

R. Iffland · A. West · N. Bilzer · A. Schuff

Zur Zuverlässigkeit der Blutalkoholbestimmung. Das Verteilungsverhältnis des Wassers zwischen Serum und Vollblut

Eingegangen: 22. Dezember 1998 / Angenommen: 28. Januar 1999

The reliability of the blood alcohol determination. The relationship of the water content between serum and whole blood

Abstract In the guidelines for determination of the blood alcohol level for forensic purposes, a correction factor of 1.2 has been established for the conversion of serum alcohol into blood alcohol based on the relationship of the water content between serum and whole blood. The reliability of the determination of the blood alcohol level is dependent on the possible minimum and maximum values of this correction factor. In a comprehensive multicenter study consisting of 833 samples, which can be considered representative of persons involved in offences under the drinking and driving act, an average quotient of 1.16 was found with minimum and maximum values of 1.08 and 1.21 respectively. In 96% of the cases the quotient was between 1.13 and 1.19 and the deviation of the quotient from the average value was less than 3%. From these results it can be assumed that the determination of blood alcohol is obviously more reliable than previously presumed.

Key words Blood alcohol determination · Water content whole blood · Serum water content · Relationship of water content · Gravimetry

Zusammenfassung Das Verteilungsverhältnis des Wassers zwischen Serum und Vollblut ist in den Richtlinien für die Blutalkoholbestimmung für forensische Zwecke zur Umrechnung von Serumalkohol in Blutalkohol auf 1,2 festgesetzt worden. Die Zuverlässigkeit der Blutalkoholbestimmung hängt entscheidend davon ab, welche Extremwerte dieser Faktor annehmen kann. In einer umfangreichen multizentrischen Studie von 833 Fällen, die auch

für den Personenkreis repräsentativ sind, bei dem Blutentnahmen im Zusammenhang mit Delikten unter Alkoholeinfluß angeordnet werden, wurde ein mittlerer Verteilungsfaktor von 1,16 mit Extremwerten von 1,08 und 1,21 gemessen. In 96% der Fälle lag der Quotient zwischen 1,13 und 1,19. Bezogen auf den Mittelwert beträgt die Abweichung des Quotienten in 96% der Fälle weniger als 3%. Die Blutalkoholbestimmung aus dem Serum ist offenbar weit zuverlässiger als bislang angenommen wurde.

Schlüsselwörter Blutalkoholbestimmung · Serumwassergehalt · Vollblutwassergehalt · Verteilungsverhältnis von Wasser · Gravimetrie

Einleitung

Die forensische Beurteilung des Alkoholisierungsgrades von Straftätern orientiert sich in Deutschland an der Blutalkoholkonzentration (BAK), die in Promille = g Alkohol/kg Blut angegeben wird. Für die Bestimmung der BAK wird in der Regel Blut aus einer Cubitalvene mit Vakuumvenülen entnommen, die keinen Zusatz an gerinnungshemmenden Substanzen enthalten. Gemäß den „Richtlinien für die Blutalkoholbestimmung für forensische Zwecke“ [23] wird die BAK am Serum gemessen, nachdem das geronnene Blut zentrifugiert wurde. Vorgeschrieben ist eine Analyse nach zwei verschiedenen Methoden. In der Regel werden das ADH-Verfahren (enzymatisch) und die Gaschromatographie (Headspace-Technik) eingesetzt. Von jeder Methode hat mindestens eine Doppelbestimmung vorzuliegen. In den Meßreihen werden zur Kalibration und Berechnung der Serumalkoholspiegel wäßrige Alkoholstandardlösungen mitgeführt, deren Konzentration in mg/ml angegeben ist. Da zur Analyse von den Seren bzw. den Standardlösungen gleiche Volumina eingesetzt werden, ist bei der Berechnung des Serumalkoholgehaltes noch die spezifische Dichte des Serums zu berücksichtigen, die auf 1,03 g/ml festgelegt wurde [7]. Aus der Division der Serumalkoholkonzentration durch den Faktor 1,2 wird die Blutalkoholkonzentration (BAK) errechnet. Dieser Faktor steht für das Verteilungsverhältnis

R. Iffland (✉) · A. West · N. Bilzer · A. Schuff
Institut für Rechtsmedizin der Universität zu Köln,
Melatengürtel 60–62, D-50823 Köln, Deutschland
Tel.: 0221-4784284; Fax 0221-4784261

nis des Wassers zwischen Serum und Vollblut. Nach dem Beschluß des Bundesgerichtshofes aus dem Jahre 1990 [2, 29] darf die Standardabweichung der vier Einzelwerte, aus denen die BAK als Mittelwert berechnet wurde, nicht mehr als 0,03 Promille betragen.

In der Diskussion im Vorfeld der Einführung der Atemalkoholanalyse wurde behauptet [1], daß die in experimentellen Trinkversuchen festgestellten Abweichungen zwischen zeitgleichen Blut- und Atemalkoholkonzentrationen – bei etwa 23% der Fälle wurden Differenzen über 0,10 Promille und bei knapp 8% über 0,20 Promille gefunden [3, 20] – nicht auf physiologisch bedingte Schwankungen des Atemalkohols sondern auf Ungenauigkeiten bei der Blutalkoholbestimmung wegen der Verwendung des Verteilungsfaktors von 1,2 zurückzuführen sind. Als Beleg wird eine Arbeit von Mengersen [25] angeführt, nach der der mittlere Verteilungsfaktor bei 1,15 liegt, dessen wahre Werte „aber im Extremfall zwischen 0,95 und 1,40 (Vertrauensbereich von 95%) liegen“ können. Zur Überprüfung dieses Faktors wurden in einer multizentrischen Studie an den Instituten für Rechtsmedizin der Universitäten Kiel, Köln und Münster die Wassergehalte von Vollblut und Serum bestimmt.

Material und Methode

Bei den 833 Probanden dieser Studie handelte es sich um Mitarbeiter, Teilnehmer an Trinkversuchen und um Personen, bei denen die Polizei die Entnahme einer Blutprobe angeordnet hatte und die sich gegenüber den blutentnehmenden Ärzten bereit erklärt hatten, an der Studie teilzunehmen*. An personenbezogenen Daten wur-

*Die Autoren danken den Blutprobenärzten und der Polizei in Kiel und Köln für ihre Mitarbeit.

den Alter, Geschlecht, Körperlänge und Körpergewicht sowie der Blutalkoholspiegel erfaßt. Von jedem Probanden wurden bei einmaliger Punktion zwei Blutproben asserviert (Vacutainersystem). Eine Blutprobe diente zur Gewinnung von Serum, aus dem dessen Wassergehalt und die Blutalkoholkonzentration bestimmt wurden. Für die zweite Blutprobe wurden zuvor ausgewogene Venülen verwendet, jedoch nur 1–3 ml Blut aspiriert. Alle Venülen wurden 12 min bei 3500 U/min zentrifugiert (Heraeus Labofuge 6000, Hettich Rotixa/AP, Heraeus Megafuge 1). Die Venülen für die Bestimmung des Vollblutwassergehaltes wurden anschließend zurückgewogen, der Stopfen entfernt, erneut ausgewogen und bei 105°C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Von den Seren wurden zwischen 200 und 400 µl, soweit möglich auch zwei Proben, eingewogen und unter den gleichen Bedingungen wie das Blut getrocknet. Für die Wägungen wurden nur Analysenwaagen verwendet, auf denen noch 0,1 mg genau ablesbar waren. Die statistische Auswertung wurde mit der Software SPSS 7.5 for Windows vorgenommen.

Ergebnisse

In Tabelle 1 sind die statistischen Parameter (Mittelwerte, Standardabweichungen, Minima, Maxima) getrennt nach Untersuchern zusammengestellt. Da die Mittelwerte und Meßbereiche erwartungsgemäß sehr eng beieinander liegen, wurden die Meßwerte zusammengefaßt und als Gesamtergebnis in die Tabelle aufgenommen. Wie sich aus Tabelle 2 ergibt, unterscheiden sich die Mediane und die Mittelwerte kaum, liegen mindestens 68% der Meßwerte im 1s-Bereich, 95% im 2s-Bereich und 99,7% im 3s-Bereich um die jeweiligen Mittelwerte. Es liegen somit Normalverteilungen vor (Abb. 1–3). Mit 0,7% ist der Variationskoeffizient für den Wassergehalt des Serums am niedrigsten. Beim Blutwassergehalt beträgt er 1,6% und beim Verteilungsquotienten 1,4%.

Tabelle 1 Mittelwert (Mw), Standardabweichung (s) und Extremwerte (Max-Min) der prozentualen Wassergehalte von Serum und Vollblut sowie des Verteilungsquotienten des Wassers, unterteilt nach Gesamtergebnis und Ergebnissen der drei Institute

		Gesamt (N = 833)	Kiel (N = 230)	Köln (N = 503)	Münster (N = 100)
Serum (%)	Mw	90,66	90,49	90,71	90,75
	s	0,66	0,86	0,54	0,61
	Min-Max	87,20–93,30	87,20–93,30	88,55–92,15	89,05–92,80
Vollblut (%)	Mw	78,36	78,35	78,41	78,14
	s	1,23	1,44	1,11	1,28
	Min-Max	74,80–83,30	74,80–82,90	75,70–83,00	74,90–83,30
Quotient	Mw	1,157	1,156	1,157	1,162
	s	0,0163	0,0184	0,0145	0,0187
	Min-Max	1,08–1,21	1,11–1,21	1,10–1,20	1,08–1,20

(N = Stichprobenumfang)

Tabelle 2 Weitere statistische Parameter zu den prozentualen Wassergehalten von Serum und Vollblut, sowie des Verteilungsquotienten für das Gesamtkollektiv (N = 833)

N = 833	Serum (%)	Vollblut (%)	Quotient
Median	90,75	78,30	1,160
Mittelwert	90,66	78,36	1,157
Standardabweichung (s)	0,66	1,23	0,016
Anteil im 1s-Bereich (%)	72,8	68,6	80,5
Anteil im 2s-Bereich (%)	98,0	96,2	96,5
Anteil im 3s-Bereich (%)	99,6	99,2	99,5
Variationskoeffizient (%)	0,73	1,57	1,38
95%-Konfidenzintervall (Untergrenze-Obergrenze)	90,61–90,70	78,27–78,44	1,156–1,158

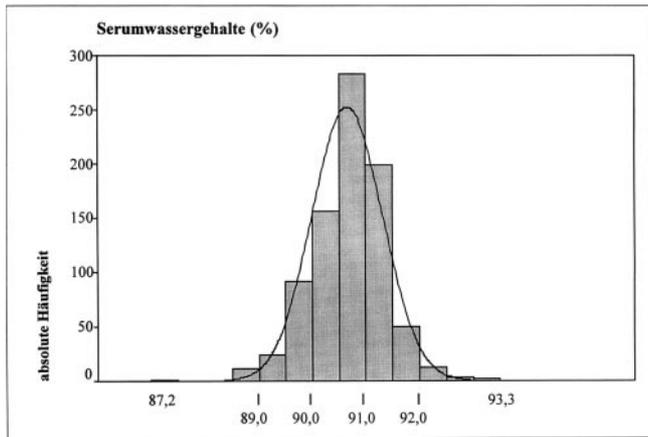


Abb. 1 Häufigkeitsverteilung der prozentualen Serumwassergehalte der Gesamtuntersuchung, Darstellung als Histogramm und Normalverteilungskurve, $n = 833$

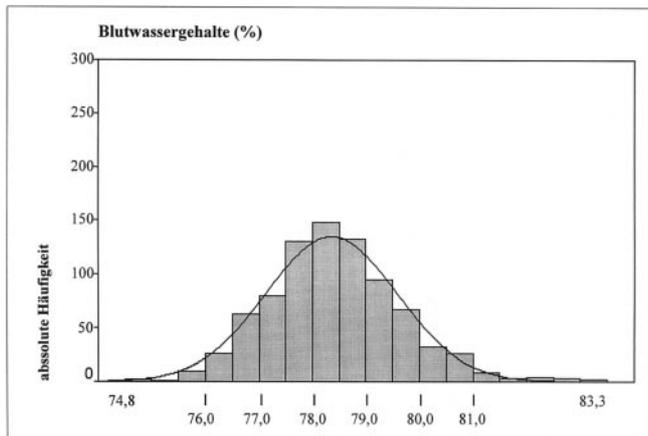


Abb. 2 Häufigkeitsverteilung der prozentualen Vollblutwassergehalte der Gesamtuntersuchung, Darstellung als Histogramm und Normalverteilungskurve, $n = 833$

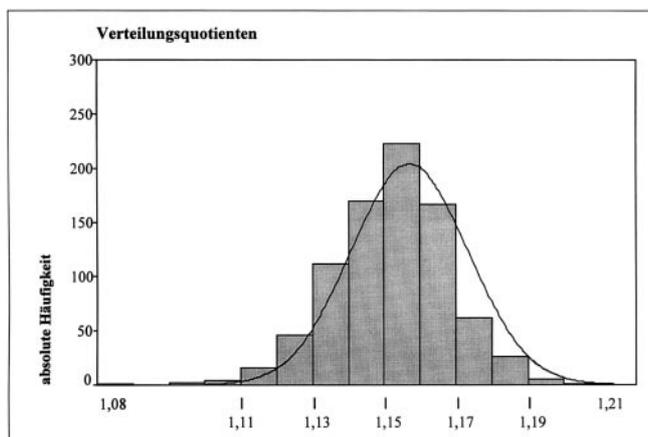


Abb. 3 Häufigkeitsverteilung der Verteilungsquotienten der Gesamtuntersuchung; Darstellung als Histogramm und Normalverteilungskurve, $n = 833$

Das Alter der Versuchspersonen lag zwischen 16 und 71 Jahren mit dem Schwerpunkt in der Altersklasse zwischen 20 und 30 Jahren. Ordnet man die Fälle nach Dezennien, so ergeben sich weder für die Wassergehalte noch den Quotienten Unterschiede in den Mittelwerten oder den Verteilungen der Meßwerte, die statistisch signifikant wären (t -Test) oder auf eine Korrelation (nach Pearson) zwischen Alter und Zu- oder Abnahme bei den Meßgrößen hinweisen könnten.

Unter Verwendung der gleichen Testparameter besteht keine Korrelation zwischen dem Verteilungsquotienten und der Höhe der Blutalkoholkonzentration ($BAK_{\max} = 3,28\%$).

Die Proben stammten von 141 Frauen und 692 Männern. Bei den Frauen sind der mittlere Wassergehalt im Vollblut um 1,2% und der im Serum um 0,2% höher als bei den Männern. Dadurch wird der Verteilungsquotient im Mittel um 0,015 bzw. 1,3% niedriger. Signifikant ist dieser Unterschied nach den beiden o.g. Testverfahren nicht.

Diskussion

Der mittlere Verteilungsquotient von 1,157 aus dieser Studie liegt um 3,6% unter dem für die Umrechnung von Serumalkohol in Blutalkohol zu verwendenden Faktor von 1,2. Er wurde aus den gravimetrisch bestimmten Wassergehalten von Serum und Vollblut berechnet. Wegen der Wägungen sind die Meßfehler sehr gering. Sie betragen beim Vollblut weniger als 0,1% und beim Serum wegen der kleineren Mengen, die für die Wägungen eingesetzt werden konnten, bis 0,2%. Damit kann im Unterschied zu vielen anderen Arbeiten von einer sehr genauen Messung des Verteilungsquotienten ausgegangen werden. Die Ergebnisse dieser Studie sind sowohl wegen der Auswahl der Probanden als auch wegen des Umfangs der Untersuchung (833 Fälle) für forensische Belange repräsentativ. Um den Vergleich mit den aus der Literatur zugänglichen Werten zu erleichtern, wurden die Ergebnisse und wichtige methodische Einzelheiten dieser Arbeiten in den Tabellen 3–5 zusammengestellt.

Beim Verteilungsquotienten ist darauf zu achten, ob die Wassergehalte von Serum und Vollblut auf Gewichts- oder Volumeneinheiten bezogen sind. Der in dieser Arbeit bestimmte Quotient ist korrekt als Q_g zu bezeichnen. In anderen Arbeiten wurden die Quotienten aus der Verteilung des Ethanol zwischen Serum und Vollblut berechnet und die Ethanolgehalte auf Volumeneinheiten bezogen. Diese Verteilungsquotienten Q_v sind um das Verhältnis der relativen Dichten von Vollblut zu Serum niedriger als Q_g . Auf diesen Unterschied, der oft übersehen wird, hatten bereits Brettel [4] und Jones et al. [18] aufmerksam gemacht. Die relative Dichte des Blutes beträgt bei 25 °C im Mittel 1,0595 g/ml (95%-Bereich 1,0523–1,0604) und die von Serum 1,0269 g/ml (95%-Bereich 1,024–1,028) [32], bzw. liegt zwischen 1,025 und 1,029 g/ml [28]. Daraus resultiert ein Quotient von 1,032. Brettel [4] geht von 1,059 g/ml für Blut bzw. von 1,025 g/ml für Serum aus

Tabelle 3 Wassergehalte des Serums in der Literatur

Autor	Jahr	Vorbe- handlung der Blutprobe	Methode	Einzel- Volumen (ml)	Kollektiv	N	Mw (s)	Min-Max	Meßfehler
6	1953	①	Titration n. Fischer	1–8 Tropfen	k.A.	15	92,5 (k.A.)	90–94	k.A.
6	1953	①	Titration n. Fischer	1–8 Tropfen	k.A.	5	91,1 (k.A.)	90,4–91,6	k.A.
6	1953	①	Trockenschrank (Temp.?, Zeit?)	k.A.	k.A.	5	91,7 (k.A.)	90,8–92,6	k.A.
13	1964	②	Trockenschrank 60°C/40 h	10 × 0,1	k.A.	14	91,2 (0,38)	k.A.	3%
11	1967	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	100	90,93 (k.A.)	k.A.	k.A.
14	1968	①	Trockenschrank 60°C/24 h	10 × 0,1	Gesunde	15	k.A.	90,8–92,1	3%
14	1968	①	Trockenschrank 60°C/24 h	10 × 0,1	Ambulante Kranke	25	k.A.	90,3–93,3	3%
15	1971	①	Trockenschrank 60°C/24 h	10 × 0,1	Schwangere I. SS-Monat	10	91,1 (0,19)	k.A.	3%
15	1971	①	Trockenschrank 60°C/24 h	10 × 0,1	Schwangere VIII. SS-Mo.	10	92,64 (0,27)	k.A.	3%
18	1990	③	Trockenschrank 105°C/20 h	0,5	Ältere, stationäre Patienten	8	91,8 (0,49)	91–93	0,5%
9	1991	④	Trockenschrank 60°C/24 h	3 × 0,1	*	20	91,1 (0,8)	89,3–92,4	1%
22	1993	⑤	Trockenschrank 110°C/40 h	1,0	*	97	91,2 (0,5)	88,7–92,1	0,1%
22	1993	⑤	Trockenschrank 110°C/40 h	1,0	Frauen	48	91,3 (k.A.)	k.A.	0,1%
22	1993	⑤	Trockenschrank 110°C/40 h	1,0	Männer	49	91,2 (k.A.)	k.A.	0,1%
24	1994	⑥	Trockenschrank 60°C/24 h	3 × 0,1	*	15	90,26 (0,085)	89,77–90,80	1%
Eigene Studie	1998	④	Trockenschrank 105°C/24 h	0,3–0,4	*	833	90,66 (0,66)	87,20–93,30	0,2%
Eigene Studie	1998	④	Trockenschrank 105°C/24 h	0,3–0,4	Frauen	141	90,85 (0,63)	87,20–92,55	0,2%
Eigene Studie	1998	④	Trockenschrank 105°C/24 h	0,3–0,4	Männer	692	90,62 (0,65)	88,55–93,30	0,2%

Erläuterungen:

Vorbehandlung: ① Eine Blutprobe, Nativblut, sofort nach Abnahme Anteile zur Wassergehaltsbestimmung im Vollblut entnommen, anschließend Serum abzentrifugiert; ② Nativblut nur zur Bestimmung des Wassergehaltes im Serum; ③ zwei Blutproben, mit Natriumfluorid + Heparin zur Wassergehaltsbestimmung im Vollblut, mit EDTA zur Wassergehaltsbestimmung im Serum; ④ Nativ-

blut, separate Blutproben zur Wassergehaltsbestimmung im Vollblut bzw. Serum; ⑤ Eine Blutprobe (10 ml) mit EDTA, sofortige Entnahme von Vollblut zur Wassergehaltsbestimmung, restliche Blutprobe zur Gewinnung von Serum zentrifugiert; ⑥ Eine Blutprobe, mit Natriumfluorid, weitere Bearbeitung wie unter 5
Sonstiges: * = gesunde Probanden beiderlei Geschlechts; k.A. = keine Angaben

(Quotient 1,033). In Tabelle 5 ist jeweils vermerkt, ob Q_v oder Q_g gemessen wurde.

Wassergehalt von Serum und Vollblut

Bereits 1893 ging man davon aus, daß der Wassergehalt von Serum bei 90% und der von Vollblut bei 78% liegt [Vierordt zit. in 10]. Diese Zahlen stimmen erstaunlich gut mit den Mittelwerten von 90,7% und 78,4% aus dieser Untersuchung überein. In vielen der Arbeiten über die Wassergehalte von Serum (Tabelle 3) und Vollblut (Tabelle 4) bzw. die Verteilungsquotienten sind Methoden

und Ergebnisse unvollständig dargestellt. Die Genauigkeit der Messungen mußte vielfach geschätzt werden. Einige der Werte konnten nur aus graphischen Darstellungen abgeleitet werden [14]. Mittelwerte, Standardabweichungen oder die Extremwerte fehlten. Sofern sich das Kollektiv der Probanden bei den Versuchen in besonderer Weise abhob, wurde dies in den Tabellen vermerkt.

Zur Bestimmung des Serum- oder Blutwassergehaltes wurde das Wasser überwiegend durch Wärme entfernt. Die Verfahren unterscheiden sich durch die Menge des eingesetzten Materials, die Temperatur und Zeitdauer der Trocknung. Brettel [4] hat den Einfluß unterschiedlicher

Tabelle 4 Wassergehalte des Vollbluts in der Literatur

Autor	Jahr	Vorbe- handlung der Blutprobe	Methode	Einzel- Volumen (ml)	Kollektiv	N	Mw	Min-Max (s)	Meßfehler
6	1953	①	Titration n. Fischer	1–8 Tropfen	k.A.	100	80,5 (k.A.)	74–84	k.A.
6	1953	①	Titration n. Fischer	1–8 Tropfen	Männer	77	80,4 (k.A.)	74–84	k.A.
6	1953	①	Titration n. Fischer	1–8 Tropfen	Frauen	23	80,8 (k.A.)	78–84	k.A.
6	1953	①	Titration n. Fischer	1–8 Tropfen	k.A.	15	80,5 (k.A.)	76–84	k.A.
6	1953	①	Titration n. Fischer	1–8 Tropfen	k.A.	3	80,0 (k.A.)	79,9–80,2	k.A.
6	1953	①	Trockenschrank (Temp.?, Zeit?)	1–8 Tropfen	k.A.	3	80,3 (k.A.)	80,2–80,5	k.A.
11	1967	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	100	78,30 (k.A.)	k.A.	k.A.
14	1968	①	Trockenschrank 60 °C/24 h	10 × 0,1	Gesunde	15	k.A.	78,8–81,9	3%
14	1968	①	Trockenschrank 60 °C/24 h	10 × 0,1	Ambulante Patienten	25	k.A.	79,0–87,0	3%
15	1971	①	Trockenschrank 60 °C/24 h	10 × 0,1	Schwangere I. SS-Monat	10	80,95 (0,53)	k.A.	3%
15	1971	①	Trockenschrank 60 °C/24 h	10 × 0,1	Schwangere VIII. SS-Mo.	10	84,91 (0,75)	k.A.	3%
18	1990	③	Trockenschrank 105 °C/20 h	0,5	ältere Patienten	8	80,1 (1,03)	78–83	0,5%
9	1991	④	Trockenschrank 60 °C/24 h	3 × 0,1	*	20	78,5 (1,4)	76,6–81,7	1%
22	1993	⑤	Trockenschrank 110 °C/40 h	1,0	*	97	79,7 (1,76)	76,9–82,0	0,2%
22	1993	⑤	Trockenschrank 110 °C/40 h	1,0	Frauen	48	80,5 (k.A.)	k.A.	0,2%
22	1993	⑤	Trockenschrank 110 °C/40 h	1,0	Männer	49	78,9 (k.A.)	k.A.	0,2%
24	1994	⑥	Trockenschrank 60 °C/24 h	3 × 0,1	*	15	78,67 (0,195)	76,99–79,68	1%
Eigene Studie	1998	④	Trockenschrank 105 °C/24 h	1–3	*	833	78,36 (1,23)	74,8–83,3	0,1%
Eigene Studie	1998	④	Trockenschrank 105 °C/24 h	1–3	Frauen	141	79,37 (1,09)	76,3–82,5	0,1%
Eigene Studie	1998	④	Trockenschrank 105 °C/24 h	1–3	Männer	692	78,15 (1,15)	74,8–83,3	0,1%

Erläuterungen: siehe Tabelle 3

Trocknungsbedingungen auf die Meßergebnisse bei Serum und Vollblut diskutiert. Ähnliche Untersuchungen finden sich auch bei Lijnema et al. [22] und de Jong et al. [19]. Die für diese Studie gewählten 105 °C berücksichtigten die Anregungen von Brettel [4]. Abgesehen von der Verwendung moderner Analysenwaagen wird auch durch den Einsatz größerer Volumina als 0,1 ml eine höhere Meßgenauigkeit erreicht. Die Titration nach Karl Fischer als Variante zur Wassergehaltsbestimmung [6] führt zu ähnlichen Mittelwerten bei Serum und Vollblut wie in den übrigen Studien.

Von wenigen Autoren wurden zwei Blutproben zur Bestimmung von Serum- und Blutwassergehalt verwendet [9, 18]. In den übrigen Studien [6, 14, 15, 22, 24] wurde

nur eine Blutprobe entnommen. Zur Gerinnungshemmung befanden sich in den Venülen EDTA, gelöst oder als Salz, bzw. Natriumfluorid und/oder Heparin. Unmittelbar nach der Blutgewinnung wurde ein Aliquot des noch nicht geronnenen Blutes zur Bestimmung des Wassergehaltes von Vollblut entnommen. Danach wurden die Proben zentrifugiert. Die Probenvorbereitung kann ebenso wie die Einwaage zu geringer Mengen von Blut oder Serum zu größeren Fehlern führen. In einigen Arbeiten versuchte man, diesen Fehler durch Vielfacheinwaagen [13–15] und nicht durch eine Erhöhung des Probenvolumens zu verringern.

Für den Wassergehalt von Serum (Tabelle 3) sind die Unterschiede zwischen den verschiedenen Arbeiten und

Tabelle 5 Verteilungsverhältnis des Wassers zwischen Serum und Vollblut in der Literatur

Autor	Jahr	Vorbe- handlung der Blutprobe	Methode	Einzel- Volumen (ml)	Kollektiv	N	Mw (s)	Min-Max	Meß- fehler	Q
8	1935	⑦	EtOH-Widmark	0,1	k.A.	10	1,17 (0,062)	1,05–1,25	5%	Q _G
21	1936	k.A.	EtOH-Widmark	0,1	k.A.	k.A.	k.A.	1,12–1,31	5%	Q _G
10	1957	①	EtOH-Widmark	0,1	*	4	1,16 (0,02)	1,13–1,18	5%	Q _G
17	1959	①	EtOH-Widmark	0,1	*	165	1,174 (0,064)	k.A.	5%	Q _G
17	1959	①	EtOH-Widmark	0,1	*	131	1,132 (0,063)	k.A.	6%	Q _V
11	1967	k.A.	EtOH	k.A.	k.A.	100	1,1606 (k.A.)	k.A.	k.A.	Q _G
11	1967	k.A.	Gravimetrie	k.A.	k.A.	100	1,1609 (k.A.)	k.A.	k.A.	Q _G
14	1968	①	Gravimetrie	10 × 0,1	Gesunde	15	k.A.	1,118–1,163	5%	Q _G
14	1968	①	Gravimetrie	10 × 0,1	Ambulante Kranke	25	k.A.	1,048–1,169	5%	Q _G
26	1968	①	EtOH-Nickoll	k.A.	*	20	1,18 (0,057)	1,10–1,35	5%	Q _V
15	1971	①	Gravimetrie	10 × 0,1	Schwangere I. SS-Mo.	10	1,134 (0,005)	k.A.	5%	Q _G
15	1971	①	Gravimetrie	10 × 0,1	Schwangere VIII. SS-Mo.	10	1,090 (0,007)	k.A.	5%	Q _G
16	1985	⑥	EtOH-GC-Inj.	0,002 × 2	*	16	1,11 (0,021)	1,08–1,16	3%	Q _V
31	1987	⑧	EtOH-GC-Inj.	0,002 × 3	*	50	1,14 (0,02)	1,09–1,18	2%	Q _V
30	1989	⑨	EtOH-GC-Inj.	0,002 × 2	*	14	1,14 (0,05)	1,12–1,18	3%	Q _V
18	1990	③	EtOH-GC-HS	0,1	Ältere stat. Patienten	163	1,10 (0,029)	1,03–1,24	1,5%	Q _V
9	1991	④	Gravimetrie	0,1 × 3	*	20	1,161 (0,017)	1,12–1,18	1%	Q _G
27	1993	⑩	EtOH-GC-Inj.	0,001	Patienten aus Notfallklinik	211	1,16 (0,063)	0,88–1,59	7,4%	Q _V
24	1994	⑥	Gravimetrie	0,1 × 3	*	15	1,147 (0,01)	1,13–1,17	1%	Q _G
12	1995	⑨	EtOH-GC-HS	0,1	*	134	1,15 (0,02)	1,10–1,25	2%	Q _V
5	1996	⑩	EtOH-GC-HS	k.A.	*	235	1,143 (0,041)	1,04–1,26	1%	Q _V
Eigene Studie	1998	④	Gravimetrie	siehe Tab. 3, 4	*	833	1,157 (0,016)	1,08–1,21	0,2%	Q _G
Eigene Studie	1998	④	Gravimetrie	siehe Tab. 3, 4	Frauen	141	1,145 (0,014)	1,11–1,20	0,2%	Q _G
Eigene Studie	1998	④	Gravimetrie	siehe Tab. 3, 4	Männer	692	1,160 (0,016)	1,08–1,21	0,2%	Q _G

Erläuterungen:

Vorbehandlung: ①–⑥ siehe Tabelle 3; ⑦ Vergleich von Kapillarblut (Ohrläppchen) mit Serum aus Cubitalvenenblut; ⑧ zwei Blutproben, eine mit Zusatz von Heparin, eine als Nativblut; ⑨ zwei Blutproben, eine mit Zusatz von Natriumfluorid und Oxalat,

eine mit Serumtrenner; ⑩ zwei Blutproben, eine mit Zusatz von Antikoagulans, eine als Nativblut
Sonstiges: EtOH = Ethanol; GC = Gaschromatographie; HS = Headspace; Inj. = Injektion; weiteres siehe Tabelle 3

der neuen Studie beim Mittelwert und den Variationsbreiten gering. In den meisten Arbeiten liegen die Ergebnisse zwischen den Extremwerten, die in dieser Studie ermittelt wurden. Dies gilt auch für das Gesamtblut, abgesehen von Schwangeren [15] und ambulant Kranken [14], zu denen

aber nähere Informationen zur Art der Erkrankung und deren Auswirkung auf hohe Wassergehalte im Vollblut fehlen.

Der Verteilungsquotient

Bereits aus den Zahlen von Vierordt [1893, zit. in 10] errechnet sich für Q_g ein Wert von 1,154, der mit dem 1998 ermittelten Wert von 1,157 nahezu übereinstimmt. Auch der 1935 von Elbel [8] bestimmte Mittelwert von 1,17 weicht wie die Mehrzahl der mittleren Verteilungsquotienten Q_g aus den in Tabelle 5 aufgeführten Arbeiten nur wenig von dem Faktor 1,157 ab. Das gleiche gilt für die Arbeiten, in denen Q_v gemessen und mit 1,03 multipliziert wurde.

Weit wichtiger für die Beurteilung der Zuverlässigkeit der Blutalkoholbestimmung ist die Variationsbreite von Q_g . Der niedrigste Wert betrug 1,08 und der höchste 1,21. Zu diskutieren ist, ob die in anderen Arbeiten mitgeteilten höheren bzw. niedrigeren Quotienten nicht auf Ungenauigkeiten in der Messung zurückzuführen sind. Über niedrigere Werte wird in einigen Arbeiten [5, 8, 14, 18, 27] berichtet. Gesondert diskutiert wird die Arbeit von Rainey [27], die von Mengersen [25] als Beleg für seine Behauptung von der Ungenauigkeit der Blutalkoholbestimmung zitiert wurde. Werte aus Arbeiten mit Meßfehlern von mehr als 5% [8, 14] wurden nicht in die Diskussion einbezogen. Damit bleiben die Arbeiten von Jones et al. [18] und Charlebois et al. [5]. Umgerechnet in Q_g beträgt bei Jones et al. der niedrigste Wert 1,06. Die Proben stammen von älteren Patienten (im Mittel 62 Jahre), die sich zur stationären Behandlung im Krankenhaus befanden. Sie sind sicher nicht repräsentativ für Trunkenheitsfahrer, zumal bei einigen Patienten Hyperlipidämien vorlagen. Auch wurde von Jones et al. kein Nativblut verwendet. Der geringste Wert bei Charlebois et al. [5] beträgt umgerechnet in Q_g 1,07 und trat einmal unter 235 Fällen auf. Die Probanden waren gesunde Polizeibeamte. Vieles spricht dafür, daß es sich nach den Erfahrungen aus unserer Studie um einen Ausreißer handelt, weil der Verteilungsquotient aus den Ethanolgehalten bestimmt wurde.

Bei diesem Verfahren können fehlerhafte Verteilungsquotienten durch Meßfehler bei der Ethanolbestimmung dann auftreten, wenn das Vollblut trotz Zusatz gerinnungshemmender Substanzen nicht ausreichend homogen ist. Diese Fehler sind nur bei mehrfachen Ansätzen aus der gleichen Probe zu erkennen. Aus den in Tabelle 5 aufgenommenen Arbeiten geht nicht hervor, ob derartige Kontrollen vorgenommen wurden. Die häufigste Fehlerquelle ist die Berechnung von Verteilungsquotienten aus Fällen mit niedrigen Blutalkoholspiegeln. Dies gilt auch, wenn bei der Alkoholbestimmung die Headspace-Technik verwendet wurde. Die nicht vermeidbaren Meßfehler wirken sich bei geringen Alkoholspiegeln stärker aus und können so zu fehlerhaften Verteilungsquotienten führen. Fälle mit Blutalkoholkonzentrationen unter 0,8‰ sollten nicht berücksichtigt werden. In den wenigen Fällen [9, 24], in denen das Verteilungsverhältnis nicht aus der Verteilung des Ethanols abgeleitet wurde, fanden sich keine Werte außerhalb der Extremwerte dieser Studie. Damit ist für den Verteilungsquotienten von 1,08 als unterem Grenzwert auszugehen. Die Untersuchungen von Hinckers [14, 15] an ambulant kranken Personen, die wegen des hohen

Meßfehlers nicht berücksichtigt werden konnten, verdienen es jedoch, mit einer zuverlässigeren Methode überprüft zu werden.

Häufiger wird von Verteilungsquotienten über 1,21 (bis 1,31) berichtet. Bei den älteren Arbeiten [8, 21, 26] könnten vor allem die ungenauen Meßverfahren für Ethanol und Mängel in der Probenvorbereitung zu diesen hohen Werten geführt haben. Zudem fehlen bei den hohen Quotienten Angaben zur Höhe der Blutalkoholspiegel [5, 18]. Die Arbeit von Hak et al. [12] bestätigt die Vermutung, daß vorwiegend bei geringen Blutalkoholspiegeln häufig höhere Quotienten bestimmt wurden.

Nach Rainey [27] wurden für Q_v Werte zwischen 0,88 und 1,59 gemessen. Auf die geringe Meßgenauigkeit bei der Ethanolbestimmung wurde bereits von Charlebois et al. [5] hingewiesen. Der Variationskoeffizient des gaschromatographischen Verfahrens beträgt für eine Doppelbestimmung bei Konzentrationen um 90 mg/100 ml 7,4%. Für das in Deutschland bei forensischen Blutalkoholbestimmungen übliche Verfahren liegt dieser Koeffizient bei 1%. Weitere Fehlerquellen sind die Aufarbeitung der Blutproben und die Tatsachen, daß Fälle mit Spiegeln ab 0,1‰ einbezogen wurden und die Proben aus einer Notfallklinik stammen. Alles zusammen erklärt, daß sogar Verteilungsquotienten unter 1,0 gemessen wurden. Derartige Werte sind praktisch nicht möglich, da dann der Wassergehalt im Serum niedriger wäre als im zugehörigen Vollblut. Wegen der Fehlerhaftigkeit in Anlage und Meßanordnung ist die Arbeit von Rainey als wissenschaftlicher Beitrag zur Bestimmung des Verteilungsfaktors ungeeignet.

Mengersen [25] hatte offenbar kritiklos die Werte von Rainey übernommen, um daraus abzuleiten, daß der wahre Wert des Umrechnungsfaktors „aber im Extremfall zwischen 0,95 und 1,40 (Vertrauensbereich von 95%) liegen“ kann und zu behaupten, daß die Messung der Blutalkoholspiegel nach dem in Deutschland üblichen Verfahren mit hohen Unsicherheiten behaftet sei. Eigene Meßergebnisse wurden von Mengersen nicht vorgelegt.

Die Extremwerte von 1,08 und 1,21 allein besagen noch nichts über die Güte der Blutalkoholbestimmung nach den Richtlinien des Bundesgesundheitsamtes [23], auch wenn damit die Behauptung von Mengersen [25] „Durch die pauschale Umrechnung von der Serumkonzentration zur BAK sind im Extremfall allein methoden- und verfahrensbedingt ohne Berücksichtigung der immer vorhandenen apparativen Meßunsicherheiten Abweichungen von bis zu 20% vom tatsächlichen Wert möglich.“ widerlegt ist. Bemerkenswert ist, daß 96% der Quotienten zwischen 1,13 und 1,19 liegen. Daraus ergibt sich für 96% der Fälle bedingt durch den Umrechnungsfaktor eine Abweichung vom Mittelwert um nicht mehr als 3% und in äußerst seltenen Extremfällen von nicht mehr als 6%. Offensichtlich ist die Blutalkoholbestimmung für forensische Zwecke nach den Richtlinien des Bundesgesundheitsamtes weit zuverlässiger, als man bislang geglaubt hatte. Wenn Mengersen [25] behauptet: „Eine Aussage über die Richtigkeit des in dieser Form ermittelten BAK-Wertes ist ebensowenig möglich wie eine konkrete Aussage über die

individuelle Unsicherheit der BAK.“, so ist dies durch die Ergebnisse dieser multizentrischen Studie widerlegt. Im Hinblick auf die Population der erwachsenen Bevölkerung in Deutschland sind die in dieser Studie ermittelten Wassergehalte von Serum und Vollblut und der Verteilungsfaktor des Wassers als Referenzwerte anzusehen.

Literatur

1. Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Gila Altmann (Aurich), Helmut Wilhelm (Amberg), Egbert Nitsch (Rendsburg), Albert Schmidt (Hitzhofen) und der Fraktion Bündnis 90/Die Grünen (1998) Blutalkohol 35:233–238
2. BGH 4 StR 297/90 (1990) VRS 79:108–114
3. Bilzer N, Schewe G, Blauert J, Kirschall C (1997) Experimentelle Untersuchungen mit dem Evidential 7110 Mk II von Dräger im standardisierten Trinkversuch bei gleichzeitiger Gabe von Fructose und Ascorbinsäure. Blutalkohol 34:89–100
4. Brettel HF (1972) Blutalkohol und Blutwassergehalt. Schmidt-Römhild, Lübeck
5. Charlebois RC, Corbett MR, Wigmore JG (1996) Comparison of ethanol concentrations in blood, serum, and blood cells for forensic application. J Anal Toxicol 20:171–178
6. Davis FE, Kenyon K, Kirk J (1953) A rapid titrimetric method for determining the water content of human blood. Science 118:276–277
7. Deutsche Gesellschaft für Rechtsmedizin (1997) Richtlinien für die Blutalkoholbestimmung für forensische Zwecke. Toxichem Krimtech 64:103–104
8. Elbel H (1935) Untersuchungen zur Verwertbarkeit der Blutalkoholbestimmung nach Widmark. Dtsch Z Gerichtl Med 25:124–129
9. Endres H (1991) Alkohol und Schweres Wasser (D₂O) als Indikatoren zur Bestimmung des Gesamtkörperwassers beim Menschen. Vergleichende Messungen. Inaug Diss Kiel
10. Grüner O (1957) Die Verteilung des Alkohols im Blut. Dtsch Z Gerichtl Med 46:10–17
11. Grüner O (1967) Der Gerichtsmedizinische Alkoholnachweis. Carl Heymanns Verlag, Köln Berlin Bonn München, S 242–248
12. Hak EA, Gerlitz BJ, Demont PM, Bowthorpe WD (1995) Determination of serum alcohol: blood alcohol ratios. Can Soc Forensic Sci J 28:123–126
13. Hinckers HJ (1964) Experimentelle Untersuchungen am Blutserum über die Veränderungen des Wasserhaushaltes nach Alkoholgaben. Inaug Diss Bonn
14. Hinckers HJ (1968) Die Wasserkonzentration des Vollbluts, der Erythrocyten und des Serums und deren Bedeutung für den Wasser-(Alkohol-) Verteilungsfaktor: Serum/Vollblut. Blutalkohol 5:436–441
15. Hinckers HJ (1971) Der Wasser-(Alkohol-) Verteilungsfaktor: Serum/Vollblut während der Schwangerschaft. Blutalkohol 8:342–349
16. Hodgson BT, Nizar KS (1984) Distribution of ethanol: plasma to whole blood ratios. Can Soc Forensic Sci J 18:73–77
17. Illchmann-Christ A (1959) Untersuchungen über die Relationen von Blutkuchen-Vollblut-(Serum) Alkoholwerten. Dtsch Z Gerichtl Med 49:113–129
18. Jones AW, Hahn RG, Stalberg HP (1990) Distribution of ethanol and water between plasma and whole blood; inter- and intra-individual variations after administration of ethanol by intravenous infusion. Scand J Clin Lab Invest 50:775–780
19. Jong de GMT, Huizenga JR, Gips CH (1987) Evaluation of gravimetric assays of the H₂O concentration in human serum and urine. Clin Chim Acta 163:153–164
20. Köhler H, Banaschak S, Brinkmann B (1997) AAK-BAK-Vergleichsuntersuchung mit dem „beweissicheren“ Alcotestgerät 7110 Evidential. Blutalkohol 34:36–44
21. Künkele F (1936) Zur Blutalkoholbestimmung. Dtsch Z Gerichtl Med 26:241–244
22. Lijnema TH, Huizenga JR, Jager J, Mackor AJ, Gips CH (1993) Gravimetric determination of the water concentration in whole blood, plasma erythrocytes and correlations with hematological and clinicochemical parameters. Clin Chim Acta 214:129–138
23. Lundt PV, Jahn E (1966) Gutachten des Bundesgesundheitsamtes „Alkohol bei Verkehrsstraftaten“. Herausg. Bundesminister für Verkehr, Bonn-Bad Godesberg, Kirschbaum Verlag, Bad Godesberg, S 146–147
24. Magheli AM (1994) Untersuchung zum Einfluß einer Standardmahlzeit auf die Resorption und Elimination von Ethylalkohol. Inaug Diss Kiel
25. Mengersen C (1997) Blutalkoholkonzentration und Atemalkoholkonzentration aus der Sicht des gesetzlichen Meßwesens. PTB-Mitteilungen 107:111–114
26. Payne JP, Hill DW, Wood DGL (1968) Distribution of ethanol between plasma and erythrocytes in whole blood. Nature 217:963–964
27. Rainey PM (1993) Relation between serum and whole-blood ethanol concentrations. Clin Chem 39:2288–2292
28. Schmidt RF, Thews G (1980) Physiologie des Menschen. 20 Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York, S 363
29. Schoknecht G (1990) Gutachten des BGA zum Sicherheitszuschlag auf die Blutalkoholbestimmung. Bundesgesundheitsblatt 33:146–153
30. Shajani NK, Godolphin W, Image BA (1989) Blood alcohol analysis: comparison of whole blood analysis by gas chromatography with serum analysis by enzymatic method. Can Soc Forensic Sci J 22: 317–320
31. Winek CL, Carfagna M (1987) Comparison of plasma, serum and whole blood ethanol concentrations. J Anal Toxicol 11:267–268
32. Wissenschaftliche Tabellen Geigy (1979) Physikalische Chemie, Blut, Humangenetik, Stoffwechsel von Xenobiotika. 8. Aufl. Verlag Ciba Geigy, Basel, S 68