

Originalarbeiten / Original Works

**Todeszeitbestimmung
durch Messung der Rektaltemperatur
bei Wassersuspension der Leiche***

C. Henßge¹, B. Brinkmann¹, und K. Püschel²

¹ Institut für Rechtsmedizin der Universität Münster, von-Esmarch-Straße 86, D-4400 Münster, Bundesrepublik Deutschland

² Institut für Rechtsmedizin der Universität Hamburg, Butenfeld 34, D-2000 Hamburg 54, Bundesrepublik Deutschland

**Determination of Time of Death by Measuring the Rectal Temperature
in Corpses Suspended in Water**

Summary. Twenty-nine corpses were subdivided into three groups. Normally from the 3rd h post mortem on, they were suspended undressed in a tub holding 1,000 l in nearly still water of temperatures approximately 20°, 10° and 0°C. The rectal temperature was measured, normally until the 33rd h post mortem. Time of death was calculated by means of the mathematical analytical two-exponential formula suggested by Marshall and Hoare (1962), in the version used by Brown and Marshall (1974). The adapting parameters of the formula were standardized according to the principle of Henßge (1979, 1981) and related to standardization by adjusting factors to body weight stated for standard values of cooling, i.e., undressed corpses in calm air. After termination of the post mortem temperature plateau, it was found that undressed corpses suspended in water of temperatures of approximately 20° and 10°C cool as quickly as undressed corpses of half the body mass in calm air of the same temperatures.

As to the duration of the post mortem temperature plateau in water suspension time from the time of death, it may only be indirectly concluded that it is linked to the subsequent speed of cooling in the same way which is well known in the case of air cooling. Statistical standard values are given concerning the differences between the computed and the real times of death. Unexpectedly, the experiments in water at approximately 0°C yielded distinctly slighter temperature which were especially marked at rectal temperatures up to approximately 11°C in corpses of great body mass and small body surface in proportion to and equally, without regard to body mass. As an explanation of this, a decrease in the thermal conductivity of the subcutaneous adipose tissue in connection with a decrease in tissue temperature is discussed.

* Herrn Prof. Dr. W. Janssen zum 60. Geburtstag gewidmet

Sonderdruckanfragen an: Prof. Dr. B. Brinkmann (Adresse siehe oben)

Key words: Computation of time of death, suspension of the body in still water – Air and water exposition, computation of time of death

Zusammenfassung. 29 Leichen wurden, unterteilt in drei Gruppen, im Mittel ab der 3. hpm unbedeckt in einer 1000 l fassenden Wanne in nahezu ruhendem Wasser um 20, 10 bzw. 0°C suspendiert. Es wurde die tiefe Rektaltemperatur im Mittel bis 33 hpm gemessen. Die Rückrechnung der Todeszeit erfolgte mit dem von Marshall und Hoare (1962) angegebenen mathematisch-analytischen Zwei-Exponenten-Ausdruck in der von Brown und Marshall (1974) benutzten Formulierung. Die Anpaßparameter des Ausdrucks wurden nach dem Prinzip von Henßge (1979, 1981) normiert und auf die für Bezugsstandardbedingungen der Abkühlung (unbedeckte Leichen in ruhender Luft) aufgestellte Normierung durch Körpergewichtskorrekturfaktoren bezogen. Nach Abschluß des postmortalen Temperaturplateaus kühlen in Wasser um 20 und um 10°C suspendierte unbedeckte Leichen mit einer Geschwindigkeit ab wie unbedeckte Leichen von 0,5-facher Körpermasse in ruhender Luft gleicher Temperatur.

Zur Dauer des postmortalen Temperaturplateaus bei „Wassersuspension von Todeseintritt an“ kann nur indirekt geschlußfolgert werden, daß es in gleicher Weise mit der nachfolgenden Abkühlgeschwindigkeit gekoppelt ist, wie es von der Luftabkühlung her bekannt ist. Es werden statistische Maßzahlen zu den Abweichungen zwischen berechneten und realen Todeszeiten angegeben. Die Untersuchungen in Wasser um 0°C ergaben, überraschenderweise, deutlich geringere Abkühlsteilheiten. Sie waren bei Leichen mit großer Körpermasse bzw. kleiner Körperoberfläche im Verhältnis zur Körpermasse sowie unabhängig von der Körpermasse unterhalb einer Rektaltemperatur von etwa 11°C besonders stark ausgeprägt. Zur Erklärung wird eine Abnahme der Wärmeleitfähigkeit des subkutanen Fettgewebes mit Absinken der Gewebstemperatur diskutiert.

Schlüsselwörter: Todeszeitberechnung, Suspension der Leiche in ruhendem Wasser – Luft-Wasser-Exposition, Todeszeitberechnung

Während zur Leichenabkühlung im tiefen Rektum bei Lagerung der Leichen in Luft eine Reihe von Daten vorliegen (u. a. Mueller 1937; Schwarz und Heidenwolf 1953; De Saram et al. 1955; Marshall und Hoare 1962; Marshall 1962 a, b, 1965, 1969; Reimann 1968; Henßge 1979, 1981), sind Angaben über die Abkühlung in Wasser suspendierter Leichen äußerst spärlich (Brown and Marshall 1974). Auf die Notwendigkeit zur Durchführung entsprechender Untersuchungen ist mehrfach hingewiesen worden. Durch Rektaltemperaturmessungen an unbedeckt in ruhendem Wasser suspendierten Leichen soll damit begonnen werden, die bestehende Lücke zu schließen. Hierbei interessiert insbesondere die Frage nach dem Verhältnis der Abkühlgeschwindigkeit zwischen Luftlagerung und Wassersuspension, während weitere, die Abkühlung beeinflussende Faktoren vergleichbar gehalten werden sollen.

Mathematische Beschreibung der Abkühlkurve und Bezugsnorm für die Abkühlung in Luft

Als Vergleichsnorm der Abkühlgeschwindigkeit in Luft werden die Daten von Henßge (1979) herangezogen. Sie beziehen sich auf als „Bezugsstandard“ bezeichnete Abkühlbedingungen unbedeckter Leichen in gestreckter Rückenlage auf einfach deckenbelegter Metalltrage in ruhender Luft von relativ konstanter Temperatur und stimmen mit den Abkühlbedingungen der Untersuchungsreihen von Hoare und Marshall (1962) sowie Marshall (1962b) weitgehend überein. Diese Vergleichsnorm wurde an dem von Hoare und Marshall (1962) zur Beschreibung der „sigmoidalen“ Abkühlkurve angegebenen mathematisch-analytischen Zwei-Exponenten-Ausdruck aufgestellt. Der Kern der Normierung besteht in einem postuliert umgebungstemperaturunabhängigen Zusammenhang des einen, gewichtigeren der beiden Exponenten von der Körpermasse in der Potenz $-0,625$. Dieser, nachfolgend mit „B“ bezeichnete Exponent, ist mit der Steilheit des nach dem „postmortalen Temperaturplateau“ (Shapiro 1965) folgenden linearen Abfalls der logarithmierten Differenztemperatur zwischen Rektum und Umgebung über der Zeit identisch. Eine wesentliche Aufgabe dieser Arbeit besteht darin, die Gesetzmäßigkeit von B bei Wassersuspension herauszufinden und sie mit der bei Luftlagerung zu vergleichen. Der zweite Bestandteil der genannten Normierung von Abkühlkurven unter Bezugsstandardbedingungen der Leichenlagerung bezieht sich auf den anderen der beiden Exponenten der „Marshall-Formel“, die Maßzahl des postmortalen Temperaturplateaus. Bei den Untersuchungen von Henßge (1979) wurde als Normierung für Umgebungstemperaturen (Luft) bis 23°C angegeben, daß eine Koppelung zu B über den Faktor 5 bestehe. In der in dieser Arbeit benutzten Schreibweise der Marshall-Formel (Brown and Marshall 1974) ist diese Normierung gleichbedeutend mit einem Wert von 1,25 für die mit „A“ bezeichnete Größe. Da die Wassersuspension der Leichen vorliegender Untersuchungsreihe erst im Mittel 3 h nach Todeseintritt und nach ebenso langer bedeckter Lagerung in Luft erfolgen konnte, ist die dabei festgestellte Dauer des postmortalen Temperaturplateaus nicht auf die Bedingung „Wassersuspension von Todeseintritt an“ übertragbar. Es soll dennoch versucht werden, aus den gewonnenen Temperaturdaten diesbezügliche Schlußfolgerungen abzuleiten und einen Vergleich zu ausschließlicher Luftlagerung anzustellen.

Verwendete Symbole und ihre Bedeutung

T	Rektaltemperatur ($^{\circ}\text{C}$) als Funktion der Zeit
t	Todeszeit in Stunden post mortem (dezimal)
T_0	Rektaltemperatur ($^{\circ}\text{C}$) bei Todeseintritt
T_U	Umgebungstemperatur ($^{\circ}\text{C}$) Luft
T_W	Wassertemperatur ($^{\circ}\text{C}$)
T_{exp}^a	Rektaltemperatur bei Meßbeginn
t_0	Zeitpunkt des Todeseintritts ($t = 0$)
t_{exp}^a	Zeit zwischen Todeseintritt und Meßbeginn
t_{exp}^e	Zeit zwischen Todeseintritt und Meßende

- dt* Abweichung zwischen berechneter und realer Todeszeit
B, A Anpaßparameter des Modells
B_{Stand} *B* für Bezugsstandardbedingungen (gestreckte Rückenlage, unbedeckte trockene Leiche, ruhende Luft) = $0,0284 - 1,2815 \times (KM^{-0,625})$ (1)
B_{indiv} individueller (experimentell ermittelter) Wert für *B* bei Wassersuspension
KM Körpermasse (kg)
KM_B aus *B_{indiv}* durch Auflösung von (1) nach *KM* berechnete virtuelle Körpermasse *KM_B*

$$= \left(\frac{-1,2815}{B_{indiv} - 0,0284} \right)^{1,6}$$
 (2)
f_{indiv} individueller Körpergewichtskorrekturfaktor zum Ausgleich von Unterschieden zwischen *B_{indiv}* und *B_{Stand}* = *KM_B*/*KM* (3)
A_{indiv} formal experimentell ermittelter individueller Wert für *A*
Q normierte Temperatur als Funktion der Zeit

$$= (T - T_{U\text{ bzw. }W}) / (T_0 - T_{U\text{ bzw. }W})$$
 (4)
ln natürlicher Logarithmus
h Stunde(n)
pm post mortem
n Häufigkeit

Material und Methodik

Material, Meßmethodik, Untersuchungsbedingungen

Neunundzwanzig Leichen mit zuverlässig bekanntem Zeitpunkt des Todeseintrittes gelangten 0,75 bis 5,25 (im Mittel 3) hpm in unterschiedlichem Bekleidungsstatus und nach Lagerung in Luft nicht näher bekannter Temperatur zur Untersuchung. Die entkleideten Leichen wurden in einer etwa 1000 Liter fassenden Stahlwanne durch kleinflächige Auflage- und Aufhängevorrichtungen derart fixiert, daß keine Berührung mit Wanne und Wasseroberfläche vorhanden war. Nur das Gesicht wurde über der Wasseroberfläche gehalten. Die Temperaturmessungen erfolgten mit Digitalthermometern.

Eine speziell für diese Untersuchungen gefertigte flexible Temperatursonde wurde 8 cm tief in das Rektum eingeführt und verblieb dort während der gesamten Untersuchungsdauer fixiert. Die Wassertemperatur wurde 5 cm unter der Wasseroberfläche und 10 bis 15 cm von der Leiche entfernt gemessen. Die Digitalthermometer wurden in den ersten Untersuchungsstunden in Intervallen von 0,25 h, später in größeren Zeitintervallen abgelesen. Die Untersuchungsdauer lag zwischen 13,5 und 66 h, im Mittel bei 33 h. Neun Leichen wurden in Wasser um 20°C suspendiert. Die Wassertemperatur wurde durch geringen Zufluß aus einem Mischventil und Abfluß durch ein Überlaufrohr relativ konstant gehalten. Die „Regelamplitude“ lag zumeist unter 1°C.

Zehn Leichen wurden in Wasser um 10°C suspendiert. Die Wassertemperatur wurde durch Zugabe von bis taubeneigroßen Eisstücken relativ konstant gehalten. Bei einer Untersuchung wurde ein Temperaturprofil des Wannenwassers durch Temperaturmessungen an mehreren Stellen in einem horizontalen und vertikalen Abstand von jeweils 2 cm aufgenommen. Die Temperaturen des Wannenwassers differierten an verschiedenen Stellen bis zu 0,8°C (9,9...10,7°C).

Weitere zehn Leichen wurden in Wasser um 0°C suspendiert. Die Wassertemperatur wurde durch Zugabe von Schnee bei fünf Untersuchungen (NR 15,16,17,18 und 19) bzw. durch Zugabe von bis taubeneigroßen Eisstücken bei den übrigen fünf Fällen relativ konstant gehalten. Dafür war es notwendig, im Intervall von etwa 1 h jeweils etwa 10 kg Eis zuzugeben. Bei den fünf Untersuchungen mit Schneezugabe bestand während der gesamten Untersuchungszeit eine geschlossene Schneedecke von etwa 3 cm Dicke an der Oberfläche. Bei den übrigen fünf Fällen mit Eiszugabe bestand keine geschlossene Decke von Eisstückchen an der Oberfläche. Auch bei den Untersuchungen um 10 und 0°C Wassertemperatur war die Regelamplitude meistens kleiner als 1°C.

Behandlung der Meßwerte

Die in Tabelle 2 genannten Werte der Wassertemperatur (Säule VI „ T_W “) wurden unter Ausschluß der protokollierten Wassertemperaturwerte in der ersten Phase unmittelbar nach dem Einbringen der Leiche in das Wasser durch Mittelung berechnet.

Von den protokollierten Rektaltemperaturen wurde innerhalb einer laufenden Todeszeitstunde nur ein Wert, der jeweils zur vollen Todeszeitstunde zeitlich nächstgelegene, zur nachfolgend dargestellten Kurvenanalyse verwendet.

Der zur mathematischen Beschreibung der Abkühlkurve verwendete mathematisch-analytische Ausdruck lautet:

$$Q = (T - T_U)/(T_0 - T_U) = A \cdot \exp(B \cdot t) + (1 - A) \cdot \exp\left(\left(\frac{A \cdot B}{A - 1}\right) \cdot t\right) \quad (5)$$

(Brown and Marshall 1974)

Die Abkühlkurve einer Leiche kann damit unter der Voraussetzung relativ konstanter Abkühlbedingungen hinreichend genau mathematisch beschrieben werden, wenn die individuellen Zahlenwerte für die Anpaßparameter B , A und T_0 bekannt sind. Weil die Rektaltemperatur bei Todesertritt zumeist unbekannt bleibt, wird T_0 als Konstante behandelt: $T_0 = 37,2^\circ\text{C}$. B_{indiv} und A_{indiv} können aus dem Kurvenverlauf wie folgt errechnet werden:

Ermittlung von B_{indiv} : Bilden der Differenztemperatur „Rektum (momentan) – Wasser (Mittel)“ und ihres Logarithmus naturalis: $\ln(T - T_W)$. Graphische Darstellung über der Todeszeit. Visuelle Entscheidung über den Zeitpunkt des Beginns (in der Regel: nach Abschluß des postmortalen Temperaturplateaus) und gegebenenfalls des Endes (häufig: im Bereich nur noch geringer Differenztemperaturen von unter etwa 2°C) eines linearen Zusammenhanges beider Meßgrößen.

Berechnung einer linearen Regression erster Art mit der realen Todeszeit als unabhängiger Variabler (X) und \ln Differenztemperatur als abhängiger Variabler (Y) im Linearitätsbereich:

$$Y(\ln \text{Differenztemperatur}) = a_{yx} + b_{yx} \cdot X (\text{Todeszeit}) \quad (6)$$

mit Berechnung des Korrelationskoeffizienten „ r “, der bei allen Untersuchungen größer als 0,9 war. b_{yx} ist identisch mit B_{indiv} .

Die Berechnung von „ A_{indiv} “ erfolgte nach:

$$A = \exp(a_{yx})/T_0 - T_U.$$

Den ermittelten Werten für A kommt bei vorliegenden Untersuchungen aus den in der Einleitung genannten Gründen nur eine unbestimmte Bedeutung zu: sie können keineswegs als für Wassersuspension typisch betrachtet werden.

Berechnung des individuellen Körpergewichtskorrekturfaktors für Wassersuspension bezogen auf Luftlagerung „ f_{indiv} “: Unter Bezugnahme auf die an unbedeckten Leichen in ruhender Umgebungsluft ermittelte Abhängigkeit des Wertes von B (1) wurde durch Auflösung nach KM und Einsetzung von B_{indiv} eine „virtuelle“ Körpermasse KM_B (2) errechnet: Eine unbedeckte Leiche in Luft gleicher Temperatur müßte die Körpermasse KM_B besitzen, um mit gleicher Steilheit B_{indiv} abzukühlen, wie es an einer Leiche der Körpermasse KM bei Wassersuspension zu beobachten war. Durch den Quotienten KM_B/KM erhält man umgekehrt den Körpergewichtskorrekturfaktor f_{indiv} , mit dem man die Körpermasse KM der in Wasser abkühlenden Leiche multiplizieren muß, um diesbezügliche Vergleichbarkeit zur Leichenabkühlung in Luft herzustellen. In vorstehend beschriebener Weise wurden von allen Fällen vorliegender Untersuchungsreihe die Werte für B_{indiv} , KM_B und f_{indiv} berechnet (Tabelle 2, Säulen VII bzw. VIII bzw. IX).

Zeitberechnung

Wegen der gravierenden Veränderung der Abkühlbedingungen von bekleideter Luftlagerung zwischen Todesertritt und Untersuchungsbeginn (mittlere Dauer: 3 h) zu unbedeckter Wassersuspension ab Untersuchungsbeginn müssen Zeitrückrechnungen auf $T_0 = 37,2^\circ\text{C}$ (Todeszeitpunkt) aus Temperaturmeßwerten während Wassersuspension und mit für Wassersuspension

sion typischen Werten von B mit einem systematischen Fehler behaftet sein, zumal aus gleichem Grunde Unsicherheiten bezüglich des für Wassersuspension typischen Wertes für A bestehen.

Auch Zeitrückrechnungen auf die mit Untersuchungsbeginn gemessene rektale Ausgangstemperatur „ $T_{\text{exp}}^{\text{a}}$ “ (Säule III in Tabelle 2), d. h. Rückrechnung der Liegezeit im Wasser mit „ $t_{\text{exp}}^{\text{a}}$ “ = 0 können nicht als verbindlich für „Wassersuspension von Todeseintritt an“ erklärt werden; auch hier bestehen Unsicherheiten hinsichtlich A (s. Diskussion).

Um aus den vorliegenden Meßwerten dennoch, wenn auch indirekte Schlußfolgerungen zum typischen A und zur mutmaßlichen Präzision berechneter Todeszeiten für „Wassersuspension von Todeseintritt an“ ableiten zu können, wurden beide Rückrechnungswege mit jeweils zwei verschiedenen A -Werten beschriftet:

Erstens Rückrechnung auf den Zeitpunkt des Todeseintritts (t_0), d. h. auf $T_0 = 37,2^\circ\text{C}$, und zweitens Rückrechnung auf den Zeitpunkt des Untersuchungsbeginns ($t_{\text{exp}}^{\text{a}} = 0$), d. h. auf die gemessene Ausgangstemperatur $T_{\text{exp}}^{\text{a}}$.

Da Formel V nicht nach t aufzulösen ist, wurde t durch numerische Iteration in 0,1-h-Schritten als Näherung berechnet. Die Berechnungen wurden mit einem Computer durchgeführt.

Abweichungen zwischen berechneten und realen Zeiten, statistische Behandlung

Die Differenz „berechnete – reale Zeit“ ergibt den Fehler der Zeitberechnung. Negatives Vorzeichen bedeutet somit eine Unterschätzung der Zeit durch die Berechnung, positives Vorzeichen eine Überschätzung. Die Größe der Fehler berechneter Zeiten muß mit fortschreitendem Temperatúrausgleich als zunehmend erwartet werden. Wegen des starken Einflusses der Körpermasse auf die Abkühlungsgeschwindigkeit ist die Zeit kein geeignetes Vergleichsmaß für den Grad des Temperatúrausgleichs bei verschiedenen schweren Leichen (hier: 44,2 bis 108,5 kg). Deshalb werden die beobachteten Fehler berechneter Zeiten zweckmäßigerweise nicht über den realen Zeiten zusammenfassend dargestellt, sondern über der „normierten Temperatur“ (4). Sie ist am Beginn des Temperatúrausgleichs = 1 und bei vollständigem Temperatúrausgleich zwischen Rektum und Umgebung = 0. (Orientierungswerte über Entsprechungen von Q und realer Todeszeit im Sinne von Eckwerten vorliegender Untersuchungen sind in Tabelle 7 angegeben.)

Um die Ergebnisse der auf verschiedene Weise berechneten Zeiten bzw. ihre Abweichungen von den realen Zeiten übersichtlicher zu gestalten und besser vergleichen zu können, wurden die Daten der Q -Klassen zwischen 1 und 0,3 auch zusammenfassend statistisch behandelt (Tabelle 5), obwohl die konsekutiven Werte der einzelnen Leichen keine voneinander unabhängige Größen sind.

Nr.	t^e (hpm)	T^e ($^\circ\text{C}$)	KM (kg)
15	27	09,5	95,5
09	20	12,3	83,5
16	15	10,7	79
07	20	12,0	75,5
29	19	11,6	66,5
23	18	12,0	58
18	13	10,9	49
06	12	10,1	44,2
\bar{x}	18,0	11,1	
s	$\pm 4,5$	0,94	
Var.-Koeff.	0,25	0,08	

Tabelle 1. Ende des Linearitätsbereichs (t^e), der zur Berechnung von B_{indiv} verwendet wurde und zu diesem Zeitpunkt gemessene Rektaltemperatur (T^e) bei den Fällen mit Abkühlung in Wasser um 0°C und nachfolgend deutlich geringerer Steilheit der Beziehung „ $\ln(\text{Differenztemperatur})$ “ über „ t^e “ als B_{indiv} bzw. f_{indiv} entsprechend (vgl. Abb. 1). (Bei Nr. 19 und 17 war die Untersuchungszeit zu kurz.) Beachte die Homogenität der Grenztemperatur und die Inhomogenität des Grenzzeitpunkts sowie dessen Abhängigkeit von der realen Körpermasse

Ergebnisse

Kurvenverlauf bei halblogarithmischer Auftragung

Bei Wassertemperaturen um 20 und 10°C besteht nach einer flachen konvex gekrümmten Anfangsphase (entsprechend dem postmortalen Temperaturplateau) eine im weiteren Verlauf lineare Beziehung zwischen $\ln(T - T_W)$ und t . Im Bereich nur noch geringer Differenztemperaturen (unter etwa 2°C) ist bei einer Reihe von Untersuchungen keine Linearität mehr vorhanden. Bei Wassertemperaturen um 0°C ist das Bild uneinheitlicher und prinzipiell abweichend. Die Untersuchungen, bei denen durch Zugabe von Eisstücken Konstanz der Wassertemperatur erreicht wurde (Nr. 06, 07, 09, 23, 29), weisen folgenden dreiphasigen Verlauf auf: Nach einer flach konvex gekrümmten Anfangsphase folgt eine lineare Phase. Sie wird jedoch im Bereich noch relativ hoher Differenztemperaturen, im Mittel bei 11,1 (± 1)°C Rektaltemperatur (Tabelle 1), verlassen und geht in einen deutlich flacheren konkaven Verlauf über (Beispiel in Abb. 1).

Vier der fünf Untersuchungen mit Zugabe von Schnee zum Wannenwasser (Nr. 15, 16, 17, 18) unterscheiden sich davon nur in der ersten Phase. Anstelle einer flach konvex gekrümmten Anfangsphase weisen die Kurven dieser Untersuchungen einen konkav gekrümmten sehr steilen Verlauf auf. Die Dauer dieser Phase beträgt um 3 h bei Nr. 16, 17 und 18 bzw. 6 h bei Nr. 16.

Die individuellen Werte des Anpassparameters B

In den Gruppen mit Wassertemperaturen um 20°C und um 10°C sind die Beträge für B_{indiv} sämtlich erheblich größer als die Erwartungswerte B_{Stand} für unbedeckte gleich schwere Leichen in ruhender Luft (vgl. die Säulen VII und V in Tabelle 2). Die aus B_{indiv} berechneten „virtuellen“ Körpermassen sind demzu-

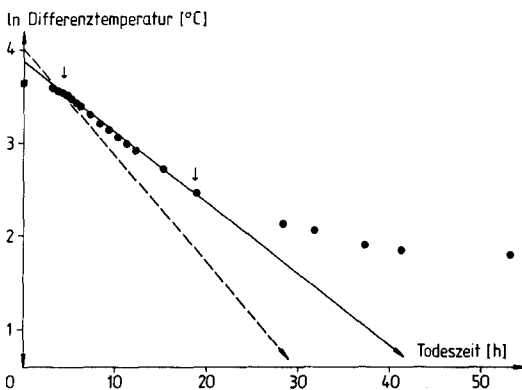


Abb. 1. $\ln(T - T_W)$ über t von Nr. 29 mit $T_W = 1,2^\circ\text{C}$. Punkte: Meßwerte. Durchgezogene Gerade: Aus den Wertepaaren zwischen 4,3 und 18,5 hpm berechnete Regressionsgerade, deren Steilheit $b_{yx} = B_{\text{indiv}} = -0,082$ einem Körpergewichtskorrekturfaktor f_{indiv} von 0,76 entspricht. $a_{yx} = 3,88$; $A = 1,3$. Unterbrochene Gerade: Nach der Mittelwertnorm aus den Untersuchungen in 20- und 10°C-Wasser konstruierte Gerade, deren Steilheit entsprechend einem Körpergewichtskorrekturfaktor von 0,5 dann $-0,115$ betragen sollte. $a_{yx} = 4$; $A = 1,47$

Tabelle 2

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Nr.	T_{exp}^a	T_{exp}^a	KM	B_{Stand}	T_W	B_{Indiv}	KM_B	f_{indiv}
01	3,0	36,2	065,0	-0,066	19,3	-0,128	28,9	0,445
20	2,1	36,5	068,0	-0,063	20,0	-0,107	36,5	0,536
21	4,3	35,9	059,5	-0,071	20,3	-0,137	26,6	0,447
22	3,2	36,3	084,5	-0,052	20,2	-0,091	44,6	0,528
24	2,1	37,4	108,5	-0,040	20,2	-0,074	57,4	0,529
25	4,0	35,2	100,5	-0,043	19,8	-0,082	50,5	0,502
27	2,8	35,8	097,5	-0,045	19,7	-0,084	49,0	0,503
28	3,7	35,4	077,5	-0,056	19,9	-0,113	34,1	0,439
30	2,5	36,3	071,5	-0,061	20,5	-0,111	35,0	0,489
\bar{x}								0,491
s								$\pm 0,036$
02	3,3	34,6	092,0	-0,048	09,8	-0,074	57,4	0,623
03	1,5	35,5	048,5	-0,085	09,8	-0,156	22,2	0,457
04	1,8	37,2	075	-0,058	10,0	-0,098	40,7	0,543
05	5,0	35,8	058,5	-0,063	09,9	-0,104	36,4	0,631
08	4,0	36,3	088,0	-0,050	10,2	-0,103	38,2	0,435
10	0,8	37,1	070,0	-0,062	10,2	-0,127	29,2	0,417
11	4,0	36,2	083,5	-0,052	10,0	-0,099	40,2	0,482
12	1,5	36,3	077,5	-0,056	08,3	-0,133	27,5	0,355
13	1,5	36,0	056,5	-0,075	10,0	-0,150	23,5	0,415
14	3,7	35,6	085,5	-0,051	09,1	-0,092	44,3	0,518
\bar{x}								0,488
s								$\pm 0,086$
06	2,0	35,3	044,2	-0,092	00,6	-0,140	25,8	0,583
07	2,5	37,5	075,5	-0,058	0,00	-0,071	60,3	0,798
09	1,8	37,2	083,5	-0,052	0,00	-0,079	52,9	0,633
15	2,8	36,7	095,5	-0,046	0,00	-0,044	99,7	1,040
16	1,5	37,5	079,0	-0,055	0,00	-0,092	44,0	0,557
17	4,2	34,5	080,0	-0,054	-00,1	-0,055	79,0	0,988
18	4,7	35,7	049,0	-0,084	-00,1	-0,121	31,3	0,638
19	3,7	36,3	069,5	-0,062	00,0	-0,073	57,6	0,828
23	5,3	34,6	058,0	-0,073	00,0	-0,090	44,9	0,775
29	3,3	36,3	066,5	-0,065	01,2	-0,082	50,6	0,761
\bar{x}								0,760
s								$\pm 0,155$

folge sämtlich erheblich geringer als die realen (vgl. Säulen VIII und IV in Tabelle 2). Die resultierenden individuellen Körpergewichtskorrekturfaktoren (Säule IX) liegen zwischen 0,355 und 0,623. Die Gruppenmittelwerte betragen für die Untersuchungen mit 20°C Wassertemperatur 0,491 und für die Gruppe mit 10°C Wassertemperatur 0,488 bei Standardabweichungen der Einzelwerte

um ihren Gruppenmittelwert von $\pm 0,036$ (20°C) und statistisch signifikant ($0,01$) größer von $\pm 0,086$ (10°C). Faßt man beide Gruppen zusammen, so ergibt sich ein gemeinsamer Mittelwert von $0,49$ ($\pm 0,067$).

In der Untersuchungsgruppe mit Wassertemperaturen um 0°C konnte B_{indiv} nur im mittleren linearen Kurvenanteil ermittelt werden (vgl. Abb. 1 und Tabelle 1). Es deutet sich ferner eine Unterteilung in drei Untergruppen an: Bei vier Fällen (Nr. 06, 09, 16 und 18) ist die Steilheit B_{indiv} erheblich größer, als für unbedeckte gleich schwere Leichen in ruhender Luft zu erwarten wäre, entsprechend Körpergewichtskorrekturfaktoren zwischen $0,557$ and $0,638$. Sie sind mit den diesbezüglichen Ergebnissen in 20°C - und 10°C -Wasser noch näherungsweise vergleichbar. Bei den Fällen Nr. 07, 19, 23 und 29 ist die Steilheit B_{indiv} im Vergleich zu Luftlagerung zwar noch deutlich größer; im Vergleich zu den vorgenannten Kollektiven nimmt er jedoch weiter ab, was sich in Körpergewichtskorrekturfaktoren zwischen $0,761$ und $0,828$ ausdrückt. Die Fälle Nr. 15 und 17 verhalten sich bezüglich der Steilheit B_{indiv} so, wie es von gleich schweren unbedeckten und in ruhender Luft gelagerten Leichen erwartet würde: Körpergewichtskorrekturfaktoren $1,04$ (Nr. 15) bzw. $0,99$ (Nr. 17). – Im Mittel liegt bei Wassertemperaturen um 0°C ein mittlerer Körpergewichtskorrekturfaktor von $0,76$ vor ($s = \pm 0,155$). Beide Werte unterscheiden sich statistisch signifikant von denen der zusammengefaßten Gruppe aus den Untersuchungen in Wassertemperaturen zwischen 20 und 10°C ($0,01$). Wie unter „Kurvenverlauf bei halblogarithmischer Auftragung“ ausgeführt, treffen die vorstehenden Aussagen zur Steilheit B bei Wassertemperaturen um 0°C nur bis zu Rektaltemperaturen um 11 (± 1) $^{\circ}\text{C}$ zu. Unterhalb dieser Temperatur wird die Steilheit bei allen Untersuchungen geringer und würde einen deutlich größeren Körpergewichtskorrekturfaktor als im Mittel $0,76$ erfordern.

Der Anpaßparameter A bei Wassersuspension

Aus den vorliegenden Abkühlkurven können zwar individuelle Werte für A ermittelt werden, doch sind diese nicht für „Wassersuspension von Todeseintritt an“ repräsentativ. Die zu ermittelnden individuellen Werte für A gleichen bei der Rückrechnung der Todeszeiten mit den für Wassersuspension zutreffenden

Tabelle 3. Abhängigkeit des A_{indiv} (bezogen auf $t_0, T_0 = 37,2$ und B_{indiv}) von der Zeitdauer zwischen Todeseintritt und Beginn der Wassersuspension (t_{exp}^a). Fälle mit Suspension in Wasser zwischen $8,3$ und $20,5^{\circ}\text{C}$. Gegenübergestellt sind jeweils die fünf Fälle mit der kürzesten bzw. längsten Zeitdauer

Fall Nr.	t_{exp}^a	A_{indiv}	Fall Nr.	t_{exp}^a	A_{indiv}
03	1,5	1,20	05	5,0	1,91
04	1,75	1,31	08	4,0	1,79
10	0,75	1,46	11	4,0	1,82
12	1,5	1,26	21	4,3	1,59
13	1,5	1,32	25	4,0	1,22
\bar{x}	1,4	1,31		4,27	1,65

Tabelle 5. Mittelwert dt (Standardabweichung s_{dt}) der Differenzen zwischen berechneten und realen Liegezeiten im Bereich $0,3 \leq Q < 1$ bei Rückrechnung der Zeiten auf den Zeitpunkt des Todeseintritts (a) bzw. des Meßbeginns (b) mit B entsprechend $0,5 \times$ Körpermasse (8,3 bis $20,5^\circ\text{C}$ Wassertemperatur) bzw. $0,75 \times$ Körpermasse ($-0,1$ bis $1,2^\circ\text{C}$ Wassertemperatur) und unterschiedlichen Werten für A . Ergänzung zu den Tabellen 4 bzw. 6

Suspension in Wasser zwischen $8,3$ und $20,5^\circ\text{C}$ (19 Leichen)			
(a)	Rückrechnung mit $A = 1,25$ $T_0; t_0$ (Todeseintritt)	$-1,7 (\pm 1,8)$	$dt(s) = 1,49$ $-0,5 (\pm 1,8)$
(b)	Rückrechnung mit $A = 1,25$ $T_{\text{exp}}^a; t_{\text{exp}}^a$ (Meßbeginn)	$+0,8 (\pm 0,9)$	$+0,1 (\pm 0,9)$ $= 1,15$
Suspension in Wasser zwischen $-0,1$ und $1,2^\circ\text{C}$ (10 Leichen)			
(a)	Rückrechnung mit $A = 1,25$ $T_0; t_0$ (Todeseintritt)	$+0,1 (\pm 2,0)$	$dt(s)$
(b)	Rückrechnung mit $A = 1,25$ $T_{\text{exp}}^a; t_0$ (Meßbeginn)	$+2,8 (\pm 1,7)$	$+0,7 (\pm 1,5)$ $= 1,04$

B -Werten (entsprechend gerundet $0,5$ bzw. $0,75 \times$ Körpermasse) vielmehr jenen systematischen Fehler des Untersuchungsablaufes aus, der darin besteht, daß die Leichen tatsächlich während der im Mittel ersten 3 h nach Todeseintritt nicht in Wasser suspendiert, sondern bekleidet und in Luft gelagert waren. So zeigen die individuellen Werte für A eine deutliche Abhängigkeit von der Dauer zwischen Todeseintritt und Beginn der Wassersuspension (gleichzeitig Meßbeginn), wie die Daten der Tabelle 3 zeigen. Die fünf Fälle aus den Gruppen 0 - und 10°C -Wasser mit den kürzesten Zeiten zwischen Todeseintritt und Beginn der Wassersuspension, im Mittel $1,4$ h, weisen statistisch signifikant niedrigere A -Werte auf, im Mittel $1,31$, als die Vergleichsgruppe mit den fünf längsten Zeiten, Mittelwert $4,3$ h, mittlerer A -Wert = $1,65$.

Welcher Normwert für A bei „Wassersuspension von Todeseintritt an“ zutreffend sein könnte, kann an vorliegendem Datenmaterial daher nur indirekt erschlossen werden (s. Diskussion).

Die Rückrechnung von Todeszeiten bzw.

die Rückrechnung von Zeiten seit Beginn der Wassersuspension (Meßbeginn)

Berechnet man die Todeszeiten mit dem für Suspension in Wasser um 10 und um 20°C gefundenen mittleren Körpergewichtskorrekturfaktor $0,5$ und dem von der Leichenabkühlung in Luft her bekannten Wert von $1,25$ für A (Henßge 1979, 1981), so ergeben sich systematisch zu niedrige Todeszeiten (Tabelle 4, Säule I), bis zu einem $Q \geq 0,3$ im Mittel um $-1,7 (\pm 1,8)$ h (Tabelle 5 oben, a). Bei einer Erhöhung von A auf $1,49$ nimmt der systematische Fehler ab (Tabelle 4, Säule II), im Mittel auf $-0,5 (\pm 1,8)$ h (Tabelle 5 oben, a und Abb. 2). Berechnet man die Liegezeiten ab Beginn der Wassersuspension (Meßbeginn) mit $A = 1,25$, so ergeben sich demgegenüber systematisch zu hohe Liegezeiten (Tabelle 4, Säule III), im Mittel um $+0,8 (\pm 0,9)$ h (Tabelle 5 oben, b). Hier führt eine Erniedri-

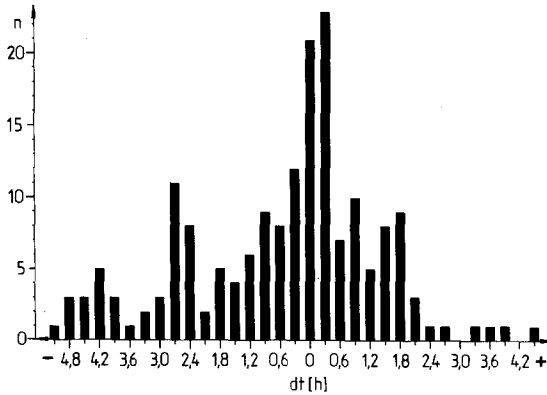


Abb. 2. Verteilung der Einzelabweichungen zwischen berechneten und realen Todeszeiten bei Rückrechnung auf den Zeitpunkt des Todesintritts. B entsprechend $0,5 \times$ Körpermasse; $A = 1,49$; $0,3 \leq Q < 1,0$. Untersuchungen an 19 Leichen bei Wassertemperaturen zwischen $8,3$ und $20,5^\circ\text{C}$ mit gesamt 175 Meßpunkten (vgl. Tabellen 4 und 5 sowie Abb. 3)

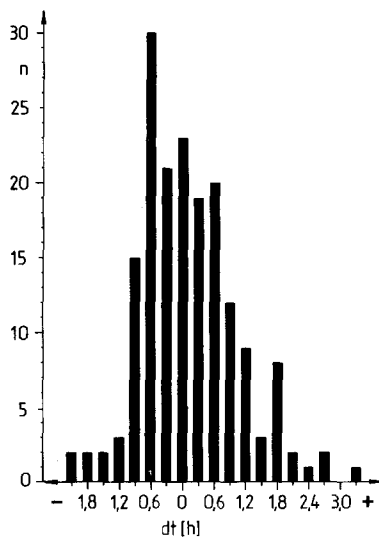


Abb. 3. Verteilung der Einzelabweichungen zwischen berechneten und realen Liegezeiten bei Rückrechnung auf den Zeitpunkt des Meßbeginns (Beginn der Wassersuspension). B entsprechend $0,5 \times$ Körpermasse; $A = 1,15$; $0,3 \leq Q < 1,0$. Untersuchungen an 19 Leichen bei Wassertemperaturen zwischen $8,3$ und $20,5^\circ\text{C}$ mit gesamt 175 Meßpunkten (vgl. Tabellen 4 und 5 sowie Abb. 2)

gung des A -Wertes auf $1,15$ zur praktischen Beseitigung des systematischen Fehlers (Tabelle 4, Säule IV, und Tabelle 5 oben, b, und Abb. 3).

Eine Berechnung der Todeszeiten mit dem für Suspension in Wasser um 0°C gefundenen mittleren Körpergewichtskorrekturfaktor von gerundet $0,75$ und einem $A = 1,25$ ergibt über Q anfangs zu kurze, später zu lange Zeiten (Tabelle 6, Säule I), im Mittel bis $Q \geq 0,3$ jedoch praktisch keinen systematischen Fehler ($dt = +0,1$ h) (Tabelle 5 unten). Eine empirische Veränderung des A -Wertes erübrigt sich hier. Die Berechnung der Liegezeiten ab Beginn der Wassersuspension (Meßbeginn) mit $A = 1,25$ führt zu einer über Q zunehmenden systematischen Überschätzung der Zeiten (Tabelle 6, Säule II), die bis $Q \geq 0,3$, im Mittel $2,8 (\pm 1,7)$ h beträgt. Durch empirische Verkleinerung von A auf $1,04$ kann die-

Tabelle 6. Mittelwert der Differenzen zwischen berechneten und realen Liegezeiten (dt), Standardabweichung (s_{dt}) und Anzahl der Meßpunkte (n) für Klassen der normierten Temperatur (Q) bei Rückrechnung auf den Zeitpunkt des Todeseintritts bzw. des Meßbeginns mit B entsprechend $0,75 \times$ Körpermasse und zwei verschiedenen Werten für A . Untersuchungen der 10 Leichen mit Suspension in Wasser zwischen $-0,1$ und $1,2^\circ\text{C}$

Q	t_0 (Todeseintritt) $T_0 = 37,2^\circ\text{C}$			$T_{\text{exp}}^a; t_{\text{exp}}^a$ (Meßbeginn)					
	$A = 1,25 \quad - \text{I} -$			$A = 1,25 \quad - \text{II} -$			$A = 1,04 \quad - \text{III} -$		
	dt	s_{dt}	n	dt	s_{dt}	n	dt	s_{dt}	n
$0,9 \leq Q < 1,0$	-1,57	$\pm 1,75$	14	0,88	$\pm 0,38$	11	-0,16	$\pm 0,4$	11
$0,8 \leq Q < 0,9$	-0,69	$\pm 1,14$	11	1,66	$\pm 0,90$	13	0,04	$\pm 0,8$	13
$0,7 \leq Q < 0,8$	-0,24	$\pm 1,51$	11	2,53	$\pm 1,48$	12	0,45	$\pm 1,4$	12
$0,6 \leq Q < 0,7$	-0,19	$\pm 1,97$	15	3,22	$\pm 1,71$	16	0,98	$\pm 1,6$	16
$0,5 \leq Q < 0,6$	0,76	$\pm 2,27$	21	3,33	$\pm 1,75$	21	1,01	$\pm 1,6$	21
$0,4 \leq Q < 0,5$	0,87	$\pm 2,27$	17	3,40	$\pm 1,82$	28	0,98	$\pm 1,7$	28
$0,3 \leq Q < 0,4$	1,13	$\pm 3,05$	16	3,07	$\pm 2,22$	25	0,78	$\pm 2,2$	25
$0,2 \leq Q < 0,3$	0,12	$\pm 2,75$	21	0,70	$\pm 2,92$	24	-0,11	$\pm 2,6$	15
$0,1 \leq Q < 0,2$	-2,15	$\pm 2,56$	6	-2,64	$\pm 1,94$	7	-1,5	$\pm 0,9$	2

ser systematische Fehler deutlich vermindert werden (Tabelle 6, Säule III), im Mittel auf $+0,7 (\pm 1,5)$ h (Tabelle 5 unten, b). Es ist zu betonen, daß dieses empirische Ausprobieren „passender“ A -Werte zunächst keinen unmittelbaren Wert für die praktische Anwendung auf aktuelle Fälle aus dem Wasser geborgener Leichen besitzt, sondern zum Zwecke indirekter Schlußfolgerungen hinsichtlich des für „Wassersuspension von Todeseintritt an“ in Frage kommenden Wertes für A durchgeführt wurde (s. Diskussion).

Diskussion

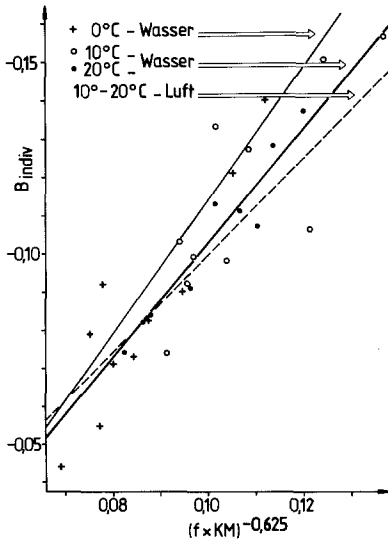
Zum Anpaßparameter B bei Wassersuspension

Das Ergebnis eines statistisch signifikanten Unterschiedes der mittleren Körpergewichtskorrekturfaktoren zwischen 20°C - bzw. 10°C -Wassertemperatur-Gruppe einerseits und 0°C -Gruppe andererseits bedeutet eine Temperaturabhängigkeit des Abkühlkoeffizienten B , dem bisher immer Temperaturunabhängigkeit unterstellt wurde (De Saram et al. 1955; Sellier 1958, 1960; Marshall und Hoare 1962; Marshall 1962a, 1965, 1969; Brown und Marshall 1974; Henßge 1979, 1981). Die zusätzliche Beobachtung einer Abflachung der Abkühlkurven (halb-logarithmische Auftragung) unterhalb einer Rektaltemperatur von etwa 11°C bei den Untersuchungen in 0°C -Wasser bestärkt diese Aussage und spricht dafür, daß der Abkühlkoeffizient B von der Leichengewebstemperatur abhängig ist. Eine solche Temperaturabhängigkeit von B bei sonst gleichen Abkühlungsbedingungen wäre für die Normierung der Leichenabkühlung zum Zwecke der Todeszeitbestimmung von ganz wesentlicher Bedeutung und hätte darüberhin-

aus sogar Bedeutung für die Physiologie der Wärmeregulation in kalter Umgebung. Es wird deshalb für notwendig erachtet, dieses Ergebnis auf seine Stichhaltigkeit näher zu untersuchen.

Zunächst werden die Beziehungen zwischen (mittlerem Körpergewichtskorrekturfaktor \times Körpermasse)^{-0,625} und „ B_{indiv} “ der drei Wassertemperaturgruppen gegeneinander und mit der entsprechenden Beziehung von unbedeckten Leichen in Luft (Henßge 1979) verglichen (Abb. 4).

Die Regressionen der 20°C- und der 10°C-Gruppe unterscheiden sich bezüglich der Reststreuung signifikant (0,01) voneinander. Bei der 10°C-Gruppe ist die Reststreuung fast dreimal



Abkühlung in von	Wasser			Luft
	20°C	10° c	0°C	10...20°C
Symbol	●	○	+	Keine Einzelwerte
Korrekturfaktor	0,5		0,75	1,0
Regression				
b_{yx}	-1,586	(=)	-1,4103	
		-1,489	← (0,01) →	-1,9050 ← (0,01) → -1,2815
a_{yx}	0,0567		0,0376	
		0,0465		0,0798
				0,0284
s_{yx}	0,0058	(0,01)	0,0161	
		0,0120	(=)	0,0118 ← (0,01) → 0,0027
r	0,929		0,798	
		0,869		0,913
				0,980

Abb. 4. Abhängigkeit zwischen experimentell ermittelten Werten für B_{indiv} und mittelwertskorrigierter Körpermasse in der Potenz $-0,625$ für die Leichenkollektive mit Abkühlung in 20- bzw. 10°C-Wasser, 0°C-Wasser und 10...20°C-Luft (Henßge 1979)

größer als bei der 20°C-Gruppe. Die Ursache dafür ist nicht erkennbar. Zu vermuten ist ein verborgener Einflußfaktor, dessen Gewicht bei den Untersuchungen in Wasser um 20°C gering und in Wasser um 10°C größer ist und dort Inhomogenitäten der betrachteten Beziehung verursacht. Die beiden Regressionskoeffizienten sind statistisch als gleich anzunehmen. Die gemeinsame Regression der Werte in Wasser um 20 und 10°C unterscheidet sich von der in Wasser um 0°C bezüglich des Regressionskoeffizienten statistisch signifikant (0,01). Der Regressionskoeffizient der 0°C-Gruppe ist größer. Die Reststreuungen beider Gruppierungen können als gleich groß angenommen werden.

Im Vergleich zur entsprechenden Regression von unbedeckten Leichen in ruhender Luft (Henßge 1979), wobei Untersuchungen in Lufttemperaturen zwischen 9 und 17°C zugrunde lagen, ergeben sich Anstiege der Regressionskoeffizienten von Luft zu Wasser von 20 und 10°C, zu Wasser von 0°C sowie Anstiege der Reststreuungen von Luft zu Wasser um 20°C und zu Wasser zwischen 10 und 0°C. Die Zunahme des Regressionskoeffizienten besagt formal, daß der Einfluß der Körpermasse auf die tatsächlich beobachtete Steilheit B_{indiv} der Abkühlkurven von Luft zu Wasser und von Wasser zwischen 20 und 10°C zu Wasser um 0°C zunimmt.

Da die Potenz $-0,625$ der gesamten Körpermasse als empirischer Ausdruck für die Relation von Oberfläche zu Masse der unteren Rumpfhälfte¹ angesehen werden kann, sich daran aber beim Übergang von Luft zu Wasser und in Abhängigkeit von der Wassertemperatur nichts ändert, könnte als Erklärung eine Veränderung der Relation von Wärmeübergangszahl zu spezifischer Wärme² diskutiert werden.

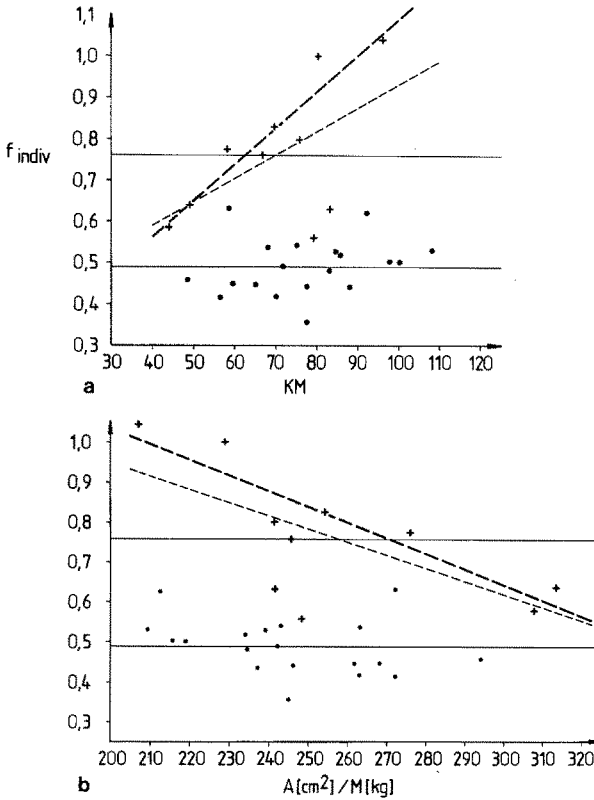
Daß sich diese Relation bei Übergang von Luft zu Wasser verändert, ist zu erwarten und sollte im wesentlichen durch einen einheitlichen Körpergewichtskorrekturfaktor für Suspension im Abkühlungsmedium Wasser gegenüber Luft ausgeglichen werden können. Eine Veränderung des mittleren Körpergewichtskorrekturfaktors wie auch die zusätzliche Veränderung des Regressionskoeffizienten der o. g. Beziehung von korrigierter Körpermasse zu B_{indiv} mit veränderter Wassertemperatur (von 20 auf 0°C) ist hingegen überraschend und würde eine Veränderung der Relation von Wärmeübergangszahl zu spezifischer Wärme bei Erniedrigung der Wassertemperatur auf 0°C bedeuten. Hierzu ist anzumerken, daß die zitierte Norm für Luftlagerung „ B_{Stand} (1) durch Untersuchungen in Lufttemperaturen um 0°C bisher nicht geprüft wurde. Die mit sinkender Temperatur bekannte Abnahme der Wärmeleitfähigkeit des Wassers bei Zunahme der spezifischen Wärme und resultierende Abnahme der Wärmeleitzahl ist für eine Erklärung dieses Phänomens unzureichend.

Weiteren Aufschluß können die Darstellungen von f_{indiv} über Körpermasse (Abb. 5a) bzw. über dem Verhältnis von Körperoberfläche (θ) zu Körpermasse (KM), analog zum „size factor“ De Saram's (Abb. 5b) geben.

Bei Wassertemperaturen um 10 und um 20°C ist eine eindeutige Abhängigkeit des f_{indiv} weder von der Körpermasse noch vom Quotienten Körperoberfläche zu Körpermasse zu erkennen, die Korrelations- und Regressionskoeffizienten sind statistisch von Null nicht zu unterscheiden. f_{indiv} ist von der Körpermasse bzw. dem Verhältnis von Körperoberfläche zu Körpermasse unabhängig. Diese Stichprobe erfüllt somit die entscheidende Voraussetzung zur sinnvollen Anwendung des Prinzips der Körpergewichtskorrekturfaktoren. Bei Wassertemperaturen um 0°C ist hingegen eine Abhängigkeit der individuellen Körpergewichtskorrekturfaktoren von der Körpermasse bzw. dem Verhältnis von Körperoberfläche zu Körpermasse zu erkennen: Leichen mit hoher Körpermasse bzw. mit kleiner Körperoberfläche im Verhältnis zu ihrer Körpermasse (gleichbedeutend mit Fettleibigkeit) kühlen in Wassertemperaturen um 0°C mit relativ geringerer Geschwindigkeit ab als in Wassertemperaturen um 10 und um 20°C. Ihre umgebungstemperaturbezogene Abkühlgeschwindigkeit läßt sich eher in die Norm für Lagerung in Luft im Umgebungstemperaturbereich 9 bis 17°C einordnen (keine Körpergewichtskor-

1 Nach der alten Mechschen Formel entspricht die Körperoberfläche des ganzen Körpers der dritten Wurzel aus Körpermasse zum Quadrat, d. h., Körpermasse in der Potenz 0,67. In Anbetracht der rektalen Temperaturmessung und des überwiegend radialen Temperaturgefälles ist aber das Verhältnis von Oberfläche zu Masse der unteren Rumpfhälfte maßgeblich.

2 B ist im Abkühlungsgesetz von Newton definiert als Oberfläche \times heat transfer coefficient/ Masse \times spezifische Wärme.



	10 + 20°C-Wasser		0°C-Wasser			
	KM	0/ KM	KM	Ohne Nr. 9 u. 16	0/ KM	Ohne Nr. 9 u. 16
b_{yx}	0,001	-0,0009	0,0057	0,0089	-0,0033	-0,0039
a_{yx}	0,141	0,7123	0,3633	0,2069	1,6100	1,8100
r	0,234	0,302	0,551	0,948	0,670	0,921
n	19	19	10	8	10	8
Von Null versch.	-	-	+10%	+1%	+10%	+1%

Abb. 5a, b. Orientierung hinsichtlich einer evtl. Abhängigkeit des f_{indiv} von der Körpermasse (a) bzw. vom Verhältnis Körperoberfläche zu Körpermasse (b) für die Untersuchungen in Wassertemperaturen zwischen 8,3 und 20,5°C (Punkte) bzw. -0,1 und 1,2°C (Kreuze). Die Körperoberfläche wurde nach Du Bois (1916) berechnet

rektur). Leichen mit geringer Körpermasse bzw. großer Körperoberfläche in Relation zu ihrer Körpermasse (gleichbedeutend mit Schlankheit) kühlen dagegen in Wassertemperaturen zwischen 0 und 20°C ungefähr mit gleichbleibender temperaturbezogener Geschwindigkeit ab, die gegenüber Luftlagerung deutlich höher ist und durch den Körpergewichtskorrekturfaktor von im Mittel 0,5 gegenüber der Norm in Luftlagerung quantitativ (ohne systematischen Fehler) beschrieben werden kann.

Alle vorstehend angestellten Betrachtungen können durch eine einzige Hypothese erklärt werden: Das subkutane Fettgewebe ändert seine Wärmeleitfähigkeit in Abhängigkeit von der

Gewebstemperatur und verändert damit den Wärmeübergang bzw. den Wärmedurchgang von der Körperoberfläche zum umgebenden Medium bzw. durch die subkutane Fettgewebsplatte; diese Änderung entspricht einer Abnahme mit sinkender Gewebstemperatur, offenbar in nichtlinearer Weise; in einem Gewebstemperaturbereich zwischen 10 und 0°C erfolgt sie mit großer Steilheit. Jedenfalls scheint nur ein Oberflächen- bzw. Hüllschicht-Phänomen in Betracht zu kommen, kaum eine Veränderung thermischer Eigenschaften des ganzen Körpers. Zum einen, weil das „Zentrum“ erst viel später, gegen Ende des Temperaturausgleichs auf das Temperaturniveau des umgebenden Mediums abkühlt, das beobachtete unterschiedliche Abkühlverhalten in 0°C-Wasser aber bereits früher auftritt. Zum anderen weil bekanntlich die für die Abkühlzeit eines Körpers physikalisch maßgebliche Kenngröße „Temperaturleitzahl“ (Wärmeleitfähigkeit/Dichte \times spez. Wärme) für vergleichsweise Fettgewebe und Muskulatur nur wenig unterschiedlich sind (vgl. Sellier 1958, 1960).

Die Hypothese einer Abnahme der Wärmeleitfähigkeit, insbesondere des subkutanen Fettgewebes mit abnehmender Gewebstemperatur in beschriebener linearer Weise und im abgeleiteten Ausmaß, würde eine sehr wirksame Unterstützung der physiologischen vasomotorischen Regulation durch eine gleichgerichtete Veränderung der spezifischen thermischen Stoffeigenschaften des für die Wärmedämmung in Kälte „vorgesehenen“ subkutanen Fettgewebes darstellen und zwar in einem Temperaturbereich, in dem die vasomotorische Regulation bereits an ihre Grenzen stößt. Über strukturelle Veränderungen des subkutanen Fettgewebes bei Kälteakklimatisation ist von physiologischer Seite berichtet worden (z.B. Meffered et al. 1958; Patkins und Masoro 1961). Hinsichtlich einer Veränderung der Wärmeleitfähigkeit exzidiertes Körpergewebe in Abhängigkeit von der Gewebstemperatur haben wir bisher keine Literaturangaben finden können. Die Hypothese kann selbstverständlich nur durch derartige Untersuchungen geprüft werden.

Im Falle ihrer Bestätigung würden wohl manche, zumindest quantitativ noch nicht hinreichend aufgeklärte Beobachtungen zur Wärmeregulation in Kälte eine vollständige Aufklärung finden. Beispielsweise die sehr stark differierenden Überlebenszeiten Schiffbrüchiger in kaltem Wasser in Abhängigkeit von ihrer Fettleibigkeit oder auch die erhöhte Kältetoleranz arktischer Lebewesen (Burton und Edholm 1955). Die Beobachtung eines enormen Temperaturgradienten durch die Haut, deren periphere Schichten um 35°C kühler als die Kerntemperatur sind, bei Robben und nackthäutigen Säugern in kaltem Wasser (Irving und Hart 1957) korrespondiert gut mit dem Bestandteil der o.g. Hypothese, wonach im Temperaturbereich um 0°C die vermuteten Veränderungen der thermischen Eigenschaften des subkutanen Fettgewebes besonders ausgeprägt sein müßten.

Eine kritische Betrachtung der bei den vorliegenden Untersuchungen angewandten Methodik der Wassersuspension in einem begrenzten Wasservolumen, der zur Aufrechterhaltung einer konstanten Wassertemperatur ergriffenen Maßnahmen und des Ortes der Wassertemperaturmessungen innerhalb der Wanne, läßt eine potentielle Fehlerquelle nicht vollkommen ausschließen: Wegen der maximalen Dichte von Wasser bei +4°C könnte das an der Leichenoberfläche erwärmende Wasser nach unten gesunken sein und sich dort in wachsender Schichtdicke angesammelt haben. Durch die mit der Zugabe von Eis (Schnee) erzeugte Zwangskonvektion ist dem entgegengewirkt worden, zumal die Dichteunterschiede des Wassers im interessierenden Temperaturbereich (0 bis 8°C) nur sehr gering sind. Calorische Überschlagsberechnungen der Wärmeübertragung zwischen Leiche, Wannenwasser und zugegebenen Eis-(Schnee-)Mengen lassen es sehr unwahrscheinlich erscheinen, daß die genannte potentielle Fehlerquelle in stärkerem Maße aufgetreten ist. Sie könnte als Teilursache von geringem Gewicht zur Erklärung des unterschiedlichen Abkühlverhaltens der Leichen in 20- bzw. 10°C und 0°C allenfalls beitragen, das ganze Ausmaß des Unterschiedes jedenfalls nicht erklären. Alle hier angestellten Überlegungen sind indirekter Art. Eine zweifelsfreie Erklärung für das unterschiedliche Abkühlverhalten der Leichen zwischen 20- bzw. 10°C- und 0°C-Gruppe ist mit dem vorliegenden Datenmaterial noch nicht möglich.

Unabhängig von der vorstehenden Diskussion bleibt für die Abkühlung unbedeckter Leichen in ruhendem, allenfalls diskontinuierlich geringfügig bewegtem Wasser um 20 und um 10°C festzustellen, daß der Anpaßparameter B

über die durch einen Faktor von 0,5 korrigierte Körpermasse nach der von Luftlagerung her bekannten Normierung ausreichend genau ermittelt werden kann.

Der Körpergewichtskorrekturfaktor 0,5 besagt in Näherung: Unbekleidete Leichen kühlen in fast ruhendem Wasser doppelt so schnell aus als in ruhender Luft gleicher Temperatur.

Behandelt man den von Brown und Marshall 1974 durch eine Serie von vier Exponentialausdrücken mathematisch dargestellten Fall einer in fließendem Wasser (5 m/h) nicht genannter Temperatur suspendierten sehr schlanken Leiche vom size factor $320 \text{ cm}^2/\text{kg}$ mit dem hier benutzten Verfahren, so ergibt sich ein Körpergewichtskorrekturfaktor von etwa 0,35. Er läßt sich, da es sich um fließendes Wasser gehandelt hat und die Zwangskonvektion ohne Zweifel auch bei Wassersuspension zu einer deutlichen Beschleunigung der Abkühlung führen dürfte, mit unseren in eher ruhendem Wasser gewonnenen Ergebnissen durchaus in Übereinstimmung bringen.

Die Physiologie der Wärmeregulation des Menschen geht von einem 3fach höheren Wärmeverlust in Wasser gegenüber Luft aus. Die rund 25fach höhere Wärmeleitfähigkeit des Wassers werde durch den Wärmewiderstand der Haut begrenzt (Rein und Schneider 1971). Auch bei Minimaldurchblutung der Haut und funktioneller Verdickung der Schale wird dennoch auf konvektivem Wege Wärme vom Kern zur Oberfläche transportiert. Konvektiver Wärmetransport zwischen Zentrum und Oberfläche ist bei Leichen vollkommen auszuschließen. Unter Ausklammerung der für Wassertemperaturen um 0°C diskutierten Besonderheiten können die Unterschiede der intravitalen und postmortalen Erfahrungswerte zumindest nach der Größenordnung damit erklärt werden. Die Feststellung eines Körpergewichtskorrekturfaktors von 0,75 für in Wasser um 0°C suspendierte Leichen kann mit den vorliegenden Untersuchungen nicht als zweifelsfrei gültig betrachtet werden. Selbst wenn sie sich durch weitere Untersuchungen mit insbesondere hinsichtlich der Wassertemperaturmessung verbesserter Methodik bestätigen lassen sollte, müßte diese Normierung in zwei Richtungen ergänzt werden. Erstens um die aus der Abb. 5a hervorgehende zusätzliche Abhängigkeit des Korrekturfaktors von der Körpermasse, und zweitens müßte die noch geringere Abkühlteilheit unterhalb einer Rektaltemperatur von etwa 11°C berücksichtigt werden.

Zum Anpaßparameter A bei Wassersuspension

Das Entfernen der Bekleidung und die Suspension der Leichen in Wasser, zugleich Beginn der Temperaturmessungen, erfolgten im Mittel $3 (0,75 \dots 5,25)$ hpm, während dieser Zeitspanne zwischen Todeseintritt und Beginn der Wassersuspension waren die Leichen bekleidet und in Luft gelagert. Dieser Umstand macht eine *exakte* Aussage zur Dauer des postmortalen Temperaturplateaus bzw. seiner Maßzahl „A“ für „Wassersuspension von Todeseintritt an“ unmöglich. Berechnet man am vorliegenden Kurvenmaterial A mit Bezug auf den Zeitpunkt des Todeseintrittes, dabei unterstellter Rektaltemperatur von $37,2^\circ\text{C}$ und mit Bezug auf die während Wassersuspension ermittelte Steilheit B der Abkühlkurven, so erhält man einen deutlich höheren A-Wert (für 10°C - und 20°C -Wasser: 1,49), als er für „Wassersuspension von Todeseintritt an“ zutreffend wäre, weil

die Steilheit der Kurve während der ersten 3 h post mortem tatsächlich wesentlich geringer gewesen ist (vgl. Formeln 6 und 7). Der für „Wassersuspension von Todeseintritt an“ zutreffende A -Wert muß deshalb deutlich niedriger sein als 1,49. Eine Berechnung von A am vorliegenden Kurvenmaterial (10- und 20°C-Wasser) mit Bezug auf den Zeitpunkt des Meßbeginns, zugleich Zeitpunkt des Beginns der Wassersuspension, der zu diesem Zeitpunkt gemessenen Rektaltemperatur (= Starttemperatur der Abkühlung bei Wassersuspension) und mit Bezug auf die während der Wassersuspension ermittelte Steilheit B , ergibt auch nicht den für „Wassersuspension von Todeseintritt an“ typischen A -Wert, sondern einen nunmehr zu niedrigen Wert (1,15): während der vorangehenden, im Mittel dreistündigen Phase einer Lagerung der bekleideten Leiche in Luft hat die Ausbildung eines Temperaturgefälles zwischen Körperoberfläche und Zentrum zumindest begonnen. Der A -Wert von 1,15 repräsentiert die Fortsetzung der Ausbildung des Temperaturgefälles unter den veränderten Abkühlungsbedingungen.

Mit diesen Überlegungen übereinstimmend ergeben die Rückrechnungen der vorliegenden Abkühlkurven (10- und 20°C-Wasser) mit einem B -Wert entsprechend $0,5 \times$ Körpermasse auf den Zeitpunkt des Todeseintritts bei Verwendung eines A -Wertes von 1,49 nur geringe systematische Abweichungen von der realen Todeszeit (im Mittel $-0,5$ h, Abb. 2), bei Verwendung des Luft-Standards für A (1,25) systematisch zu geringe berechnete Zeiten (im Mittel $-1,7$ h), wie die Daten der Tabellen 4 und 5 ausweisen. Eine Rückrechnung auf den Zeitpunkt des Beginns der Wassersuspension ergibt erwartungsgemäß praktisch keinen systematischen Fehler (im Mittel $+0,1$) bei Verwendung eines A -Wertes von 1,15 (Abb. 3) und einen systematischen Fehler in Richtung zu langer berechneter Zeiten (im Mittel $+0,8$) bei Verwendung eines A -Wertes von 1,25. Man kann aus diesen Zahlen den Schluß ziehen, daß der für „Wassersuspension von Todeseintritt an“ zutreffende A -Wert dichter an 1,15 liegt als an 1,49. Ähnliches gilt für eine Betrachtung der Abweichungen berechneter Zeiten bei den Fällen mit 0°C-Wassersuspension (Tabellen 5 und 6), wenn man berücksichtigt, daß die Steilheit B der Abkühlkurven während Wassersuspension bei einem mittleren Körpergewichtskorrekturfaktor von 0,75 dichter an der Luft-Norm liegt als bei den Fällen mit 10- und 20°C-Wassersuspension.

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchungen kann indirekt geschlußfolgert werden, daß der bei Luftabkühlung gefundene Wert von $A = 1,25$ (Henße 1979) auch für die Abkühlung mit „Wassersuspension von Todeseintritt an“ zutreffend sein könnte. Diese indirekte Schlußfolgerung geht auch aus den Daten der Tabelle 3 (Untersuchungen in 10- und 20°C-Wasser) hervor. Unter den 29 Fällen befindet sich leider nur ein Fall, der bereits 45 min nach Todeseintritt zur Untersuchung gelangte (Nr. 10). Seine Meßwerte sind in Abb. 6 sowohl einer für Luftlagerung berechneten Kurve als auch einer entsprechend der vorzuschlagenden Norm für „Suspension in Wasser zwischen 10 und 20°C von Todeseintritt an“ berechneten Kurve gegenübergestellt. Die Normkurve für Wasser weicht in der Zeitachse anfangs bis $-0,8$ h von der Meßkurve ab. Bis zu einer normierten Temperatur ($Q \geq 0,3$ (um die 13. hpm) sind die nachfolgenden Abweichungen geringer.

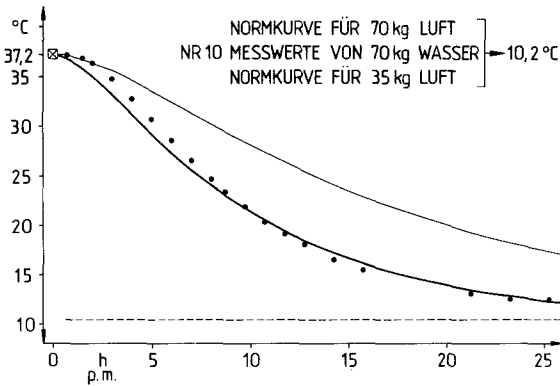


Abb. 6. Meßwerte von Nr. 10. Mittlere Wassertemperatur = 10,2°C; Zeit zwischen Todesertritt und Beginn der Wassersuspension (Meßbeginn) = 0,75 h; Körpermasse = 70 kg. Berechnete Kurven: Obere Kurve entsprechend dem Standard für Luftlagerung: $B = 0,0284 - 1,2815 \times (70^{-0,625})$; $A = 1,25$. Untere Kurve entsprechend der vorgeschlagenen Norm für „Suspension in Wasser zwischen 8,3 und 20,5°C von Todesertritt an“. $B = 0,0284 - 1,2815 \times ((0,5 \times 70 \text{ kg})^{-0,625})$; $A = 1,25$

Tabelle 7. Todeszeiten bei Q -Werten von 0,5 bzw. 0,3. Berechnungen für zwei Leichen mit realer Körpermasse von 110 bzw. 44 kg mit B -Werten entsprechend Körpergewichtskorrekturfaktoren von 0,5 bzw. 0,75 sowie einem $A = 1,25$

Reale KM (kg)	Korrigierte KM (kg)	$Q = 0,5$ (hpm)	$Q = 0,3$ (hpm)	
110	55	12	18,7	$f = 0,5$
44	22	5,8	9,1	
110	82,5	17,3	27	$f = 0,75$
44	33	7,9	12,4	

Zur mutmaßlichen Präzision von Todeszeitberechnungen bei Suspension in Wasser von 10 bis 20°C von Todesertritt an

Unabhängig vom systematischen mittleren Fehler berechneter Zeiten (dt), der durch die endgültige Ermittlung des für Wassersuspension von Todesertritt an zutreffenden A -Wertes (vermutlich 1,25) zu eliminieren ist, sind die Standardabweichungen der Einzelwerte um ihre gemeinsamen Mittelwerte bei den durchgeführten verschiedenen Zeitrückrechnungen (Tabellen 4, 5 und 6) einigermaßen homogen. Bei den Rückrechnungen auf den Zeitpunkt des Meßbeginns für die Untersuchungen in Wasser um 10 und um 20°C betragen sie im Mittel bis $Q \geq 0,3 = \pm 0,9$ h und bei Rückrechnungen auf den Zeitpunkt des Todesertritts im Mittel $= \pm 1,8$ h. Aus bereits diskutierten Gründen ist der erstgenannte Wert als Erwartung einer mutmaßlichen Präzision von Todeszeitberechnungen bei „Wassersuspension von Todesertritt an“ zu niedrig, der zweitgenannte Wert zu hoch. Die Annahme eines Wertes von $\pm 1,5$ h scheint gerechtfertigt. Er würde bedeuten, daß Todeszeitberechnungen an unbedeckten Leichen, die von

Todeseintritt an in nahezu ruhendem Wasser zwischen rund 10 und 20°C suspendiert waren, innerhalb der 95%-Toleranzgrenzen von etwa ± 3 h um den realen Todeszeitpunkt bis zu einem Grenzwert $Q \geq 0,3$ erwartet werden können, wenn die Körpermasse mit dem Faktor 0,5 korrigiert und im übrigen die von Luftlagerung her bekannten Normierungen (Henßge 1979) zur Todeszeitberechnung bzw. die Todeszeit-Temperatur-Bezugsnomogramme (Henßge 1981) verwendet werden.

Diese vermutliche Präzision liegt in der gleichen Größenordnung, wie sie bei Todeszeitrückrechnungen an bekleideten und bedeckten Leichen in Luft (Henßge 1981) ermittelt wurde.

Nachtrag bei der Korrektur

Bei zwei weiteren Untersuchungen in Wasser von 0°C wurde ein Temperaturprofil des Wannenwassers aufgenommen: das Wasser der unteren Wannenhälfte erwärmte sich im Verlaufe der Leichenabkühlung geringgradig. Auch mit Berücksichtigung der geringgradig höheren Wassertemperatur unter der Leichenrückseite blieb das Phänomen der Leichenabkühlung mit geringerer Steilheit bei Suspension in 0°C-Wasser gegenüber einer Abkühlung in Wasser um 10 bis 20°C bestehen.

Literatur

- Brown A, Marshall TK (1974) Body temperature as a means of estimating the time of death. *Forensic Sci Int* 4: 125–133
- Burton AC, Edholm OG (1955) *Man in a cold environment*. Arnold, London
- De Saram GSW, et al (1955) Post-mortem temperature and the time of death. *J Crim Law Criminol* 46: 562–577
- Du Bois (1916) *Arch Intern Med* 17: 863
- Henßge C (1979) Die Präzision von Todeszeitschätzungen durch die mathematische Beschreibung der rektalen Leichenabkühlung. *Z Rechtsmed* 83: 49–67
- Henßge C (1981) Todeszeitschätzungen durch die mathematische Beschreibung der rektalen Leichenabkühlung unter verschiedenen Abkühlungsbedingungen. *Z Rechtsmed* 87: 147–178
- Irving L, Hart JS (1957) The metabolism and insulation of seals and bare-skinned mammals in cold water. *Can J Zool* 35: 497–511
- Marshall TK (1962a) Estimating the time of death. The use of the cooling formula in the study of post mortem body cooling. *J Forensic Sci* 7: 189–210
- Marshall TK (1962b) Estimating the time of death. The use of body temperature in estimating the time of death. *J Forensic Sci* 7: 211–221
- Marshall TK (1965) Temperature methods of estimating the time of death. *Med Sci Law* 5: 225–232
- Marshall TK (1969) The use of body temperature in estimating the time of death and its limitations. *Med Sci Law* 9: 178–182
- Marshall TK, Hoare FE (1962) Estimating the time of death. The rectal cooling after death and its mathematical expression. *J Forensic Sci* 7: 56–81
- Meffered RB, Nyman MA, Webster WW (1958) Whole body lipid metabolism of rats after chronic exposure to adverse environment. *Am J Physiol* 195: 744–746
- Mueller B (1937) Mastdarmtemperatur der Leiche und Todeszeit. *Dtsch Z Ges Gerichtl Med* 28: 172

- Patkins JK, Masoro EJ (1961) Effects of cold acclimation on lipid metabolism in adipose tissue. *Am J Physiol* 200: 847–850
- Reimann W (1968) Über den Auskühlmodus der Leiche. *Beitr Gerichtl Med* 24: 57–62
- Schwarz F, Heidenwolf H (1953) Le refroidissement post mortem. Sa signification quant á l'heure du décès. *Rev Int Police Criminelle* 8: 339–344
- Sellier K (1958) Determination of the time of death by extrapolation of the temperature decrease curve. *Acta Med Leg Soc (Liège)* 11: 279–302
- Sellier K (1960) Über die Todeszeitbestimmung durch Extrapolation der Temperaturabfallkurve einer Leiche. *Diss Med Fak Bonn*
- Shapiro HA (1965) The post-mortem temperature plateau. *J Forens Med* 12: 137–141

Eingegangen am 2. Dezember 1983