

Aus dem Institut für gerichtliche und soziale Medizin der Universität Würzburg
(Vorstand: Prof. Dr. med. H. SAAR)

Alkoholverteilungsfaktor und Umwelttemperatur

Von

KURT WILLNER

Mit 5 Textabbildungen

(Eingegangen am 28. April 1960)

Es ist bekannt, daß der Verteilungs(Reduktions)faktor „r“, der annähernd Auskunft gibt über die Blutalkoholkonzentration und die aufgenommene Alkoholmenge (WIDMARK), innerhalb der Arten und Individuen großen Schwankungen unterliegt. WIDMARK, ebenso ELBEL und SCHLEYER, u. a. fanden bei Versuchen an ein und derselben Person im großen und ganzen eine gute Übereinstimmung dieses „r“. Doch liegen zahlreiche Einzelbeobachtungen darüber vor, daß der Verteilungsfaktor auch bei gleichen Probanden bisweilen größere Streuungen aufweisen kann.

WIDMARK fand für Männer ein mittleres „r“ von 0,68, für Frauen von 0,55 und Extremwerte zwischen 0,46—0,86.

Andere Autoren geben Werte von 0,62—0,84 (männlich) bzw. 0,57—0,66 (weiblich) an (MAYER, ABRAMSON und LINDE, JUNGMICHEL u. a.).

Als mittlere Verteilungsfaktoren werden heute daher bei entsprechenden Berechnungen 0,7 (Männer) und 0,6 (Frauen) mit vollem Recht unterstellt.

GOLDBERG glaubt, in der Art des verwendeten Getränkes die Ursache für die Schwankungen des Verteilungsfaktors erblicken zu können, derart, daß Einzelpersonen nach Genuß niedrigkonzentrierter Getränke ein höheres „r“ aufweisen als nach Genuß höherkonzentrierter. JUNGMICHEL hält bioklimatische Einflüsse für Differenzen des Verteilungsfaktors für verantwortlich, wobei ELBEL auf die Möglichkeiten von Resorptionsschwankungen besonders bei Versuchen mit verschiedenen konzentrierten Getränken hinweist.

Ogleich das „r“ verschiedener Menschen gleichen Körpergewichts großen Schwankungen unterliegt, setzt WIDMARK den Verteilungsfaktor dem Körpergewicht umgekehrt proportional und unterstellt, daß das „r“ bei ein und demselben Menschen bei gleichbleibendem Körpergewicht praktisch stets gleich sei. Diese Beziehungen zwischen Körpergewicht und Alkoholverteilung im Gesamtkörper wurden nach ihm auch von vielen anderen Autoren bestätigt und man nahm ursprünglich an, daß

der Fettgehalt der Organe für die Alkoholverteilung eine entscheidende Rolle spiele. Die fast gesetzmäßige „relative“ Alkoholunverträglichkeit adipöser Personen gegenüber mageren schien dies zu bestätigen (ELBEL).

ELBEL diskutiert aber bereits die Möglichkeit, den Wassergehalt der einzelnen Gewebe für die Alkoholverteilung im Körper verantwortlich zu machen, während WIDMARK neben dem Fettgehalt der Vascularisierung der Gewebe eine ausschlaggebende Rolle zubilligt.

Neue Impulse erhielt das Problem der Alkoholverteilung durch CARPENTER und NICLOUX. CARPENTER bringt die Differenzen der einzelnen Organkonzentrationen mit der unterschiedlichen Alkohollöslichkeit der Gewebe in Zusammenhang. Nach Untersuchungen an Leichen sind die Alkoholkonzentrationen der Organe und Körperflüssigkeiten umgekehrt proportional zum Fettgehalt und proportional zur Vascularisierung und zum Wassergehalt (CASIER und DELAUNOIS).

Geht man von der Tatsache aus, daß der Gesamtkörper 60% und das Vollblut 80% Wasser enthalten (LEHNARTZ), so stimmt der theoretisch ermittelte Verteilungsfaktor (Körperalkohol:Blutalkohol) gut mit dem Durchschnitts-„r“ von 0,7 (Männer) überein.

Neuere Untersuchungen (GRÜNER) zeigen, daß der Verteilungsfaktor, wie überhaupt die gesamte Alkoholverteilung innerhalb der einzelnen Gewebe, übereinstimmend mit den bisherigen Experimenten und theoretischen Erwägungen in direkter Abhängigkeit zum Wassergehalt der Organe bzw. des Gesamtkörpers steht. Dem entsprechen bereits ältere Versuche mit blut-, serum- und wassergefüllten Kollodiumbeuteln, die in Alkohollösungen bestimmter Konzentration getaucht stets ein Alkohol:Wasser-Verteilungsverhältnis von 1:1 ergaben (NICLOUX und GOSSELIN).

Der prozentuale Wassergehalt des Menschen zeigt eine gewisse Korrelation zum Körpergewicht (PETERS) und variiert gegensinnig zum Fettgehalt des Körpers (EDELMAN, SOBERMAN u. a.). Dies erklärt z. B. den generellen Unterschied des Wassergehaltes von Mann und Frau. Der Wassergehalt des Kleinkindes ist beträchtlich größer als beim Erwachsenen und nimmt beim letzteren mit zunehmendem Alter weiterhin ab (FRIS-HANSEN u. a., SOBERMAN u. a.).

Unter normalen Verhältnissen wird die Wasseraufnahme durch den Durst sehr genau auf den aktuellen Wasserbedarf des Körpers abgestimmt, wobei Durstgefühl und Wassergehalt der Zellen von verschiedenen Faktoren abhängig sind: Elektrolytkonzentration des extra- und intracellulären Wassers und Plasmavolumen (Aufrechterhaltung der Blutzirkulation) (REIN). Wassergehalt der Organe untereinander und Menge des Wassers im Einzelorgan sind ziemlich großen Schwankungen unterworfen (LEHNARTZ). Der Wassergehalt des Bindegewebes z. B.

kann sich für einen Zeitraum von Stunden ändern, während an Stellen, wo eine Konstanterhaltung der Wassermenge Voraussetzung lebenswichtiger Leistungen ist, größere Schwankungen auch in pathologischen Fällen kaum auftreten bzw. sehr rasch ausgeglichen werden. Dies gilt insbesondere für das Blut (LEHNARTZ, MARX). In der Regel wird, wenn man von einigen Besonderheiten absieht, ein konstanter mittlerer Wassergehalt im Körper aufrechterhalten. Wasserüberschüsse lagern sich besonders im interstitiellen Gewebe der Haut, Wasserentzug von mehr als 15% des Körpergewichtes führt zum Tode.

Beobachtungen darüber, inwieweit sich bei Einzelpersonen die Alkoholverteilung ändert bzw. ob sich Schwankungen des Wertes „r“ bei ein und demselben Individuum gesetzmäßig erfassen und in Abhängigkeit zu exogenen Faktoren bringen lassen, haben im Schrifttum kaum ihren Niederschlag gefunden, obwohl diesbezügliche Vermutungen von verschiedener Seite vorgetragen wurden. Um eine, wenn auch nur teilweise Klärung dieses Problems bemüht, haben wir in entsprechenden Versuchen geprüft, ob eine Abhängigkeit des Verteilungsfaktors von eindeutig zu definierenden Umwelteinflüssen — Wärme und Kälte — besteht.

Eigene Versuche

Personen männlichen Geschlechts zwischen 20—27 Jahren, die überwiegend dem athletischen Typus angehörten, tranken innerhalb 1 Std 1,5 bzw. 2 Liter Bier, entsprechend 45 bzw. 60 g abs. Alkohol. Unmittelbar, 1 Std und 2 Std nach Trinkende wurden mittels Kollervenülen jeweils Blutproben zur Alkoholbestimmung nach WIDMARK entnommen.

Die Versuche wurden an gleichen Personen mit gleichen Alkoholmengen einmal im Hochsommer bei einer über längere Zeit andauernden Außentemperatur von rund 40° C und später im Winter bei Außentemperaturen von rund —10° C durchgeführt.

Um eine Abnahme oder Erhöhung des Stoffwechsels und damit eventuelle Auswirkungen auf die Alkoholverbrennung hinreichend zu vermeiden, hielten sich die Versuchspersonen während der Versuche in Räumen auf, die im Sommer Zimmertemperaturen von nicht über +24° C, im Winter nicht unter +20° C hatten. Innerhalb dieser Temperaturbereiche bleibt die CO₂-Abgabe und damit der Gesamtenergieverbrauch beim Menschen praktisch gleich, so daß eine Zu- oder Abnahme des Alkoholabbaues nicht zu erwarten ist (s. Tabelle).

Verschiedenheiten in der Alkoholresorption schalteten wir dadurch aus, daß bei allen Versuchen Getränke gleicher Art verabreicht wurden und die letzte Nahrungsaufnahme mindestens 24 Std zurücklag.

Tabelle. *Beeinflussung des Stoffwechsels beim Menschen durch Änderung der Außentemperatur.* (Nach VOIT, zit. nach E. LEHNARTZ, Chemische Physiologie. Berlin: Springer 1949)

Außen- temperatur ° C	CO ₂ -Abgabe g/Std
4,4	35,1
6,5	34,3
9,0	32,0
14,3	25,8
16,2	26,4
23,7	27,5
24,2	27,6
26,7	26,7
30,0	28,4

Ergebnisse

Überblickt man die durch die obengenannten Versuchsanordnungen erzielten Befunde, so ergibt sich unter Berücksichtigung der markantesten Punkte folgendes Bild:

Einheitlich ist ein steileres Ansteigen der Blutalkoholkurve im Sommer und analog dieser Kurve letzten Endes auch eine höhere

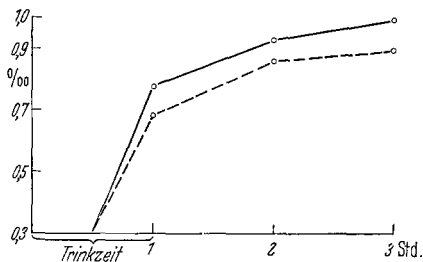


Abb. 1

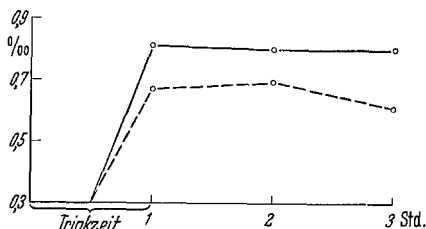


Abb. 2

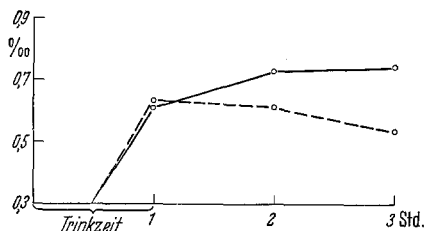


Abb. 3

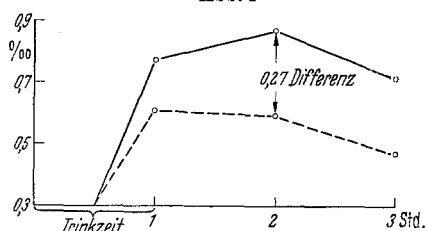


Abb. 4

Abb. 1. Versuchsperson (Vp.) D., 75 kg. Alkoholfuhr per os je 60 g absoluten Alkohols (= $\frac{1}{2}$ Liter Bier). — Sommerkurve, - - - Winterkurve,

Abb. 2. Vp. Z., 60 kg. Alkoholfuhr per os je 45 g absoluten Alkohols (= $\frac{1}{2}$ Liter Bier). Zeichenerklärung wie Abb. 1

Abb. 3. Vp. R., 69 kg. Alkoholfuhr per os je 45 g absoluten Alkohols (= $\frac{1}{2}$ Liter Bier). Zeichenerklärung wie Abb. 1

Abb. 4. Vp. H., 75 kg. Alkoholfuhr per os je 60 g absoluten Alkohols (= $\frac{1}{2}$ Liter Bier). Zeichenerklärung wie Abb. 1

Alkoholkonzentration als im Winter. Die Differenzen schwanken bei den einzelnen Blutentnahmen durchschnittlich zwischen $0,08-0,16\text{‰}$. Die größte Differenz lag bei $0,27\text{‰}$ (Abb. 1—4).

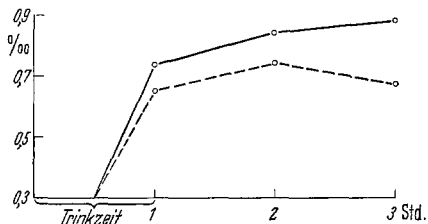


Abb. 5. Zeichenerklärung wie Abb. 1

Eine Gesamtübersicht der durch unsere Versuchsanordnung gewonnenen Ergebnisse bringt Abb. 5 (Durchschnittskurven).

Diskussion

Als Ausgangspunkt für die Diskussion seien zunächst die Vorstellungen GRÜNERS zugrunde gelegt, die mit anderen prinzipiellen Erwägungen über die Alkoholverteilung und deren Abhängigkeit vom Wasserhaushalt im menschlichen Körper konform gehen.

Hiernach scheint die Verteilung des Alkohols im Blute entscheidend vom Wassergehalt abhängig zu sein, wodurch die Alkoholkonzentration Serum:Vollblut proportional der Wasserkonzentration Serum:Vollblut verläuft.

Dies berechtigt zu der Auffassung, daß die Verteilung des Alkohols im Gesamtkörper vom jeweiligen Wassergehalt der verschiedenen Organe abhängig sein muß.

Es wäre zu diskutieren, inwieweit Beweise dafür vorliegen, daß sich der Wassergehalt des Blutes und des Gesamtkörpers unter extremen Bedingungen akut oder für längere Zeit ändern kann. Wir wissen, daß der Wassergehalt der Organe, der Bindegewebe und des interstitiellen Gewebes der Haut großen Schwankungen unterliegt, während die Wasserkonzentration des Blutes zur Aufrechterhaltung lebenswichtiger Leistungen auch in pathologischen Fällen praktisch konstant bleibt. Der Wassergehalt des Gesamtkörpers ist größeren Schwankungen unterworfen und erst Wasserverluste von mehr als 15% ziehen lebensbedrohliche Folgen nach sich.

Für den Sommerversuch kann bei der relativ hohen Außentemperatur ein mehr oder weniger starker Körperwasserverlust unterstellt werden.

Das durch Schwitzen dem Blut über die Schweißdrüsen entzogene Wasser muß durch die H₂O-Depots des Körpers ersetzt werden, wobei das Blut lediglich als Durchgangsstation für Wasser dient.

Hieraus erklärt sich zunächst die Beobachtung, daß die Alkoholkonzentration des Blutes bei höheren Außentemperaturen entsprechend höher liegt als bei niederen Temperaturen, da im Sommer dem Gewebe und dem Gesamtkörper weniger Wasser zur Verfügung steht als im Winter bei jeweils konstantem Blutwassergehalt.

Hinzukommt, daß es bei hoher Außentemperatur und den dadurch ausgelösten Mechanismen der Wärmeregulation zur Mehrdurchblutung der Hautcapillaren und zu einer Tonussteigerung der Blutgefäße im Gebiet der inneren Organe kommt (ELBEL). Es tritt eine Erhöhung der aktiven Blutmenge durch Entleerung der Blutdepots und Einströmen von Gewebsplasma in das Blut ein, was wiederum eine Erhöhung der BAK nach sich zieht.

GRÜNER diskutiert in diesem Zusammenhang bei seinen Versuchen mit Lichtkasten — wobei in der postresorptiven Phase bei seinen Versuchspersonen eine Abflachung der Blutalkoholkurve, in zwei Fällen

sogar eine geringe Erhöhung derselben beobachtet wurde — eine Abnahme des Stunden-, „beta“ nach Vergrößerung des Gefäßquerschnitts.

Wir glauben, daß eine Abnahme des Stunden-, „beta“ im Sommer bzw. eine Erhöhung desselben im Winter durch verringerten oder erhöhten Stoffwechsel bei unseren Versuchsbedingungen eine nur untergeordnete und unwesentliche Rolle spielen, da unsere Versuche jeweils bei körperlicher Ruhe und Raumtemperaturen zwischen maximal 20—24° C und damit praktisch konstantem Sauerstoffverbrauch zumindest für die Dauer der Versuche durchgeführt wurden.

Eine Erklärung, ob die Erhöhung der Alkoholkonzentration im Sommer eventuell auf Resorptionseigentümlichkeiten zurückzuführen sei, liegt nahe, wenn man beachtet, daß die Sommerkurven sich gerade dann noch im Anstieg befinden, wenn die Winterkurven bereits im Abfall begriffen sind bzw. bereits eine deutliche Abflachung erkennen lassen. Dagegen spricht, daß sich die Winterkurven stets unter den Sommerkurven bewegen.

Außerdem kann diese Erscheinung ohne weiteres aus dem oben Gesagten abgeleitet werden: nämlich durch die bei hoher Außentemperatur ausgelösten Wasserverschiebungen, bei denen ein ständiger Gewebswasserabfluß zur Durchgangsstation Blut über weitere Zeitabschnitte für eine zwangsläufige Erhöhung der Blutalkoholkonzentration auch nach eingetretenem Diffusionsgleichgewicht sorgen kann.

Nimmt man unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die Blutentnahmen bei unseren Versuchen z. T. noch in die Phase der Resorption und des Diffusionsausgleichs fallen, eine Berechnung des Verteilungsfaktors vor, so ergibt sich bei Annahme eines Stunden-, „beta“ von 0,15 und 100%iger Resorption des genossenen Alkohols für den Sommerversuch ein mittlerer Verteilungsfaktor von 0,60, für den Winterversuch von 0,68. Obere und untere Grenze 0,72—0,58.

Es tritt also bereits unter physiologischen Bedingungen bei gleichen Personen eine Schwankungsbreite des „r“ von etwa 0,1 auf, wobei der Verteilungsfaktor bei Männern auch unter 0,6 liegen kann.

Die praktische Folgerung hieraus ist, daß bei Berechnungen des Alkoholkonsums auf Grund bekannter Blutalkoholkonzentrationen nach Annahme von Wasserverlusten — starkes Schwitzen, Dursten usw. — ein niedrigerer Verteilungsfaktor anzusetzen ist als unter Normalbedingungen. Die durchschnittliche Abweichung nach unten beträgt 0,1.

Die Einheitlichkeit der durch unsere Untersuchungen gewonnenen Befunde berechtigt zur Annahme, daß die Veränderungen des Verteilungsfaktors von jahreszeitlich bedingten Temperaturunterschieden und damit verbundenem unterschiedlichem Körperwassergehalt abhängig sind.

Zusammenfassung

Anhand von Trinkversuchen, die sowohl bei relativ hohen, als auch bei niedrigen klimatisch bedingten Außentemperaturen unter sonst gleichen Bedingungen durchgeführt wurden, wird gezeigt, daß nach Schwitzen bzw. physiologisch bedingtem Körperwasserverlust eine Herabsetzung des mittleren Verteilungsfaktors bzw. des individuellen „r“ um durchschnittlich 0,1 resultiert.

Die theoretischen Möglichkeiten für die Zu- oder Abnahme des Verteilungsfaktors werden erörtert.

Literatur

- ABRAMSON et LINDE: Arch. int. Pharmacodyn. **39**, 325 (1930). Zit. nach H. ELBEL, Blutalkohol. Stuttgart: Georg Thieme 1956.
- BICKEL, A.: Biologische Wirkungen des Alkohols auf den Stoffwechsel. Leipzig: Georg Thieme 1936.
- CARPENTER, TH.: J. Pharmacol. (Kyoto) **37**, 217 (1929). Zit. nach H. ELBEL, Blutalkohol. Stuttgart: Georg Thieme 1956.
- CASIER, H., et A. DELAUNOIS: L'intoxication par l'alcool éthylique. Paris: Masson & Cie. 1947
- EDELMAN, I. S.: Further observation on total body water. Surg. Gynec. Obstet. **95**, 1 (1952).
- ELBEL, H.: Blutalkohol. Stuttgart: Georg Thieme 1956.
- FRIS-HANSEN, B. J.: Total body water in children. Pediatrics **7**, 321 (1951).
- GOLDBERG, L.: Alcohol and road traffic. Stockholm 1951.
- GOSSELIN, G.: Thèse, Paris 1931. Zit. nach H. ELBEL, Blutalkohol. Stuttgart: Georg Thieme 1956.
- GRÜNER, O.: Die Verteilung des Alkohols im Blute. Dtsch. Z. ges. gericht. Med. **46**, 10 (1957).
- GRÜNER, O.: Die Bedeutung des Körperwassers für die Verteilung des Alkohols im Organismus. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **46**, 53 (1957).
- GRÜNER, O.: Der Einfluß von Körperwasser- und Blutverschiebungen auf den Verlauf der Blutalkoholkurve. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **46**, 744 (1958).
- JUNGMICHEL, G.: Naunyn-Schmiedeberg's Arch. exp. Path. Pharmak. **173**, 388 (1933). Zit. nach H. ELBEL, Blutalkohol. Stuttgart: Georg Thieme 1956.
- JUNGMICHEL, G.: Zur Physiologie der Alkoholverbrennung nach Bier und nach Mahlzeiten. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **22**, 153 (1933).
- LEHNARTZ, E.: Chemische Physiologie des Menschen. Berlin: Springer 1948.
- MARX, H.: Wasserhaushalt des gesunden und kranken Menschen. Berlin: Springer 1935.
- MAYER, R. M.: Untersuchungen über den Alkoholfaktor f bei der Mikrobestimmung nach WIDMARK. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **26**, 250 (1936).
- MOSSO, A., e G. GALEOTTI: Arch. ital. Biol. **42**, 32 (1904). Zit. nach H. ELBEL, Blutalkohol. Stuttgart: Georg Thieme 1956.
- NICLOUX, M.: Thèse, Paris 1900. Zit. nach H. ELBEL, Blutalkohol. Stuttgart: Georg Thieme 1956.
- NICLOUX, M., et G. GOSSELIN: Bull. Soc. Chim. biol. (Paris) **16**, 338 (1934). Zit. nach H. ELBEL, Blutalkohol. Stuttgart: Georg Thieme 1956.

- PETERS, J. P.: Water balance in health and disease. In G. P. GARFIELD (Edit.), Diseases of metabolism. Philadelphia 1953.
- REIN, H.: Physiologie des Menschen. Berlin: Springer 1938.
- SJÖVALL, E.: Die Widmarksche Blutprobe auf Alkohol. Med. Welt **1931**, 909, 949.
- SOBERMAN, R.: The use of antipyrine in the measurement of total body water in man. J. biol. Chem. **179**, 21 (1949).
- TROSCHKE, G.: Kann der Äthylalkohol als Material für die Oxydation bei der Muskeltätigkeit dienen? Pflügers Arch. ges. Physiol. **235**, 785 (1935).
- WIDMARK, E.: Die theoretischen Grundlagen der praktischen Verwendbarkeit der gerichtlich-medizinischen Alkoholbestimmung. Berlin u. Wien: Urban & Schwarzenberg 1932.

Dr. KURT WILLNER,
Institut für gerichtliche und soziale Medizin der Universität,
Würzburg, Versbacher Landstraße