 0,506  | 0,524               | 0,693               | 1,217 | 1,723     | 1,596  |
| Große Glykosemengen . . . . .  | 0,540  | 0,258               | 0,371               | 0,629 | 1,169     | 1,596  |
| Kleine Glykosemengen . . . . . | 0,616  | 0,554               | 0,566               | 1,120 | 1,736     | 1,596  |
| Körperliche Ruhe . . . . .     | 0,460  | 0,212               | 0,135               | 0,347 | 0,807     | 1,596  |
| Hund II:                       |  |                     |                     |       |           |  |
| Ohne Glykose . . . . .         | 0,901  | 0,444               | 0,683               | 1,127 | 2,128     | 1,943  |
| Große Glykosemengen . . . . .  | 0,864  | 0,227               | 0,436               | 0,663 | 1,527     | 1,943  |
| Kleine Glykosemengen . . . . . | 0,517  | 0,424               | 0,470               | 0,894 | 1,411     | 1,943  |



im Blute stattfindet. Diese Senkung wird durch die Zuckergabe offenbar nicht beeinflusst. Die Wirkung des Traubenzuckers ist im übrigen ganz die gleiche wie bei Hund I. Der Zucker vermindert auch hier den Anstieg der Phosphatkonzentration im Blute in der Erholungsperiode und setzt die Phosphatausscheidung im Harn wesentlich herab. Die Zufuhr kleiner Zuckermengen bleibt bei beiden Hunden ohne Einfluß auf den Phosphatstoffwechsel.

Aus Tabelle 10 ist für beide Hunde zu ersehen, wie sich die Phosphatausscheidung in den einzelnen Versuchsreihen auf die Phosphatbilanz auswirkt. Da der Fütterung 48stündige Perioden zugrunde lagen, betrachten wir auch hier jeweils 48 Stunden. Spalte 1 zeigt die Ausscheidung während der 24 Stunden vor der Arbeit, Spalte 2 während der Arbeit und der darauffolgenden etwa 5 Erholungsstunden, Spalte 3 während des Restes der Periode. Addieren wir Spalte 2 und 3, so erhalten wir die Phosphatausscheidung während und nach der Arbeit. Wir sehen bei beiden

Tabelle 11. Hund I.

| Datum  | Art des Versuches         | Blutchlor in %, Zeitpunkt der Blutentnahme |         |          |          |          |          |          |         |         |         |         |  |
|--------|---------------------------|--|---------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|--|
|        |                           | Arbeit                                     |         |          |          |          |          | Erholung |         |         |         |         |  |
|        |                           | 0  | 60 Min. | 120 Min. | 180 Min. | 240 Min. | 300 Min. | 1. Std.  | 2. Std. | 3. Std. | 4. Std. | 5. Std. |  |
| 8. 5.  | Ohne Glykose 20,4 km . .  | 0,423                                      | 0,408   | 0,428    | 0,428    |          |          | 0,423    | 0,412   | 0,414   | 0,405   | 0,410   |  |
| 11. 5. | " " 20,4 " . .            | 0,406                                      | 0,394   | 0,397    | 0,419    |          |          | 0,415    | 0,422   | 0,417   | 0,415   | 0,415   |  |
| 20. 5. | " " 27,2 " . .            | 0,408                                      | 0,410   | 0,408    | 0,404    | 0,400    |          | 0,400    | 0,407   | 0,402   | 0,399   |         |  |
| 13. 7. | " " 34,0 " . .            | 0,392                                      | 0,396   | 0,396    | 0,400    | 0,413    | 0,396    | 0,389    | 0,396   | 0,396   | 0,399   |         |  |
|        |                           | 0,407                                      | 0,402   | 0,407    | 0,413    | 0,406    | 0,396    | 0,407    | 0,409   | 0,407   | 0,406   | 0,413   |  |
| 18. 5. | Mit 72 g Glykose 27,2 km  | 0,403                                      | 0,412   | 0,421    | 0,422    |          |          | 0,423    | 0,410   | 0,410   | 0,410   |         |  |
| 25. 5. | " " 34,0 "                | 0,400                                      | 0,406   | 0,413    | 0,418    | 0,422    |          | 0,413    | 0,409   | 0,398   | 0,410   |         |  |
| 27. 5. | " " 34,0 "                | 0,403                                      | 0,414   | 0,410    | 0,417    | 0,417    |          | 0,391    | 0,392   | 0,399   | 0,399   |         |  |
| 26. 6. | " " 34,0 "                | 0,392                                      | 0,395   | 0,403    | 0,407    | 0,406    | 0,410    | 0,407    | 0,408   | 0,407   | 0,407   |         |  |
|        |                           | 0,400                                      | 0,407   | 0,412    | 0,416    | 0,416    | 0,410    | 0,409    | 0,405   | 0,404   | 0,410   |         |  |
| 16. 6. | Mit 9 g Glykose 34,0 km . | 0,396                                      | 0,405   | 0,403    | 0,416    | 0,407    | 0,424    | 0,414    | 0,406   | 0,405   | 0,405   |         |  |
| 17. 6. | " " 34,0 "                | 0,402                                      | 0,402   | 0,417    | 0,416    | 0,421    | 0,424    | 0,420    | 0,412   | 0,406   | 0,406   |         |  |
|        |                           | 0,399                                      | 0,403   | 0,410    | 0,416    | 0,414    | 0,424    | 0,417    | 0,409   | 0,409   | 0,405   |         |  |

Tabelle 12.

| Datum  | Art des Versuches         | Cl-Ausscheidung |         |         |         |         |         |
|--------|---------------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|        |                           | Ruhe            | Arbeit  |         |         |         |         |
|        |                           | 1 Std.          | 1. Std. | 2. Std. | 3. Std. | 4. Std. | 5. Std. |
| 8. 5.  | Ohne Glykose 20,4 km . .  |                 | 0,009   | 0,052   | 0,031   |         |         |
| 11. 5. | „ „ 20,4 „ . .            |                 | 0,005   | 0,005   | 0,003   |         |         |
| 20. 5. | „ „ 27,2 „ . .            |                 | 0,026   | 0,017   | 0,021   | 0,022   |         |
| 10. 6. | „ „ 34,0 „ . .            | 0,019           | 0,022   | 0,017   | 0,048   |         |         |
| 3. 6.  | „ „ 34,0 „ . .            | 0,032           | 0,028   | 0,035   | 0,033   | 0,038   |         |
|        |                           | 0,026           | 0,018   | 0,025   | 0,027   | 0,030   |         |
| 13. 5. | Mit Glykose 90 g, 27,2 km | 0,025           | 0,015   | 0,015   | 0,020   | 0,013   |         |
| 18. 5. | „ „ 72 g, 27,2 „          | 0,005           | 0,020   | 0,020   | 0,025   |         |         |
| 25. 5. | „ „ 90 g, 34,0 „          | 0,022           | 0,022   | 0,026   | 0,025   | 0,021   | 0,023   |
| 27. 5. | „ „ 90 g, 34,0 „          | 0,050           | 0,028   | 0,028   | 0,026   | 0,038   |         |
| 5. 6.  | „ „ 200 g, 34,0 „         | 0,075           | 0,031   | 0,033   | 0,021   | 0,018   |         |
| 8. 6.  | „ „ 200 g, 34,0 „         | 0,060           | 0,022   | 0,020   | 0,025   | 0,021   |         |
| 26. 6. | „ „ 200 g, 34,0 „         |                 | 0,017   | 0,002   | 0,011   | 0,009   |         |
|        |                           | 0,040           | 0,022   | 0,021   | 0,022   | 0,020   | 0,023   |
| 12. 6. | Mit Glykose 22 g, 34,0 km |                 | 0,023   | 0,031   | 0,039   | 0,024   |         |
| 15. 6. | „ „ 9 g, 34,0 „           |                 | 0,018   | 0,021   | 0,035   | 0,023   |         |
| 17. 6. | „ „ 9 g, 34,0 „           |                 | 0,017   | 0,019   | 0,020   |         |         |
|        |                           |                 | 0,019   | 0,024   | 0,031   | 0,024   |         |
|        |                           | 1. Std.         | 2. Std. | 3. Std. | 4. Std. | 5. Std. | 6. Std. |
| 19. 6. | Ruheversuch . . . . .     | 0,014           | 0,019   | 0,029   | 0,031   | 0,035   | 0,020   |

Hunden, daß die Werte für die Versuche ohne Zucker etwa doppelt so hoch sind, wie bei den Versuchen mit großen Traubenzuckermengen. Kleine Zuckermengen vermögen die Ausscheidung nur wenig zu beeinflussen. Addieren wir die Spalten 1, 2 und 3 und stellen sie der aufgenommenen Phosphatmenge gegenüber, so gestattet diese Gegenüberstellung eine bilanzmäßige Betrachtung. Es ergibt sich bei den Versuchen mit wenig und ohne Traubenzucker, daß die Ausscheidung an Phosphat größer ist als die Aufnahme. Es besteht also eine negative Phosphatbilanz. Bei den Versuchen mit viel Zucker dagegen erreicht die Ausscheidung bei weitem nicht die Aufnahme. Es besteht also, trotz der außerordentlichen großen Arbeitsleistung noch immer eine positive Phosphatbilanz. Wir können daher mit vollem Recht in der Zufuhr von Traubenzucker während der Arbeitsleistung ein phosphat-sparendes Mittel sehen und zweifeln nicht daran, daß die bekannte leistungssteigernde Wirkung des Traubenzuckers nicht zuletzt auf dieser Eigenschaft beruht.

In den Tabellen 11 und 12 und 13 und 14 und den Abb. 1, 2, 3 und 4 sind die Ergebnisse der Untersuchungen über den Chlorhaushalt niedergelegt, die deshalb interessant sind, weil zwischen Phosphat- und Chlor-

Hund I.

im Harn in g

| Erholung |         |         |         |         |         |         | 12stündiger<br>Nachtharn |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------------|
| 1. Std.  | 2. Std. | 3. Std. | 4. Std. | 5. Std. | 6. Std. | 7. Std. |                          |
| 0,017    | 0,090   | 0,146   | 0,264   | 0,149   | 0,075   | 0,041   | 1,039                    |
| 0,006    | 0,044   | 0,075   | 0,072   | 0,074   | 0,033   | 0,022   | 0,273                    |
| 0,050    | 0,063   | 0,053   | 0,028   | 0,034   | 0,028   |         | 0,414                    |
| 0,018    | 0,035   | 0,064   | 0,080   | 0,088   |         |         | 0,742                    |
| 0,040    | 0,137   | 0,154   | 0,099   | 0,067   |         |         | 0,863                    |
| 0,026    | 0,074   | 0,098   | 0,109   | 0,080   | 0,045   | 0,032   | 0,659                    |
| 0,007    | 0,039   | 0,031   | 0,014   | 0,045   | 0,009   |         | 0,153                    |
| 0,010    | 0,011   | 0,025   | 0,024   | 0,015   | 0,034   |         | 0,321                    |
| 0,008    | 0,012   | 0,020   | 0,043   | 0,065   |         |         | 0,206                    |
| 0,030    | 0,016   | 0,016   | 0,040   | 0,022   |         |         | 0,159                    |
| 0,007    | 0,012   | 0,013   | 0,030   | 0,025   |         |         | 0,155                    |
| 0,011    | 0,031   | 0,033   | 0,072   | 0,068   |         |         | 0,246                    |
| 0,002    | 0,016   | 0,031   | 0,043   | 0,048   |         |         | 0,394                    |
| 0,011    | 0,020   | 0,024   | 0,038   | 0,041   | 0,022   |         | 0,233                    |
| 0,037    | 0,060   | 0,062   | 0,054   | 0,049   |         |         | 0,473                    |
| 0,021    | 0,029   | 0,044   | 0,035   | 0,037   |         |         | 0,347                    |
| 0,010    | 0,010   | 0,019   | 0,044   | 0,029   | 0,066   |         | 0,360                    |
| 0,023    | 0,033   | 0,042   | 0,044   | 0,038   | 0,066   |         | 0,393                    |
| 7. Std.  | 8. Std. |         |         |         |         |         |                          |
| 0,023    | 0,021   |         |         |         |         |         | 0,132                    |

stoffwechsel gewisse Beziehungen zu bestehen scheinen. Bei beiden Hunden sehen wir im Chlorgehalt des Serums bzw. Blutes während der Arbeit und in der Erholungsperiode keine Veränderungen von Bedeutung. Dagegen findet sich bei Hund I in der Erholungsperiode ein sehr bedeutender Anstieg der Chlorausscheidung, der ebeno wie das bei der Phosphatausscheidung der Fall war, durch Traubenzuckergaben nahezu verhindert wird. Die Chlorausscheidung erfolgt bei Hund I früher als die Phosphatausscheidung und klingt auch sehr viel schneller und steiler wieder ab. Bereits kleine Mengen von Zucker scheinen bei Hund I zu genügen, um die nachträgliche Chlorausscheidung zu vermindern. Bei Hund II erfolgt die vermehrte Chlorausscheidung nicht in der Erholung, sondern bereits gegen Ende der Arbeit. Aber auch hier wird mit großen Zuckergaben der Anstieg der Chlorausscheidung vollkommen vermieden.

Unter Verzicht auf eine Aufführung der Einzelwerte sind in den Abbildungen die Werte für den Trockenrückstand des Blutes angegeben. Bei beiden Hunden steigen sie während der Arbeit an, um in der Erholungsphase wieder herabzusinken. Wenn bei großen Zuckergaben die Werte des Trockenrückstandes höher liegen, kann dies nicht durch das

Tabelle 13. Hund II.

| Datum   | Art des Versuches        | Chlorgehalt des Serums % |         |         |         |         |          |          |         |         |         |  |  |
|---------|--------------------------|--------------------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|---------|--|--|
|         |                          | Arbeit                   |         |         |         |         |          | Erholung |         |         |         |  |  |
|         |                          | 0                        | 30 Min. | 45 Min. | 60 Min. | 90 Min. | 120 Min. | 1. Std.  | 2. Std. | 3. Std. | 4. Std. |  |  |
| 16. 10. | Ohne Glykose 10,9 km . . | 0,393                    |         | 0,400   | 0,393   |         | 0,398    | 0,392    | 0,394   | 0,385   | 0,389   |  |  |
| 23. 10. | " " 14,3 " . .           | 0,395                    | 0,375   |         | 0,388   |         | 0,378    | 0,392    | 0,391   | 0,396   | 0,394   |  |  |
| 28. 10. | " " 15,0 " . .           | 0,406                    |         | 0,396   | 0,395   |         | 0,392    | 0,395    | 0,394   | 0,396   | 0,396   |  |  |
| 2. 11.  | " " 13,6 " . .           | 0,385                    |         | 0,380   |         | 0,374   | 0,392    | 0,396    | 0,392   | 0,390   | 0,385   |  |  |
| 19. 10. | Mit 90 g Glykose 13,6 km | 0,395                    | 0,375   | 0,392   | 0,392   | 0,374   | 0,390    | 0,394    | 0,393   | 0,391   | 0,391   |  |  |
| 21. 10. | " " 135 g " "            | 0,394                    |         | 0,392   | 0,390   |         | 0,388    | 0,398    | 0,387   | 0,381   | 0,384   |  |  |
| 26. 10. | " " 144 g " "            | 0,405                    |         | 0,398   | 0,406   | 0,389   | 0,384    | 0,385    | 0,380   | 0,384   | 0,382   |  |  |
| 30. 10. | " " 144 g " "            | 0,414                    |         | 0,408   | 0,406   | 0,400   | 0,395    | 0,406    | 0,400   | 0,410   | 0,400   |  |  |
|         | " " 144 g " "            | 0,386                    |         | 0,378   | 0,379   | 0,380   | 0,380    | 0,380    | 0,369   | 0,368   | 0,371   |  |  |
| 4. 11.  | Mit 9 g Glykose 13,6 km  | 0,400                    |         | 0,394   | 0,395   | 0,390   | 0,386    | 0,392    | 0,384   | 0,386   | 0,384   |  |  |
| 6. 11.  | " " 36 g " "             | 0,399                    |         | 0,396   | 0,402   | 0,402   | 0,395    | 0,407    | 0,402   | 0,395   | 0,399   |  |  |
|         | " " 13,6 " "             | 0,403                    |         | 0,380   | 0,383   | 0,387   | 0,387    | 0,392    | 0,388   | 0,385   | 0,388   |  |  |
|         |                          | 0,401                    |         | 0,388   | 0,393   | 0,391   | 0,399    | 0,399    | 0,395   | 0,390   | 0,394   |  |  |

Ansteigen der Zuckerkurve erklärt werden, sondern muß auf eine Eindickung des Blutes zurückgeführt werden. Dieser Befund ist um so auffallender, als bei den Zuckerversuchen eine größere Menge von Wasser zugeführt werden mußte, als bei Versuchen ohne Zucker. Die Kurven für den Hämoglobingehalt des Blutes und der Erythrocytenzahl geben keine Erklärung für das Verhalten des Trockenrückstandes. In bezug auf Hämoglobingehalt und Erythrocytenzahl besteht zwischen den Versuchen mit und ohne Zucker kein nennenswerter Unterschied. Die Vermehrung der roten Blutkörperchen und des Hämoglobins in Verbindung mit einer geringen Zunahme des Trockenrückstandes während der Arbeit und die Rückkehr zu normalen Werten kurz nach der Arbeit ist das typische Verhalten, das bei Hunden meistens gut ausgebildet ist. Die Funktion der Milz als Blutdepot vermag diese Erscheinung, die durch Traubenzuckerzufuhr nicht beeinflusst wird, zu erklären. Worauf die

Tabelle 14. Hund II.

| Datum   | Art des Versuches        | Cl-Ausscheidung im Harn in g |         |         |         |          |         |         |         |         |         |         |  |                      |  |
|---------|--------------------------|------------------------------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|----------------------|--|
|         |                          | Vor der Arbeit Stunde        |         | Arbeit  |         | Erholung |         |         |         |         |         |         |  | 12stündiger Nachharn |  |
|         |                          | 1. Std.                      | 2. Std. | 1. Std. | 2. Std. | 1. Std.  | 2. Std. | 3. Std. | 4. Std. | 5. Std. | 6. Std. | 7. Std. |  |                      |  |
| 16. 10. | Ohne Glykose 10,9 km . . | 0,026                        | 0,035   | 0,065   | 0,014   | 0,006    | 0,004   | 0,011   | 0,003   | 0,007   | 0,004   | 0,155   |  |                      |  |
| 23. 10. | " " 14,3 " . .           | 0,052                        | 0,063   | 0,099   | 0,063   | 0,048    | 0,058   | 0,004   | 0,025   | 0,028   | 0,023   | 0,521   |  |                      |  |
| 28. 10. | " " 15,0 " . .           | 0,028                        | 0,024   | 0,043   | 0,015   | 0,012    | 0,048   | 0,052   | 0,011   | 0,009   | 0,008   | 0,238   |  |                      |  |
| 2. 11.  | " " 13,6 " . .           | 0,016                        | 0,015   | 0,073   | 0,035   | 0,044    | 0,034   | 0,048   | 0,058   | 0,025   | 0,037   | 0,505   |  |                      |  |
| 19. 10. | Mit 90 g Glykose 13,6 km | 0,031                        | 0,034   | 0,070   | 0,032   | 0,028    | 0,036   | 0,029   | 0,024   | 0,017   | 0,018   |         |  |                      |  |
| 21. 10. | " 135 g " 16,5 "         | 0,046                        | 0,028   | 0,016   | 0,010   | 0,005    | 0,006   | 0,005   | 0,007   | 0,005   | 0,004   | 0,081   |  |                      |  |
| 26. 10. | " 144 g " 16,5 "         | 0,063                        | 0,025   | 0,037   | 0,022   | 0,009    | 0,004   | 0,004   | 0,010   | 0,012   | 0,006   | 0,111   |  |                      |  |
| 30. 10. | " 144 g " 17,0 "         | 0,023                        | 0,016   | 0,014   | 0,005   | 0,005    | 0,003   | 0,007   | 0,005   | 0,005   | 0,006   | 0,050   |  |                      |  |
|         |                          | 0,006                        | 0,008   | 0,005   | 0,002   | 0,002    | 0,002   | 0,002   | 0,003   | 0,003   | 0,005   | 0,039   |  |                      |  |
| 4. 11.  | Mit 9 g Glykose 13,6 km  | 0,035                        | 0,019   | 0,018   | 0,010   | 0,005    | 0,004   | 0,005   | 0,006   | 0,006   | 0,005   |         |  |                      |  |
| 6. 11.  | " 36 g " 13,6 "          | 0,072                        | 0,115   | 0,127   | 0,094   | 0,078    | 0,073   | 0,052   | 0,057   | 0,032   | 0,026   | 0,248   |  |                      |  |
|         |                          | 0,044                        | 0,013   | 0,036   | 0,052   | 0,027    | 0,020   | 0,011   | 0,006   | 0,003   | 0,007   | 0,083   |  |                      |  |
|         |                          | 0,058                        | 0,064   | 0,082   | 0,073   | 0,053    | 0,047   | 0,032   | 0,032   | 0,018   | 0,017   |         |  |                      |  |
| 16. 11. | Ruheversuch . . . . .    | 1. Std.                      | 2. Std. | 3. Std. | 4. Std. | 5. Std.  | 6. Std. | 7. Std. | 8. Std. | 9. Std. |         | 0,117   |  |                      |  |
|         |                          |                              | 0,042   | 0,039   | 0,023   | 0,015    | 0,014   | 0,010   | 0,006   | 0,006   | 0,008   |         |  |                      |  |

Erhöhung der Trockensubstanz im Blute am Ende der Arbeit zurückzuführen ist, bleibt zunächst ungeklärt.

#### *Besprechung.*

Bei der Durchführung der Versuche lag es nicht so sehr in unserer Absicht, die Steigerung der Leistungsfähigkeit aus der erreichten Laufstrecke direkt abzulesen, wir waren vielmehr bestrebt, den Einfluß maximaler Leistung oder doch nahezu maximaler Leistung auf den Stoffwechsel zu studieren und die Unterschiede zu ermitteln, die sich bei einem Vergleich von Versuchen mit und ohne Zuckergaben herausstellen. Nach den Ergebnissen unserer Versuche können wir in bezug auf die Wirkung von Traubenzucker während der Arbeit folgende Feststellungen machen:

Die im Laufe erschöpfender Muskularbeit auftretende Hypoglykämie wird durch Zufuhr von Traubenzucker per os vermieden; die Blutzuckerkurve verläuft auf einem höheren Niveau. Der Umfang der Blutzuckererhöhung ist aber viel geringer als nach Zuckerezufuhr im Ruhezustande. *Strandell*<sup>15</sup> zeigte in einer Versuchsreihe, daß die Kurve der Hyperglykämie nach Aufnahme von Traubenzucker durch körperliche Arbeit, je nach ihrer Dauer und Intensität, stark beeinflußt wird. Die Kurve der Hyperglykämie wird mit zunehmender Schwere der Arbeit immer weiter abgeflacht, so daß schließlich jeder Anstieg fehlen, ja sogar statt dessen eine Senkung eintreten kann. Dieses Fehlen bzw. die Verminderung der Blutzuckersteigerung bei Arbeit ist nach *Strandell* nicht durch schlechtere Resorption bedingt, sondern ist die Folge des blutzuckerermindernden Einflusses der Arbeit. Über die gleichen Beobachtungen berichten auch *Knoll* und Mitarbeiter<sup>25</sup>, ferner *Cassinis* und *Bracaloni*<sup>26</sup>. *Knoll* führt allerdings die Hemmung des Blutzuckeranstieges bei etwa 10 Minuten dauernder Arbeit und bei Zufuhr von 100 g Traubenzucker auf eine Hemmung der Assimilation zurück. Sowohl in den Versuchen von *Strandell* als auch bei uns wurde erheblich größere und länger dauernde Arbeit geleistet, außerdem wurde der Zucker ratenweise während der ganzen Arbeitsdauer eingeführt.

Der Anstieg des Blutzuckers bei der mit Muskularbeit kombinierten Zuckerezufuhr erfolgt schnell innerhalb einiger Minuten nach der Zuckerezufuhr. Es ist bekannt, daß Zufuhr von Traubenzucker im Ruhezustand bereits eine Steigerung des Blutzuckers bewirkt, ehe eine Resorption eingesetzt haben kann<sup>13</sup>. Andererseits folgt aus den Versuchen von *Edwards* und Mitarbeiter<sup>14</sup>, *Strandell*<sup>15</sup>, *Lehmann* und *Szakáll*<sup>16</sup>, daß eine Arbeitsleistung, die mit großer Anstrengung verbunden ist, infolge Adrenalinausschüttung vorübergehend eine erhebliche Blutzuckerzunahme auch ohne Zuckerezufuhr bewirken kann. Es ist möglich, daß bei dem steilen Anstieg der Blutzuckerkurve in unseren Versuchen auch dieser Vorgang eine Rolle spielt. Die Tatsache jedoch,

daß die Blutzuckerkurve weiterhin konstant hoch bleibt, spricht gegen eine wesentliche Bedeutung dieser Erscheinung. Keinesfalls kommt es durch die Reizwirkung des Zuckers zu einer übermäßigen Mobilisierung körpereigenen Kohlehydrats und daher auch nicht zu einer übermäßigen Verarmung des Organismus, vielmehr dürfte die Resorption so schnell und stark einsetzen, daß bereits nach ganz kurzer Zeit nicht ein Mehrverbrauch, sondern eine Ersparnis des Körpers an körpereigenem Kohlehydrat erfolgt.

Unsere Versuche zeigen, daß der Hund bei einer maximalen Arbeit und einer dem Kalorienbedarf entsprechenden Zuckermenge während der Arbeit und in den ersten 6 Erholungsstunden nur etwa die Hälfte des zugeführten Kohlehydrats zur Leistung von Muskelarbeit verwendet. Es bleiben ihm also über die Arbeit hinaus beträchtliche Kohlehydratmengen zur Auffüllung seiner Depots oder zur Umwandlung in Fett zur Verfügung. Bei der Würdigung dieses Befundes darf nicht vergessen werden, daß der Hund im Gegensatz zum Menschen stets zu einem niedrigerem R.Q. neigt. Nach unseren Erfahrungen ist es unmöglich, durch Kohlehydratmast beim Hund einen R.Q. von 1 zu erzielen, was beim Menschen ohne Schwierigkeit zu erreichen ist. Allerdings fanden *Carpenter* und *Fox*<sup>27</sup>, daß bei Menschen bei Zufuhr von 50 g Traubenzucker und mittelschwerer Arbeit (etwa 275 mkg pro Minute 1 Stunde lang) auch nur 15 g Glykose im Gaswechsel nachweisbar sind. Der Hund ist von Natur auf Fleisch- und Fettkost eingestellt, dürfte aber in der Natur nur wenig Kohlehydrate zu sich nehmen. Wenn nun Kohlehydrat in einer für den Hund unphysiologischen Menge zugeführt zu einer Verbesserung der Leistung und nur zu einer mäßigen Hyperglykämie führt, so darf man wohl annehmen, daß bei einem Organismus, der wie der menschliche auf Kohlehydrat weit mehr eingestellt ist, erst recht nicht die Reizwirkung im Vordergrund stehen wird.

Bei der Betrachtung des Arbeitsumsatzes bei Hund I fällt auf, daß bei den Versuchen ohne Zucker der Umsatz zunächst sinkt, um dann etwa von der 3. Arbeitsstunde ab allmählich wieder anzusteigen. Die einfachste Annahme zur Erklärung dürfte sein, daß in den ersten Stunden die Gleichmäßigkeit des Laufens zunimmt, während der Wiederanstieg in den letzten Arbeitsstunden auf Ermüdung zurückzuführen ist. Bei den Zuckerversuchen sehen wir einen gleichmäßigen Abfall bis an das Ende der Versuche, ein Zeichen dafür, daß durch Zuckergaben der Ermüdungseintritt hinausgeschoben wird. Die Beobachtung des Tieres während der Versuche lieferte eine Stütze für die Richtigkeit dieser Annahme insofern, als es bei den Versuchen mit Zucker kaum nötig war, das Tier irgendwie anzutreiben.

Trotz des niedrigen Energieverbrauches bei der Arbeit werden in den ersten Erholungsstunden bei den Zuckerversuchen höhere Werte erreicht als bei den Versuchen ohne Zucker. Bei beiden Hunden überkreuzen

sich die Kurven ungefähr zur selben Zeit. Der erhöhte Erholungsumsatz, der nichts mit einem Sauerstoffdefizit zu tun hat, darf nicht ohne weiteres als ein Zeichen größerer Ermüdung aufgefaßt werden. Eher kann man vermuten, daß der höhere Umsatz, dem ein stark gesteigerter R.Q. entspricht, durch die Verwertung der noch im Überschuß vorhandenen Kohlehydrate bedingt ist. Das würde bedeuten, daß es sich um eine Art spezifisch-dynamischer Wirkung infolge der reichlichen Kohlehydratzufuhr handelt. Hierfür spricht der Wiederanstieg der Blutzuckerkurve in der Erholung als Zeichen dafür, daß aus dem Magen noch Zucker resorbiert wird.

Die wichtigste Beobachtung, die wir bei der beschriebenen Versuchsreihe machen konnten, dürfte die sein, daß der auf eine anstrengende Arbeit folgende Anstieg der anorganischen Phosphate im Blut und die dadurch bedingte Ausschüttung von Phosphaten im Harn durch Zucker unterbunden oder doch stark herabgesetzt werden kann. In Tabelle 10 wurde gezeigt, daß durch diese Erscheinung die Phosphatbilanz aus einer stark negativen in eine deutlich positive verwandelt werden kann. Die Phosphatersparnis infolge von Zuckergaben muß zweifellos als eine günstige Wirkung angesehen werden, sahen wir doch, daß die Zufuhr von Phosphaten die Leistungsfähigkeit zu erhöhen vermag<sup>28</sup>. Die Frage, ob man Zucker oder Phosphat als leistungssteigerndes Mittel geben soll, läuft vielleicht wesentlich auf die Frage hinaus, ob es zweckmäßiger ist, das verlorene Phosphat zu ersetzen oder ob es richtiger ist, durch Zuckergaben einen Phosphatverlust überhaupt zu vermeiden. Solange die Frage, worauf der Phosphatverlust nach Arbeit zurückzuführen ist, nur vermutungsweise beantwortet werden kann, können wir auch auf die Frage, warum Zucker den Phosphatverlust verhindert, eine unbedingt sichere Antwort nicht geben. Der Gedanke, daß der Phosphatverlust mit den Erscheinungen des Kohlehydratstoffwechsels in Zusammenhang zu bringen ist, wurde schon früher von Szakáll<sup>22</sup> ausgesprochen. Als Arbeitshypothese können wir uns folgende Vorstellung bilden: Bei der Muskelarbeit werden phosphorsaure Kohlehydratverbindungen (Laktacidogen-Körper) gespalten. Die Kohlehydratkomponente wird verbrannt, die Phosphorsäure bleibt zunächst im Muskel (MacLeod<sup>29</sup>). Nach der Arbeit besteht das Bestreben, die Laktacidogen-Körper wieder aufzubauen. Die im Muskel befindliche Phosphorsäure wird daher entsprechend dem Vorhandensein von Kohlehydraten wieder zum Aufbau verwendet und erscheint nicht im Harn. Nur dann, wenn Kohlehydrate nicht in genügender Menge leicht disponibel vorhanden sind, muß die Phosphorsäure ausgeschieden werden. Nach dieser Auffassung wäre die Ausscheidung von Phosphorsäure ein Zeichen von Erschöpfung, die Größe der Phosphorsäureausscheidung vielleicht sogar ein Maß hierfür. Die Verhinderung der Phosphorsäureausscheidung durch Zucker ist daher ein sinnfälliger Ausdruck für die



leistungssteigernde Wirkung der Zufuhr leicht verwertbarer Kohlehydrate.

Ganz ähnlich wie das Phosphat verhält sich das Chlor. Über eine Beteiligung des Chlors im Muskelstoffwechsel ist bisher nichts Sicheres bekannt, wenn wir von den unseren Feststellungen gerade entgegengesetzten Beobachtungen von *Laugier*<sup>30</sup> absehen, der ein entgegengesetztes Verhalten von Phosphat- und Chlorausscheidung im Harn beim Menschen sah. Eigene, noch unveröffentlichte Beobachtungen am Menschen<sup>10</sup> sprechen eher für ein ähnliches Verhalten der Chlorausscheidung nach der Arbeit, wie wir sie hier beim Hund sahen. Man ist gewöhnt, die Chlorausscheidung, insbesondere beim Menschen meist unter dem Gesichtspunkt des Wasserhaushaltes und der Wärmeregulation zu sehen. Wir beobachteten jedoch, daß nach Muskelarbeit unter Umständen eine Chlorausscheidung vorkommt, die den Bedürfnissen der Wärmeregulation bzw. der Konstanterhaltung des Chlorbestandes zuwiderläuft. Die Beobachtung, daß durch Zuckerzufuhr auch die Chlorausscheidung nach der Arbeit vermieden werden kann, spricht für eine direkte oder indirekte Beteiligung der Chlorionen im Muskelstoffwechsel, wobei es zunächst am naheliegendsten ist, für das Chlor einen ähnlichen Mechanismus zu vermuten, wie für das Phosphation. Die Beobachtung, daß Zucker auch bei Körperruhe chloresparend wirken kann, wurde von *Meyer-Bisch* und *Wohlenberg*<sup>31</sup> gemacht, ohne daß von ihrer Seite eine Erklärung für diese Erscheinung gegeben wurde.

#### *Zusammenfassung.*

Bei Hunden wurde in Tretbahnversuchen der Einfluß während der Arbeitsleistung gegebenen Traubenzuckers auf den Gaswechsel, den Phosphat- und Chlorstoffwechsel, den Blutzucker und das rote Blutbild untersucht.

Es ergab sich, daß Traubenzucker auch beim Hund leistungssteigernd wirkt. Der R.Q. und der Blutzucker während der Arbeit und in der Erholung werden erhöht, trotzdem wird in dieser Zeit nur etwa die Hälfte des entsprechend dem Kalorienverbrauch zugesetzten Zuckers umgesetzt.

Die nach der Arbeitsleistung einsetzende vermehrte Phosphatausscheidung, die zu einer negativen Phosphatbilanz — vor allem bei untrainiertem Organismus — führt, wird durch Traubenzucker verhindert. Zucker wird daher phosphatsparend. Ebenso wird die vermehrte Cl-Ausscheidung nach schwerer Muskelarbeit durch Traubenzucker aufgehoben.

Es wird die Vermutung ausgesprochen, daß die bei schwerer Arbeit im Muskel freiwerdende Phosphorsäure zu Phosphorsäure-Kohlehydrat-Verbindungen resynthetisiert werden kann, sofern genügend Kohlehydrat zur Verfügung steht.

## Literatur.

- <sup>1</sup> *Holtz, F.*: Münch. med. Wschr. 1932 II, 1182. — <sup>2</sup> *Büdingen, Th.*: Schweiz. med. Wschr. 1923 I, 395. — <sup>3</sup> *Fischler, F.*: Münch. med. Wschr. 1929 I, 791. — <sup>4</sup> *Franck, R.*: Pharmaz. Ztg. 1933, Nr 20. — <sup>5</sup> *Schnell, H.*: Normale und pathologische Physiologie der Leibesübungen. S. 259. Leipzig 1933. — <sup>6</sup> *Heisler, A.*: Ärztl. Rdsch. 1933, Nr 3. — <sup>7</sup> *Talbott, Henderson, Edwards and Dill*: J. of biol. Chem. 87, XI (1932). — <sup>8</sup> *Dill, Edwards and Talbott*: J. of Physiol. 77, 49 (1932). — <sup>9</sup> *Christensen, Krogh and Lindhard*: Quart. Bull. health Organ. 3, Nr 3, 13 (1936). — <sup>10</sup> *Miyama*: Acta Scholae med. Kioto 15, 243 (1932). — <sup>11</sup> *Wierzuchowsky u. Mitarbeiter*: C. r. Soc. Biol. Paris 119, 433 (1935). — <sup>12</sup> *Boje*: Skand. Arch. Physiol. 74, Suppl., 2 (1936). — <sup>13</sup> *Holtz, F.*: Biochem. Z. 235, 104 (1932). — <sup>14</sup> *Edwards, Richards and Dill*: Amer. J. Physiol. 98, 352 (1931). — <sup>15</sup> *Strandell, B.*: Acta med. scand. (Stockh.) 55, Suppl., 245 (1934). — <sup>16</sup> *Lehmann u. Szakáll*: Arb.physiol. 1937 (im Erscheinen). — <sup>17</sup> *Cannon, W. B.*: Erg. Physiol. 27, 380 (1928). — <sup>18</sup> *Hartmann, Waite and Powell*: Amer. J. Physiol. 60, 253 (1921). — <sup>19</sup> *Meythaler, F. u. Wossidlo*: Klin. Wschr. 1937 I, 658. — <sup>20</sup> *Katz*: Z. klin. Med. 123, Nr 1, 54 (1933). — <sup>21</sup> *Szakáll, A.*: Biochem. Z. 269, 196 (1934). — <sup>22</sup> *Szakáll, A.*: Arb.physiol. 8, 316 (1934). — <sup>23</sup> *Korányi, A. v.*: Nach Ronas Praktikum, Bd. 2, S. 256. — <sup>24</sup> *Christensen*: Arb.physiol. 4, 128 (1931). — <sup>25</sup> *Knoll, W., J. Mihaila, A. Jonescu und E. Dulige*: Arb.physiol. 9, 414 (1936). — <sup>26</sup> *Cassinis e Bracaloni*: Le Basi fisiologiche dell, Educ. Fisea 1928. — <sup>27</sup> *Carpenter u. Fox*: Arb.physiol. 4, 570 (1931). — <sup>28</sup> *Atzler, Bergmann, Graf, Kraut, Lehmann u. Szakáll*: Arb.physiol. 8, 621 (1935). — <sup>29</sup> *Macleod*: Z. physiol. Chem. 28, 535 (1899). — <sup>30</sup> *Chaussin, Laugier et Rousseau*: Le travail Human 2, 3 (1934). — <sup>31</sup> *Meyer-Bisch, R. u. Wohlenberg*: Z. exper. Med. 50, 728 (1926).
-