

Originalarbeiten / Original Works

**Todeszeitschätzungen
durch die mathematische Beschreibung
der rektalen Leichenabkühlung
unter verschiedenen Abkühlungsbedingungen***

C. Henßge

Institut für Gerichtliche Medizin der Humboldt-Universität Berlin, Hannoversche Straße 6,
DDR-104 Berlin

**Estimation of Death-time by Computing the Rectal Body Cooling
Under Various Cooling Conditions**

Summary. Cooling conditions differing from the chosen standard (naked—resting air) of storing of a dead body may be proportionally adjusted in computing of the time of death by data of the rectal body cooling by corrective factors of the body weight. These differing cooling conditions are: permanently moved air—clothing—covering—wet clothing. In our experiments the corrective factors of the body-weight range from 0.7 for totally wet clothing + permanently moved air to 2.4 for a covering similar to bed clothes.

Temperature—time of death—relating nomogrammes, easily to handle, replace the computing without losing accuracy. The permissible variation of 95% resp. 99% in estimating the range of the time of death was found out.

Key words: Time of death – Rectal body cooling – Relating nomogrammes, temperature-time of death

Zusammenfassung. Von den als Bezug gewählten Standardbedingungen einer Leichenlagerung (unbekleidet — ruhende Luft) abweichende Abkühlungsbedingungen (permanente Luftbewegung — Bekleidung — Bedeckung — feuchte Bekleidung) können durch Korrekturfaktoren des Körpergewichts in der Todeszeitberechnung aus Daten der rektalen Leichenabkühlung angemessen berücksichtigt werden. Die Körpergewichts-Korrekturfaktoren umfassen am vorliegenden Material einen Bereich zwischen 0,7 für vollständig durchfeuchtete Bekleidung + permanente Luftbewegung und 2,4 für bett-ähnliche Bedeckung.

* Herrn Prof. Dr. O. Prokop zum 60. Geburtstag gewidmet

Leicht zu handhabende Temperatur-Todeszeit-Bezugsnomogramme ersetzen die Berechnungen ohne Verlust an Präzision. Die 95%- bzw. 99%-Toleranzgrenzen einer Schätzung des „wahrscheinlichen“ bzw. „sehr wahrscheinlichen“ Todeszeitbereichs wurden ermittelt.

Schlüsselwörter: Todeszeitberechnung – Leichenabkühlung – Bezugsnomogramme – Temperatur-Todeszeit

Einleitung

An einem repräsentativen Material von experimentellen Leichenabkühlungen wurde die optimale Eignung des von Marshall [1] angegebenen Modells für die mathematische Beschreibung der Leichenabkühlung in relativ konstanter Umgebungstemperatur bestätigt [2, 3]. Das Modell lautet in veränderter Schreibweise:

$$\vartheta_t = \vartheta_0 \frac{p}{p-Z} (e^{Z \cdot t}) - \vartheta_0 \frac{Z}{p-Z} (e^{p \cdot t})$$

ϑ_t = Differenztemperatur (Rektum — Umgebung) in Grad Celsius; Zeit nach Todeseintritt in Stunden postmortal, als Index: Zum Zeitpunkt t Stunden nach Todeseintritt;

ϑ_0 = Differenztemperatur (Rektum — Umgebung) bei Todeseintritt ($t=0$); nachfolgend generell als „37,2 — Umgebungstemperatur“ eingesetzt;

Z, p = Exponenten, deren Beträge von mehreren die Leichenabkühlungsgeschwindigkeit beeinflussenden Faktoren abhängen.

Für unbedeckte und unbedeckte Leichen in gestreckter Rückenlage, relativ konstanter Umgebungstemperatur und ruhender Umgebungsluft, nachfolgend als „Bezugsstandardbedingungen“ einer Leichenlagerung bezeichnet, ergab sich als genaueste und rechnerisch einfachste Normierung (Schätzung) für den Exponenten Z :

$$Z = 0,0284 - 1,2815 (\text{kg}^{-0,625}); \text{ kg} = \text{Körpergewicht in kg.}$$

Die Normierung für den Exponenten p erfolgte auch umgebungstemperaturabhängig:

$$\begin{array}{ll} Tu_t \leq 23,2 \text{ bzw. } \vartheta_0 \geq 14^\circ\text{C} & p = Z \cdot 5 \\ \geq 23,3 & \vartheta_0 \leq 13,9^\circ\text{C} \quad p = Z \cdot 10 \end{array}$$

Demzufolge ergaben sich für die Todeszeitberechnung folgende konkrete Formeln in Abhängigkeit vom Bereich der Umgebungstemperatur:

$$\text{I} \quad Tu \leq 23,2^\circ\text{C}$$

$$Tr_t = ((37,2 - Tu) 1,25 (e^{Z \cdot t}) - (37,2 - Tu) 0,25 (e^{5Z \cdot t})) + Tu$$

$$\text{II} \quad Tu \geq 23,3^\circ\text{C}$$

$$Tr_t = ((37,2 - Tu) 1,11 (e^{Z \cdot t}) - (37,2 - Tu) 0,11 (e^{10Z \cdot t})) + Tu$$

Tu = Umgebungstemperatur in Grad Celsius

Tr = Rektaltemperatur in Grad Celsius

Die Abweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten bis zu 55 h postmortal hatten folgende Kennzeichen: Mittelwert $-9,4$ min; Standardabweichung ± 77 min; Variationsbreite ± 216 min; 95%-Toleranzgrenzen rund $\pm 2,5$ h.

Um die Anwendung zu vereinfachen, haben wir jetzt auf Vorschlag von O. Prokop zwei Nomogramme konstruiert [4], die in den Abb. 1 bis 4 dargestellt sind. Es handelt sich dabei um eine nomographische Umsetzung der Formeln I

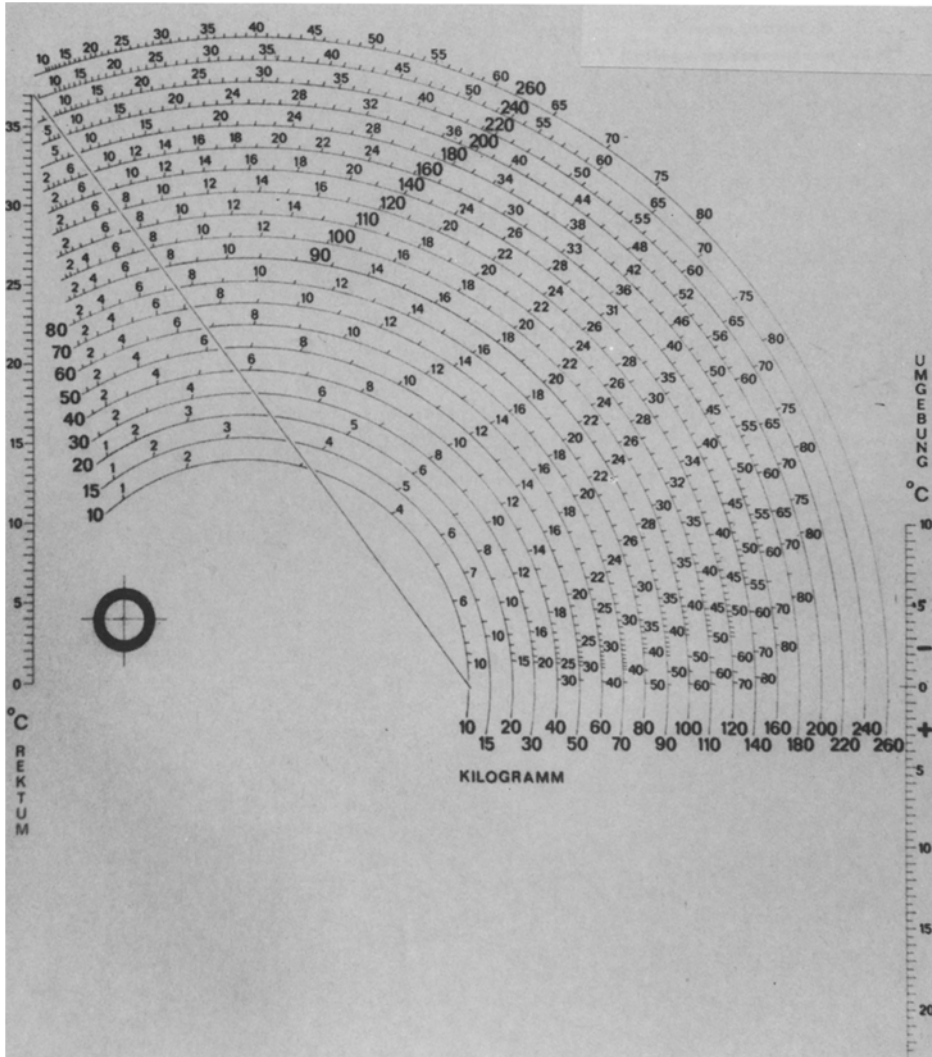


Abb. 1. Nomogramm zur Ermittlung der Todeszeit aus Rektal-, Umgebungstemperatur und Körpergewicht bei unbedeckten Leichen in gestreckter Rückenlage, relativ konstanter Umgebungstemperatur von $23,2^{\circ}\text{C}$ und darunter sowie in Umgebung mit ruhender Luft. Nomographische Umsetzung von Formel I

und II. Somit gelten für nomographisch abgelesene Todeszeiten alle Aussagen, die zur Herleitung und Anwendung beider Formeln in unserer früheren Arbeit in dieser Zeitschrift [2] gemacht wurden. Die Ablesegenauigkeit der Nomogramme ist gegenüber einer Berechnung von Todeszeiten und im Vergleich zur Fehlerbreite der Methode an sich, hinreichend genau. Man kann deshalb nomographisch abgelesenen Todeszeiten die gleichen Toleranzgrenzen zuordnen wie berechneten Todeszeiten. (Beide entsprechen im Mittel den tatsächlichen Todeszeiten bei

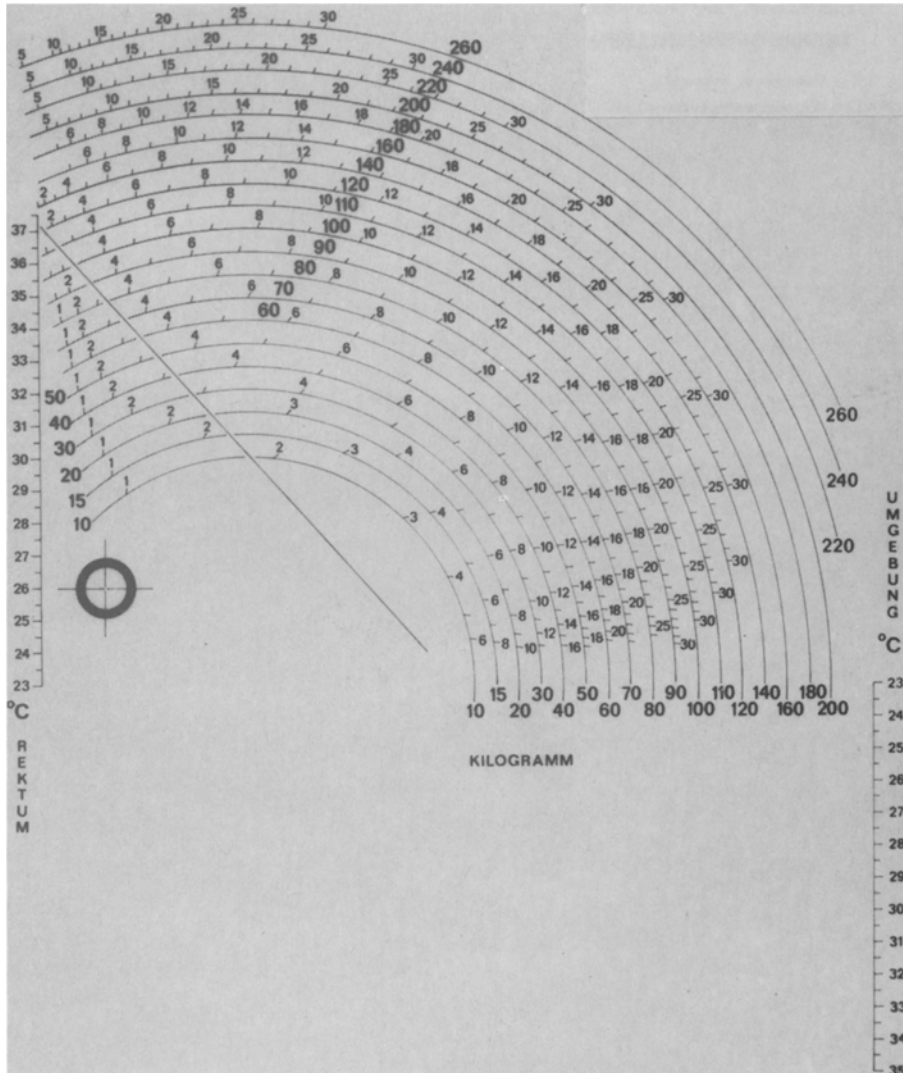


Abb. 2. Nomogramm zur Ermittlung der Todeszeit aus Rektal-, Umgebungstemperatur und Körpergewicht bei unbedeckten Leichen in gestreckter Rückenlage, relativ konstanter Umgebungstemperatur von 23,3°C und darüber sowie in Umgebung mit ruhender Luft. Nomographische Umsetzung von Formel II

gleichartigen Stichproben, wie die von uns untersuchten.) Die Nomogramme werden Bezugsnomogramme genannt, weil sie sich auf eine Lagerung unbekleideter und unbedeckter Leichen in gestreckter Rückenlage, relativ konstanter Umgebungstemperatur und ruhender Umgebungsluft beziehen. Die Nomogramme können auch bei anderen Abkühlungsbedingungen angewendet werden. Jedoch ist dann die Todeszeit bei dem mit einem Korrekturfaktor multiplizierten Körpergewicht abzulesen (s. Diskussion).

In der vorliegenden Arbeit wird näher untersucht, wie sich die Abkühlung von Leichen unter anderen Abkühlungsbedingungen als den näher bezeichneten

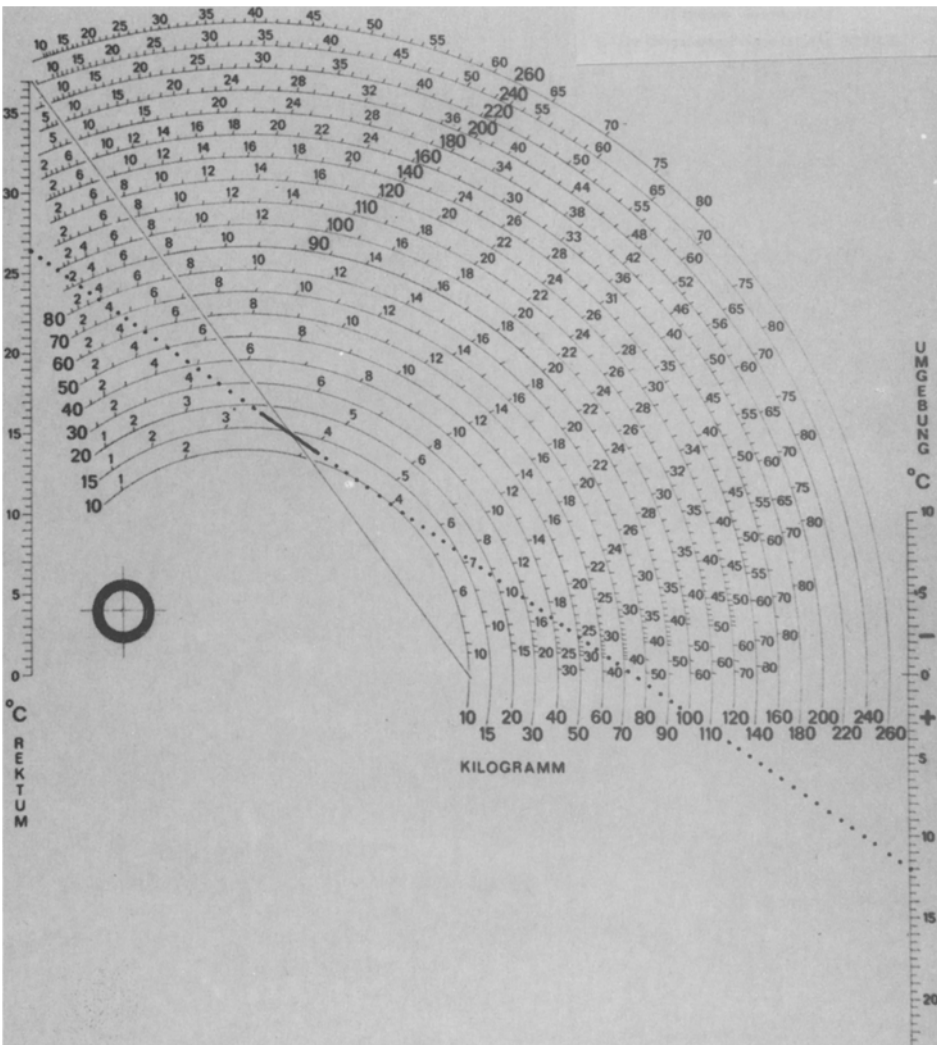


Abb. 3. Anwendungsbeispiel des Nomogramms — erster Schritt: 1. Verbindung der gemessenen Temperaturen (Rektaltemperatur 26,5°C; Umgebungstemperatur 12°C) und Markierung ihres Schnittpunktes mit der Diagonalen

Bezugsstandardbedingungen verhält. Sie ist eine unmittelbare Weiterführung unserer früheren, in dieser Zeitschrift erschienenen Arbeit [2]. Wie die damaligen Abb. 4 bis 12 bereits sehr deutlich gezeigt haben, kann man den Einfluß anderer Abkühlungsbedingungen wie Bekleidung, Bedeckung, permanente Luftbewegung auf die Leichenabkühlungsgeschwindigkeit durch sprunghafte Veränderung der Abkühlungsbedingungen innerhalb des Untersuchungszeitraums einer Leiche besonders prägnant nachweisen. Die Abkühlung einer Leiche wird beschleunigt, sobald (bei gleichbleibender Umgebungstemperatur) die Bekleidung oder Bedeckung entfernt wird oder die ursprünglich ruhende Umgebungsluft durch Ein-

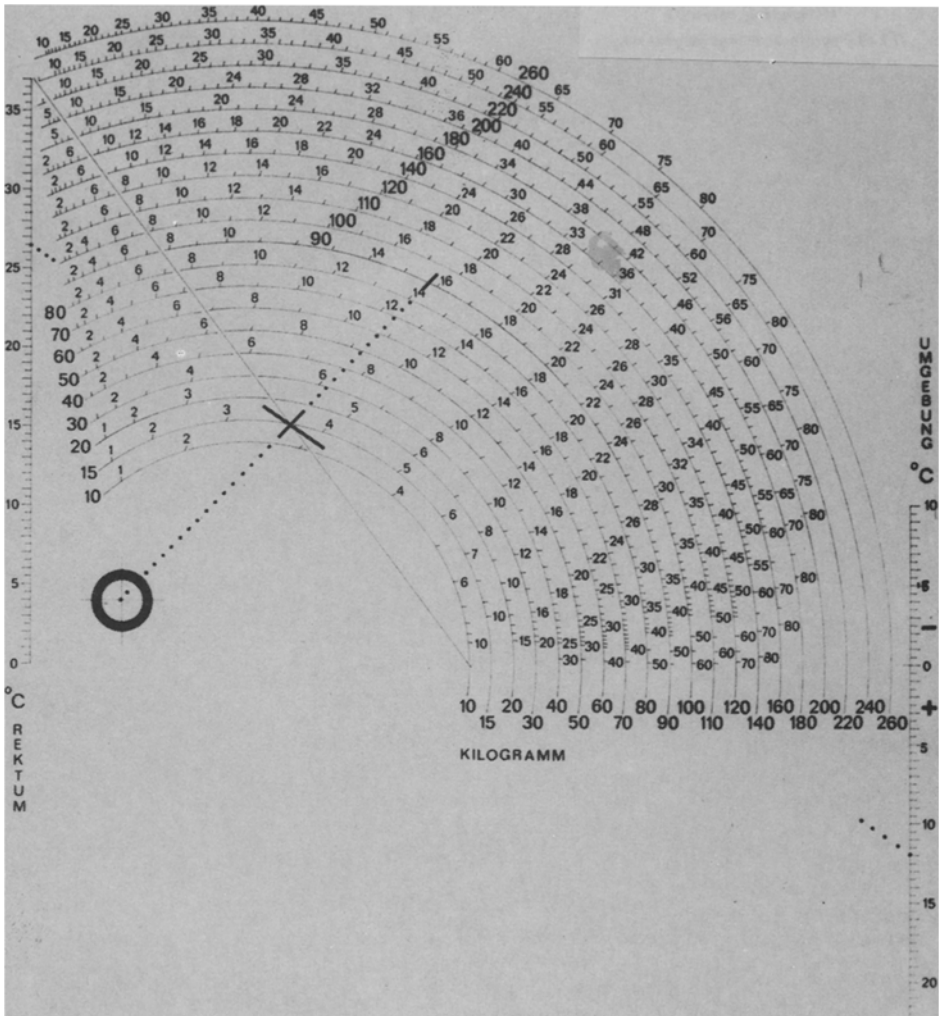


Abb. 4. Anwendungsbeispiel des Nomogramms — zweiter Schritt: 2. Verbindung des Projektionspunktes \oplus mit der Markierung auf der Diagonalen (Abb. 3) und Verlängerung bis zum Kreisbogen des Körpergewichts, hier von 90 kg. Ablesung der Todeszeit, hier rund 16 h

schalten eines Ventilators in ständige Bewegung versetzt wird. Wie bei einzelnen Leichen gezeigt wurde, verändert sich dadurch der Betrag für den Exponenten Z . Wurde dagegen lediglich die Umgebungstemperatur innerhalb des Untersuchungszeitraums einer Leiche sprunghaft verändert, so veränderte sich der Betrag für den Exponenten Z nicht nennenswert. Der Betrag von Z ist von den Abkühlungsbedingungen abhängig, jedoch nicht von der Umgebungstemperatur (im untersuchten Bereich).

Das Vornehmen einer einmaligen Veränderung der Abkühlungsbedingungen innerhalb des gesamten Untersuchungszeitraums der einzelnen Leichen wurde bei den neuen Untersuchungen zumeist in der Weise beibehalten, daß die Bekleidung und Bedeckung 20 bis 28 h nach Todeseintritt entfernt wurde, um den Einfluß der Bekleidung und Bedeckung auf die Abkühlungsgeschwindigkeit an der gleichen Leiche auch direkt nachweisen zu können.

Material und Methodik

Fünfundzwanzig Leichen plötzlich in der Öffentlichkeit in Gegenwart von weiteren Personen und drei Leichen im Krankenhaus zu jeweils genau bekanntem Zeitpunkt¹ Verstorbener.

Körpergewicht der Leichen zwischen 52 und 110 kg

Untersuchungsbeginn 1 bis 6 h (am häufigsten 2 und 3 h, Tabelle 1) nach Todeseintritt. Zwischen Todeseintritt und Untersuchungsbeginn bestanden uneinheitliche Lagerungsbedingungen, die durch den unterschiedlichen Sterbeort (Tabelle 1) und damit verbunden, nicht genau rekonstruierbaren und zudem meist wechselhaften thermischen Lagerungsbedingungen u.a. beim Leichentransport bedingt waren. Ihre gesonderte quantitative Berücksichtigung war mit dem angewendeten mathematischen Modell zur Beschreibung der Leichenabkühlung deshalb unmöglich, weshalb sie unbeachtet bleiben mußten (s. Diskussion über „irreguläre“ Auskühlung bekleideter Leichen in den ersten 2 bis 3 h und die Diskussion des gleichen methodischen Problems bei [12]).

Abbruch der Untersuchungen zwischen 21 und 95 h nach Todeseintritt. Messung der Rektaltemperatur mindestens 8 cm innerhalb des Sphincter ani und der Lufttemperatur in unmittelbarer Leichenumgebung mit Hilfe von thermoelektrischen Meßsonden (Kupfer-Konstantanlötstellen) und Registrierung der thermoelektrischen Spannungen im 2-min-Intervall; Präzision der Temperaturmessungen etwa $\pm 0,2^\circ\text{C}$. Bei zwei der drei im Krankenhaus Verstorbenen (P-01 und P-02) konnten nur lückenhafte Thermometermessungen durchgeführt werden.

Abkühlungsbedingungen (Tabelle 1)

Sämtliche Leichen wurden in gestreckter Rückenlage auf einer flach gewölbten Metalltrage mit einfacher Lage einer Decke zwischen Trage und Rücken der Leiche untersucht. Standort im Gang des Kühlzellenkellers des Instituts (etwa 100 m^3) mit dadurch grob geregelter Lufttemperatur, je nach Außentemperatur auf einem Niveau zwischen $5,8$ und $15,8^\circ\text{C}$.

a) Unbekleidet — ruhende Luft (= „Bezugsstandardbedingungen“)

Zweiter Untersuchungsabschnitt von 10 Leichen. (Erster Untersuchungsabschnitt von 4 Leichen und zweiter Untersuchungsabschnitt von zwei Leichen bereits in Henßge [2, 3] ausgewertet.)

b) Unbekleidet — permanent bewegte Luft

3 Leichen sowie zweiter Untersuchungsabschnitt von 4 Leichen.

¹ Aufgrund übereinstimmender Zeitangaben der anwesenden Personen einschließlich eines unverzüglich herbeigerufenen Arztes und dessen Zeitdokumentation auf dem Totenschein

Tabelle 1. Angaben zu den Leichenabkühlungsuntersuchungen (kg = Körpergewicht in kg; *Tu* = Umgebungstemperatur in °C)

Fall- bezeichnung	Kurz- Nr.	kg	<i>Tu</i>	Temp.reg. von .. bis h p.m.	Abkühl.- beding. (s. Text)
151277-1	27	65	12,2	3 .. 23 23 .. 65	a b
020178-1	28	65	12,4	4 .. 22 22 .. 70	a b
040178-1	29	66,5	11,6	2 .. 31	b
120178-1	30	89	11,4	4 .. 29 29 .. 94	a b
100378-1	38	56	12,2	2 .. 22 22 .. 45	a b
160677-1	P-01	52	8,8	2 .. 22	b
121277-1	P-02	57	5,8	1 .. 48	b
230278-1	36	85	9,8	2 .. 67	c
040378-1	37	79	12,8	3 .. 23 23 .. 54	c a
201178-1	50	55,5	12,8	3 .. 22 22 .. 48	c a
061278-1	53	79	12,6	2 .. 24 24 .. 42	c a
081278-1	54	63,5	12,2	3 .. 26 26 .. 70	c a
180179-1	57	76,5	12,0	4 .. 26 26 .. 82	c a
310179-1	58	68	10,6	5 .. 23 23 .. 45	c a
210279-1	59	78,5	10,0	5 .. 26 26 .. 50	c a
120779-1	60	52	15,6	4 .. 93	c
120779-2	61	92	15,4	4 .. 95	c
060779-1	63	110	14,8	3 .. 66	c
020779-1	64	82	14,8	2 .. 49	c
220178-1	33	73	10,4	2 .. 26 26 .. 49	d a
021278-1	51	91	13,2	6 .. 52	d
041278-1	52	74	13,4	3 .. 20 20 .. 53	d a
211278-1	56	92,5	12,2	2 .. 28 28 .. 76	d a

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Fall- bezeichnung	Kurz- Nr.	kg	<i>Tu</i>	Temp.reg. von .. bis h p.m.	Abkühl- beding. (s. Text)
090779-1	62	66	15,8	5 .. 24	d
230479-1	66	78,5	14,2	6 .. 26 26 .. 52	e a
030479-1	67	83,5	13,8	3 .. 21 21 .. 48	e a
151278-1	55	91	13,4	3 .. 70	f
260379-1	68	64,5	14,4	2 .. 28	f

c) Bekleidet — ruhende Luft

12 Leichen.

d) Bedeckt (unbekleidet/teilkleidet) — ruhende Luft

5 Leichen.

e) Bekleidet — permanent bewegte Luft

2 Leichen.

f) Feuchte Bekleidung — permanent bewegte Luft

2 Leichen.

Detailliertere Angaben zur Art der Bekleidung/Bedeckung finden sich in Tabelle 6. Die permanente Luftbewegung wurde durch einen 2 m über der Leiche angebrachten 25-Watt-Ventilator (Nr. 27 bis 30 und 38) bzw. durch ein an der Raumdecke fest installiertes Luftgebläse (Nr. P-01 und P-02) erzeugt. Eine exakte Messung der Windgeschwindigkeit wurde nicht durchgeführt.

Behandlung der Meßwerte

Bezüglich „Umgebungstemperatur“, „Rektaltemperatur“, Bildung der „Differenztemperatur“ und „experimentelle Ermittlung des Betrages für den Exponenten *Z*“ (Kurzsymbol „*Z_{exp.}*“) verweisen wir auf unsere früheren Publikationen [2, 3]. Die Normierung für den Exponenten *p* erfolgte generell in Abhängigkeit von *Z* und zwei Umgebungstemperaturbereichen, wie in der Einleitung dargestellt.

Die von den Bezugsstandardbedingungen abweichenden Abkühlungsbedingungen wurden bei der Berechnung von Todeszeiten nach Formel I dadurch berücksichtigt, daß das Körpergewicht (kg) mit einem Korrekturfaktor (*f*) versehen wurde. Mit dem korrigierten Körpergewicht wurde der Betrag des Exponenten *Z* berechnet:

$$Z = 0,0284 - 1,2815 ((f \cdot \text{kg})^{-0,625})$$

Ergebnisse

a) Unbekleidet – ruhende Luft (= „Bezugsstandardbedingungen“)

Bei den neuen Untersuchungen wurden diese Abkühlungsbedingungen nur im zweiten Untersuchungsabschnitt von 10 Leichen nach Entfernung von Bekleidung und Bedeckung aus dem in der Einleitung genannten Grund hergestellt.

Man kann den jeweils zweiten Untersuchungsabschnitt dieser Leichen unter dann Bezugsstandardbedingungen außerdem zur Kontrolle für unsere früheren Ergebnisse einer indirekten Normierung des Exponenten Z durch das Körpergewicht benutzen:

Wir berechneten aus den registrierten Temperaturwerten des zweiten Untersuchungsabschnitts in der früher dargestellten Weise den Betrag für Z im zweiten Untersuchungsabschnitt (vgl. dazu die Abb. 6, 8, 10 und 12 der früheren Arbeit in dieser Zeitschrift).

Wir prüften, ob sich der „experimentell ermittelte Betrag für Z “ des zweiten Untersuchungsabschnitts in die für unbedeckte Leichen in ruhender Luft angegebene Beziehung zum Körpergewicht (s. Einleitung) und ihre 95%-Toleranzgrenzen (s. Abb. 2 der früheren Arbeit) einordnet oder nicht:

$Z_{\text{exp.}}$ von 6 der 10 Leichen liegt innerhalb der 95%-Toleranzgrenzen, von zwei weiteren (Nr. 56 und 67) ganz knapp außerhalb und von einer Leiche (Nr. 66) deutlich außerhalb der 95%- jedoch noch innerhalb der 99%-Toleranzgrenzen. (Der zweite Untersuchungsabschnitt von Nr. 59 war infolge eines technischen Fehlers nicht auswertbar.)

Da die Beträge für $Z_{\text{exp.}}$ in einer relativ späten Abkühlungsphase und außerdem im Anschluß an eine vorangehende Abkühlungsphase mit anderen Abkühlungsbedingungen (Tabelle 1) gewonnen wurden, betrachten wir das Ergebnis als befriedigende Übereinstimmung.

Man kann aus diesem Ergebnis die Schlußfolgerung ableiten, daß es bei der Auswertung von Experimenten mit Unterteilung in zwei Abschnitte mit unterschiedlichen Abkühlungsbedingungen zulässig ist, auch den zweiten Untersuchungsabschnitt durch das Modell in sinngemäßer Anwendung zu beschreiben. In der vorliegenden Arbeit wird davon jedoch nur bei 4 der 7 Untersuchungen der Bedingungen „b“ Gebrauch gemacht (Tabelle 1), wovon ein Kurvenbeispiel in Tabelle 3 dargestellt wird. Todeszeitberechnungen an den Fällen der Bedingungen „c“ bis „f“ sind sämtlich nicht davon betroffen.

b) Unbedeckt – permanent bewegte Luft

In Tabelle 2 sind in den ersten drei Säulen neben der Fall-Nr. das Körpergewicht (kg), das sich daraus berechnende Z für Bezugsstandardbedingungen mit ruhender

Tabelle 2. Unbedeckt — permanent bewegte Luft (siehe Text)

Nr.	kg	($Z_{\text{kg; Bezug}}$)	$Z_{\text{exp.; Wind}}$	0,75 kg	$Z_{0,75 \text{ kg; Bezug}} = Z_{\text{Norm; Wind}}$
P-01	52	(-0,08)	-0,095	39	-0,1014
P-02	57	(-0,074)	-0,098	42,8	-0,0942
27	65	(-0,0659)	-0,094	48,8	-0,0845
28	65	(-0,0659)	-0,084	48,8	-0,0845
29	66,5	(-0,0646)	-0,082	49,9	-0,0829
30	89	(-0,0491)	-0,063	66,8	-0,0644
38	56	(-0,0751)	-0,0914	42	-0,0955

Tabelle 3. Beispiel des Falls Nr. 28 (s. Text). Körpergewicht: 65 kg; Umgebungstemperatur: 12,4°C. 4. bis 22. h p.m.: Unbekleidet — ruhende Luft. $Tr_t = ((37,2 - 12,4) 1,25 (e^{-0,0659 \cdot t}) - (37,2 - 12,4) 0,25 (e^{-0,33 \cdot t})) + 12,4$. Ab 22. h p.m.: Unbekleidet — permanent bewegte Luft. $Tr_t = ((20,3 - 12,4) (e^{0,0845 \cdot t})) + 12,4$; $t' + 22 = t$. t_{ber} bzw. t'_{ber} = berechnete Zeit in Stunden auf 0,2 h genau. Abw. bzw. Abw' = berechnete — tatsächliche Zeiten in min auf 12 min genau

t	t'	Tr	$Tr-Tu$	$\ln (Tr-Tu)$	$Z_{exp.}$	t_{ber}	Abw.	t'_{ber}	Abw'
4		35,6	23,2	3,144		3,0	- 60		
5		35,0	22,6	3,118		3,6	- 84		
6		34,2	21,8	3,082		4,4	- 96		
7		33,2	20,8	3,035		5,4	- 96		
8		32,2	19,8	2,986		6,2	- 108		
9		31,1	18,7	2,929		7,4	- 96		
10		30,1	17,7	2,874		8,2	- 108		
11		28,9	16,5	2,803		9,4	- 96		
12		27,9	15,5	2,741		10,4	- 96		
13		26,9	14,5	2,674		11,4	- 96		
14		26,1	13,7	2,617		12,4	- 96		
15		25,1	12,7	2,542	- 0,067	13,6	- 84		
16		24,3	11,9	2,477		14,6	- 84		
17		23,5	11,1	2,407		15,6	- 84		
18		22,7	10,3	2,332		16,8	- 72		
19		22,1	9,7	2,272		17,6	- 84		
20		21,5	9,1	2,208		18,6	- 84		
21		20,7	8,3	2,116		20,0	- 60		
22	0	20,3	7,9	2,067		20,8	- 72		
23	1	19,5	7,1	1,960	- 0,084	(22,4)	(- 36)	1,4	24
24	2	19,1	6,7	1,902		(23,4)	(- 36)	2,0	00
25	3	18,7	6,3	1,841		(24,2)	(- 48)	2,8	- 12
26	4	18,1	5,7	1,741		(25,8)	(- 12)	4,0	00
27	5	17,6	5,2	1,649		(27,2)	(12)	5,0	00
28	6	17,2	4,8	1,569		(28,4)	(24)	6,0	00
29	7	16,8	4,4	1,482		(29,8)	(48)	7,0	00
30	8	16,4	4,0	1,386		(31,2)	(72)	8,2	12
31	9	16,2	3,8	1,335		(32,0)	(60)	8,8	- 12
32	10	15,8	3,4	1,224		(33,6)	(96)	10,0	00
33	11	15,6	3,2	1,163		(34,6)	(96)	10,8	- 12
34	12	15,4	3,0	1,099		(35,6)	(96)	11,6	- 24
35	13	15,2	2,8	1,030		(36,6)	(96)	12,4	- 36
36	14	14,8	2,4	0,876		(39,0)	(180)	14,2	12
37	15	14,6	2,2	0,789		(40,2)	(192)	15,2	12
38	16	14,4	2,0	0,693		(41,6)	(216)	16,4	24
39	17	14,4	2,0	0,693		(41,6)	(156)	(16,4)	(- 36)
40	18	14,2	1,8	0,588		(43,2)	(192)	(17,6)	(- 24)
44	22	13,6	1,2	0,182		(49,4)	(324)	(22,4)	(24)

Tabelle 4. Einzelabweichung zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten in min über der tatsächlichen Todeszeit in h der Untersuchungen unbedeckter Leichen in permanent bewegter Luft

<i>t</i>	Nr. 27	Nr. 28	Nr. 29	Nr. 30	P-01	P-02	Nr. 38
1						- 12	
2			24			12	
3			24		- 156	36	
4			00		- 120	36	
5			- 12		- 108	48	
6			- 12		- 120	48	
7			- 12		- 108	48	
8			- 12		- 120	60	
9			- 12			60	
10			- 12				
11			00				
12			00				
13			00		- 120		
14			00			72	
15			00				
16			- 12				
17			- 24				
18			00				
19			00				
20			- 12				
21			+ 12				
22			00		- 156		
23		24	00				- 12
24	12	00	00			84	- 24
25	12	- 12	- 24			84	- 12
26	12	00	- 12			84	12
27	12	00	- 36			72	12
28	12	00	- 48				12
29	- 12	00	- 72				- 12
30	00	12	- 84	12			- 24
31	24	- 12	- 96	12			
32	12	00		- 12			- 24
33	00	- 12		00			
34	48	- 24		12			- 36
35	60	- 36		- 12			
36		12		- 36			
37		12		- 60			
38		24		- 24			
39				- 36			
40				- 96			
42				- 120			
44				- 120			
46				- 108			

Tabelle 5. Häufigkeitsverteilung der zusammengefaßten Einzelabweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten aus Tabelle 4 für die sieben unbedeckten und in permanenter Luftbewegung abkühlenden Leichen unter Anwendung eines Körpergewichts-Korrekturfaktors 0,75 für den Umstand permanent bewegter Luft

Abweichung + min	Häufigkeit absolut	Abweichung – min	Häufigkeit absolut	Häufigkeit total +; – (%)
00	20			19
12	17	– 12	19	54
24	5	– 24	7	65
36	2	– 36	5	72
48	4	– 48	1	77
60	3	– 60	1	81
72	2	– 72	1	84
84	3	– 84	1	88
96	0	– 96	2	89
		– 108	3	92
		– 120	6	98
		...	0	
		– 156	2	100

104 Einzelabweichungen. Mittelwert – 11,8 min. Standardabweichung $\pm 50,7$ min. 95%-Toleranzgrenzen 121 ... – 145 min; 99%-Toleranzgrenzen 189 ... – 213 min (Toleranzfaktoren für $N=7$, Documenta Geigy 7. Auflage, S. 44, „k₄“)

Luft ($Z_{kg; \text{Bezug}}$) und das bei permanent bewegter Luft tatsächlich experimentell ermittelte Z ($Z_{exp.; \text{Wind}}$) dargestellt. In der folgenden Säule ist das durch den einheitlichen Korrekturfaktor 0,75 für den abweichenden Umstand „permanent bewegte Luft“ korrigierte Körpergewicht (0,75 kg) angegeben. Aus diesem korrigierten Körpergewicht berechnet sich das in der letzten Säule genannte Z ($Z_{0,75 \text{ kg}; \text{Bezug}} = Z_{\text{Norm}; \text{Wind}}$). Zwischen dem bei Leichenabkühlung „unbedeckt — permanent bewegte Luft“ experimentell ermittelten Betrag für den Exponenten Z und dem durch o.g. Normierung berechneten Betrag ergibt sich eine befriedigende Übereinstimmung (Tabelle 2). Außerdem ist der Betrag für $Z_{exp.; \text{Wind}}$ in allen sieben Fällen ohne Ausnahme deutlich größer als der Betrag für $Z_{kg; \text{Bezug}}$ (vgl. dazu Abb. 4 in unserer früheren Arbeit in dieser Zeitschrift).

Die Berechnung von Todeszeiten unter Anwendung des für unbedeckte Leichen in permanent bewegter Luft normierten Z ($Z_{\text{Norm}; \text{Wind}}$) nach Formel I ist bei den Fällen Nr. P-01 und P-02 sowie 29 (Tabelle 1) ohne weitere Erläuterung einsichtig.

Bei den anderen vier Fällen, die erst im zweiten Untersuchungsabschnitt permanenter Luftbewegung ausgesetzt waren, wurden die Liegezeiten im zweiten Abschnitt durch sinngemäße Anwendung des Modells berechnet. Zu berücksichtigen ist dabei, daß die Rückrechnung auf die bei Beginn des zweiten Untersuchungsabschnitts gemessene momentane Rektaltemperatur erfolgt anstelle von 37,2°C der Formel I. Die Zeit t zu Beginn des zweiten Untersuchungsabschnitts (Einschalten des Ventilators) wird für die Zeitberechnung im zweiten Abschnitt zu $t_0 = 0$. Ferner ist zu berücksichtigen, daß die Phase der Ausbildung des Temperaturgradienten, die durch das zweite Exponentenglied der Formel I mathematisch beschrieben wird, zu Beginn des

Tabelle 6. Daten zu den Fällen „bekleidet — ruhende Luft“, „bedeckt (unbekleidet/teilbekleidet) — ruhende Luft“, „bekleidet — permanent bewegte Luft“, „feuchte Bekleidung — permanent bewegte Luft“

Nr.	Beschreibung der Bedingungen (Monat, Sterbeort)	Optimaler Korrekturfaktor
61	Slip — ärmelloses Unterhemd (Arbeitsjacke am Rumpf weit nach oben verschoben; Arbeitshose bis in die Kniekehlen nach unten verschoben. (Juli, S-Bahnhof)	1,0
63	Bw-Schlüpfer — ärmelloses Unterhemd. (Juli, vollständig bekleidet, Fernbahnhof)	1,1
64	Anzughose — Slip — Campinghemd (Knopfleiste offen, etwas nach oben verschoben) — ärmelloses Unterhemd. (Juli, Straße)	1,1
58	Anzughose — Slip — dünner Kunstfaserpullover — langärm. Unterhemd — ärmelloses Unterhemd. (Januar, Treppenhaus)	1,1
37	Anzughose — langbeinige Unterhose — einfach stoffgefütterter Anorak (vorne offen) — dünnerer Wollpullover. (März, im Freien)	1,1
57	Anzughose — langbeinige Unterhose — einfach stoffgefütterter Kunstfaseranorak — Anzugjacke — dünner Wollpullover — ärmelloses Unterhemd. (Januar, Straße)	1,3
53	Anzughose — langbeinige Unterhose — $\frac{3}{4}$ -Kunstfasermantel mit Futterstoff — Anzugjacke — Weste — Oberhemd (Dederon) — ärmelloses Unterhemd (korrekter Sitz). (Dezember, Bahnhof)	1,3
50	Stoffhose — Feinstrumpfhose — Miederhose — Slip — dünne Wollstrickweste — langärm. Trikotbluse — kurzärm. kurzes Mohairunterhemd — ärmelloses Bw-Unterhemd (korrekter Sitz). (November, Bahnhof)	1,4
54	Anzughose — langbeinige dicke Unterhose — Anzugjacke — Wollstrickjacke lang — Trikotoberhemd — ärmelloses Unterhemd. (Dezember, Ambulanz)	1,4
36	Anzughose (etwas nach unten verschoben) — Bw-Unterhose (verschoben) — dicker Wollstoffmantel mit gestepptem Futter (bes. am Rücken nach oben verschoben) — Anzugjacke (verschoben) — Weste — Oberhemd — Unterhemd (in der Kreuzbeinregion war ein Streifen der Körperoberfläche nicht von der Bekleidung bedeckt; vor Meßbeginn nur notdürftig korrigiert). (Februar, Straße)	1,5
59	Anzughose — langbeinige Unterhose — Gummileibbinde mit Bruchdruckpolster re. — Anzugjacke — dünner Wollpullover — langärm. Unterhemd. (Februar, Straße — Hausflur)	1,6
60	Dickes Wollstrickkleid — Unterkleid — Feinstrumpfhose — Slip — Trenchcoat gefüttert. (Juli, Straße)	1,8
51	Unbekleidet — doppelt gelegte Normaldecke, allseitig bedeckend. (Dezember, Wohnung)	1,2
52	Langbeinige Unterhose — langärm. Unterhemd — einfach gelegte flauschige Decke, allseitig bedeckend. (Dezember, Bahnhof)	1,3

Tabelle 6 (Fortsetzung)

Nr.	Beschreibung der Bedingungen (Monat, Sterbeort)	Optimaler Korrekturfaktor
56	Langbeinige Unterhose — Slip — langärm. Unterhemd — dünner Bw-Pullover — einfach gelegte Normaldecke, allseitig bedeckend. (Dezember, Straße)	1,0
62	Unbekleidet — einfach gelegte Normaldecke, allseitig bedeckend. (Juli, Krankenhaus.) Fieber: 38,7°C in der 5. h p.m. Sektionsergebnis: u. a. Bronchopneumonie.	1,2
33	Slip — ärmelloses Unterhemd — Unterlage: Matratzen — 1 cm dick Zellstoff — Decke. Bedeckung: 1,5 cm dicke Zellstofflage — Bettlaken — zwei Normaldecken einfach gelegt (Bedeckung allseitig anliegend). (Januar, Straße)	2,4
66	Anzughose — Slip — dünner Trenchcoat — Anzugjacke — Campinghemd — ärmelloses Unterhemd — Ventilator. (April, Straße)	1,4
67	Slip — Miederhose — Feinstrumpfhose — Unterrock — Rock — dick gefütterter Stoffmantel — Bluse — ärmelloses Unterhemd — Ventilator. (April, Straße)	1,7
55	Langbeinige Unterhose — langärm. Unterhemd — (Eigenbekleidung) + angelegte Fremdbekleidung: Anzughose — dicker Wollstoffmantel — dicker Wollpullover — Ventilator — 5maliges Übergießen mit kaltem Wasser (die Bekleidung nahm das Wasser nicht gut auf, war aber durchfeuchtet). (Dezember, Straße)	0,9
68	Anzughose — langbeinige Unterhose — Anzugjacke — dünner Wollpullover — Oberhemd — langärm. Unterhemd — Ventilator — aus dem Wasser geborgene Leiche, Bekleidung nach 26 h außen nur noch wenig, innen noch deutlich feucht. (März, Wasser)	0,7

zweiten Untersuchungsabschnitts längst abgeschlossen ist. Deshalb kann das zweite Exponentialglied der Formel I dann praktisch vernachlässigt werden.

Somit ergibt sich für die Berechnung der Liegezeiten im zweiten Untersuchungsabschnitt, beginnend mit $t'_0 = 0$ und Tr'_0 = momentane Rektaltemperatur bei Beginn des zweiten Abschnitts:

$$Tr'_t = ((Tr'_0 - Tu) (e^{Z_{\text{Norm; Wind}} t'_t}) + Tu \quad (\text{III})$$

Diese Berechnung der Liegezeit im zweiten Untersuchungsabschnitt wird an einem der 4 Fälle, Leiche Nr. 28, in Tabelle 3 ausführlich vorgestellt. Es handelt sich um den in den Abb. 11 und 12 der früheren Arbeit in dieser Zeitschrift dargestellten Fall. Aus den in Tabelle 3 markierten Werten „ $\ln(Tr - Tu)$ “ wurde durch Regressionsrechnung das sog. Z_{exp} sowohl für den ersten (unbekleidet — ruhende Luft) als auch für den zweiten Abschnitt (unbekleidet — permanent bewegte Luft) berechnet (wie in der früheren Arbeit angegeben und dort in die Abb. 11 und 12 im Resultat eingezeichnet).

Vollständigkeitshalber werden in Tabelle 3 auch die im ersten Abschnitt berechneten Todeszeiten und ihre Abweichungen zu den tatsächlichen angegeben. Ihre Berechnung erfolgte nach Formel I und wie für unbekleidete Leichen in ruhender Luft angegeben, mit $Z_{\text{kg; Norm}} =$

$$0,0284 - 1,2815 (65^{-0,625}) = -0,06593$$

Die Zeitberechnung im zweiten Untersuchungsabschnitt erfolgte nach obiger Formel III und nunmehr mit $Z_{\text{Norm; Wind}}$

$$0,0284 - 1,2815 ((0,75 \cdot 65)^{-0,625}) = -0,0845$$

Es ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, daß dieses Berechnungsverfahren kaum für eine Anwendung in der Praxis in Frage kommt, sondern lediglich für die Auswertung der jeweils zweiten Untersuchungsabschnitte der genannten vier Fälle experimenteller Leichenabkühlungen angewendet werden konnte, weil dabei der Zeitpunkt des Einschaltens des Ventilators sowie die tatsächliche Todeszeit und die in diesem Moment vorhandene Rektaltemperatur genau bekannt waren.

Hinzuzufügen ist, daß die Abweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten im zweiten Abschnitt der vier Fälle dann wesentlich größer wären, wenn die Berechnung jeweils nach dem Einschalten des Ventilators nach Formel I und ohne Berücksichtigung des veränderten Umstandes nunmehr permanent bewegter Luft durchgeführt werden würde, wie aus dem in Tabelle 3 vorgestellten Fall ersichtlich wird und wie es auch aufgrund der Veränderung des Betrages von Z infolge Luftbewegung im zweiten Abschnitt (Tabelle 2) zu erwarten ist.

In Tabelle 4 sind die Abweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten über der tatsächlichen Todeszeit der sieben unbedeckt in permanenter Luftbewegung untersuchten Leichen angegeben. Im Fall P-01 bestand Fieber bei Todeseintritt (letzte klinische Temperaturmessung 4 h vor dem Tode: 39,6°C; erste Temperaturmessung 2,4 h p.m.: 37,6°C).

Die Einzelabweichungen wurden unabhängig von der tatsächlichen Todeszeit zusammengefaßt und statistisch so behandelt, als seien sie voneinander unabhängige Werte. Die Berechtigung dazu wird daraus abgeleitet, daß am vorliegenden Material bis zu einer Mindestdifferenz zwischen Rektal- und Umgebungstemperatur von 2°C kein deutlicher Trend in den Beträgen der Einzelabweichungen mit zunehmender Todeszeit zu erkennen ist.

Die Häufigkeitsverteilung der zusammengefaßten Einzelabweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten sowie ihre statistischen Maßzahlen gehen aus Tabelle 5 hervor.

c) *Bekleidet – ruhende Luft*

d) *Bedeckt (unbekleidet/teilbekleidet) – ruhende Luft*

e) *Bekleidet – permanent bewegte Luft*

f) *Feuchte Bekleidung – permanente Luftbewegung*

In Tabelle 6 sind die von den Bezugsstandardbedingungen abweichenden Umstände der Leichenabkühlung beschrieben.

Von jedem Fall wurden aus den zu fortlaufenden vollendeten Todeszeitstunden registrierten (momentanen) Rektaltemperaturen Todeszeiten nach Formel I auf 0,2 h genau berechnet und es wurden die Differenzen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten gebildet. Die Berechnung der Todeszeiten erfolgte für jeden einzelnen Fall zunächst mit mehreren Körpergewichts-Korrekturfaktoren (f) und daraus resultierenden mehreren Beträgen für Z (s. o.).

Derjenige Korrekturfaktor, der zu den geringsten Abweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten eines jeden Falls führte, wurde als „optimaler“ Korrekturfaktor für die jeweilige Bekleidung, Bedeckung usw. bezeichnet und in Tabelle 6 zur verbalen Beschreibung zugefügt. Jeder größere oder

kleinere Korrekturfaktor ergab größere Abweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten.

Eine Ausnahme davon wurde beim Fall Nr. 62 gemacht. Das bei Todeseintritt vorliegende hohe Fieber ist aufgrund der Rückrechnung auf $37,2^{\circ}\text{C}$ nach Formel I die Ursache dafür, daß die berechneten Todeszeiten wesentlich geringer sind als die tatsächlichen (vgl. Tabelle 6, 7 und 13 sowie Diskussion). In diesem Fall ergaben kleinere Faktoren (1,0 und 1,1) noch größere Abweichungen als bei Anwendung des Faktors 1,2. Jedoch waren die Abweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten geringer, wenn größere Faktoren benutzt wurden als 1,2 (Optimum bei Faktor 1,5/1,6). Die größeren Faktoren würden aber im Fall Nr. 62 nicht mehr den Einfluß der Bedeckung ausgleichen, sondern die durch das Fieber verursachten Abweichungen der berechneten Todeszeiten (Tabelle 13).

Die auf die vorstehend dargestellte Weise, d. h. auf der Basis experimenteller Leichenabkühlungen empirisch ermittelten jeweils optimalen Körpergewichts-Korrekturfaktoren besagen, wie man die in Tabelle 6 verbal beschriebenen, von den oben charakterisierten Bezugsstandardbedingungen abweichenden Abkühlungsbedingungen an den untersuchten Fällen am besten quantitativ bei der Berechnung der Todeszeiten nach Formel I berücksichtigen kann. Nachfolgend wird dargestellt, welche Abweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten bei Anwendung der optimalen Korrekturfaktoren am Untersuchungsmaterial der Tabelle 6 aufgetreten sind und wie man sie zusammenfassen kann.

Tabelle 7 gibt eine Aufstellung sämtlicher Einzelabweichungen des Materials über der tatsächlichen Todeszeit. Zu jeder einzelnen Todeszeitstunde wurden die statistischen Maßzahlen der Einzelabweichungen berechnet.

Die Varianz der Abweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten einiger Todeszeitstunden weichen statistisch signifikant von den Varianzen anderer Todeszeitstunden ab. Jedoch ist keine Tendenz zunehmender Varianzen mit steigender Todeszeit zu erkennen: Die Varianzen der 2. und der 7. Todeszeitstunde sind größer als die Varianzen einer Reihe späterer Todeszeitstunden. Die Varianzen der 48. und 50. h sind größer als die Varianzen einer Reihe früherer Todeszeitstunden. Die Varianzen der übrigen Todeszeitstunden weisen keine statistisch signifikanten Unterschiede gegeneinander auf. Somit ergibt sich eine Tendenz höherer Varianzen in den ersten und in den letzten Stunden des Untersuchungszeitraums sowie eine Tendenz geringerer Varianzen zwischen der 30. und 40. h p.m. Außerdem deutet sich an, daß die berechneten Todeszeiten in der ersten Hälfte des Untersuchungszeitraums durchschnittlich eine Überschätzung der tatsächlichen Todeszeiten ergeben, in der zweiten Hälfte durchschnittlich eine Unterschätzung.

Die großen Varianzen in den ersten Stunden des Untersuchungszeitraums sind nach unserer Meinung auf die (nicht vermeidbaren) methodischen Mängel dieser Stichprobe im Zeitraum zwischen Todeseintritt und Beginn der Untersuchung (s. Methodik) und auf den Fall mit hohem Fieber bei Todeseintritt (Nr. 62; Tabellen 7 und 13) zurückzuführen; auf beide Probleme wird in der Diskussion näher eingegangen.

Wir halten es aus praktischen Erwägungen nicht für sinnvoll, die sich an vorliegender Stichprobe ergebenden größeren und kleineren Varianzen einzelner Todeszeitstunden gesondert zu behandeln, sondern meinen, daß es auch unter Beachtung der Variationsbreiten gerechtfertigt ist, in Näherung sämtliche Einzelabweichungen zusammenzufassen, so als ob sie voneinander unabhängig seien.

Dann ergeben sich die in Tabelle 8 dargestellten Verhältnisse. Die Mehrheit der aus den 95%-Toleranzgrenzen herausfallenden Einzelabweichungen und sämtliche aus den 99%-Toleranzgrenzen herausfallenden Einzelabweichungen resultieren aus den Todeszeitberechnungen des Falls Nr. 62, dessen Besonderheit gegenüber den übrigen Fällen in hohem Fieber bei Todeseintritt besteht (s. Diskussion).

Tabelle 7. Einzelabweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten in min über der Todeszeiten nach Formel I unter Anwendung der optimalen Körpergewicht-Korrekturfaktoren für die

<i>t</i>	61	63	64	58	37	57	53	50	54	36	59	60	51	52
	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6	1,8	1,2	1,3
2			204				72			-120				
3		84	192		156		96	-72	24	12				-60
4	12	24	180		156	96	96	-48	36	36		12		-12
5	-48	00	168	84	132	108	96	-24	48	60	-24	12		-48
6	-48	-24	156	72	108	96	84	-24	48	60	-48	-12	12	-36
7	-60	-12	132	48	96	84	84	-24	48	72	-84	00	-12	-24
8	-48	-36	144	36	84	96	72	-24	36	72	-36	24	-36	-12
9	-48	-24	132	36	60	108	84	-12	48	72	-48	12	-12	-24
10	-48	-48	108	12	60	84	84	00	36	72	-36	24	-24	00
11	-48	-60	84	24	36	72	72	-12	24	84	-24	24	00	00
12	-36	-48	84	12	48	72	48	12	12	72	-24	24	36	00
13	-36	-60	72	00	12	48	48	00	00	72	-12	36	36	00
14	-24	-72	60	12	36	48	36	12	12	72	12	36	36	-12
15	-24	-60	72	00	12	36	12	12	00	72	12	48	60	00
16	-36	-72	60	00	12	36	12	12	-12	72	36	36	60	-24
17	-36	-48	84	-12	00	36	12	12	-12	72	48	36	60	-36
18	-36	-60	72	-12	-12	12	12	12	-60	84	36	24	72	-24
19	-24	-72	48	-24	-12	36	00	24	-24	84	36	36	84	-24
20	-24	-60	60	-48	-12	12	-24	00	-24	72	24	36	72	-36
21	00	-84	60	-48	-48	00	-36	-12	-36	60	60	60	60	
22	-12	-84	48	-24	-72	12	-24	-24	-60	48	72	24	72	
23	12	-72	60	-36	-84	00	-36		-96	48	72	48	60	
24	00	-72	60			-12	-72		-84	48	36	60	84	
25	-12	-72	60			-48			-72	36	48	36	84	
26	-12	-60	60			-24				24	48	36	48	
27	00	-60	48							12		12	84	
28	00	-72	24							12		60	84	
29	-24	-84	60							12		12	60	
30	12	-84	48							00		12	72	
31	00	-72	12							-24		00	48	
32	00	-60	60							-24		36	24	
33	00	-84	60							-24		-24	36	
34	-12	-48	24							-48		-12	12	
35	00	-24	36							-48		00	36	
36	24	-48	84							-36		-12	60	
37	00	-36	72							-60		-24	96	
38	00	-36	48							-96		-24	36	
39	-36	-24	72							-72		-36	12	
40	-36	-36	84							-96		-36	12	
42	-24	-48	24							-108		-60	48	
44	-12	-36	48							-144		-48	96	
46	12	-12	48							-156		-96	-24	
48	00	00	120							-180		-96	84	
50	72	-24								-204		-84	48	

tatsächlichen Todeszeit in h der unter den Bedingungen „c“ bis „f“ untersuchten Fälle. Berechnung der Berechnung von Z. Statistische Maßzahlen zu den einzelnen Todeszeitstunden

56 1,0	62 1,2	33 2,4	66 1,4	67 1,7	55 0,9	68 0,7	n	\bar{x}	s	Variation	Ohne Nr. 62
168		108				156	6	98,0 ± 116,4		204... - 120	
132		48		- 48	96	120	13	60,0 ± 84,6		192... - 72	
156		- 12		- 108	108	96	16	51,8 ± 79,7		180... - 108	
144		- 12		- 168	96	84	18	39,3 ± 85,0		168... - 168	
132		24	84	- 120	84	60	20	35,4 ± 71,0		156... - 120	
96	- 324	48	24	- 108	60	48	21	9,1 ± 98,9		132... - 324	(- 108)
84	- 264	60	- 36	- 96	48	48	21	10,3 ± 86,8		144... - 264	(- 96)
84	- 240	60	48	- 96	48	36	21	15,4 ± 81,6		132... - 240	(- 96)
72	- 240	72	24	12	48	36	21	16,6 ± 74,0		108... - 240	(- 48)
60	- 228	108	24	- 24	00	48	21	12,6 ± 71,2		108... - 228	(- 60)
48	- 228	108	72	48	00	36	21	18,9 ± 69,2		108... - 228	(- 48)
36	- 216	108	48	- 12	12	12	21	9,7 ± 64,5		108... - 216	(- 60)
24	- 216	108	36	36	00	00	21	12,0 ± 63,7		108... - 216	(- 72)
00	- 216	84	36	24	00	24	21	9,7 ± 61,9		84... - 216	(- 60)
- 12	- 216	84	00	84	00	00	21	6,3 ± 64,8		84... - 216	(- 72)
- 12	- 204	84	24	48	- 12	48	21	9,1 ± 62,7		84... - 204	(- 48)
- 36	- 216	84	- 12	72	- 12	12	21	0,6 ± 67,0		84... - 216	(- 60)
- 48	- 216	72	- 48	96	12	12	21	2,3 ± 68,7		96... - 216	(- 72)
- 60	- 204	36	- 12	120	00	24	21	- 2,3 ± 65,8		120... - 204	(- 60)
- 60	- 216	36	- 72	84	- 36	36	20	- 9,6 ± 71,4		84... - 216	(- 84)
- 72	- 228	12	- 36		- 24	72	19	- 15,8 ± 79,9		72... - 228	(- 84)
- 84	- 240	36	- 48		- 12	120	18	- 14,0 ± 84,2		120... - 240	(- 96)
- 96	- 240	12	- 84		- 24	108	16	- 17,3 ± 88,3		108... - 240	(- 96)
- 108		- 24	- 60		- 60	96	14	- 6,9 ± 65,9		96... - 108	
- 120		- 48	- 60		- 36	84	13	- 4,6 ± 59,7		84... - 120	
- 156					- 36		8	- 12,0 ± 73,4		84... - 156	
- 168					- 60		8	- 15,0 ± 81,6		84... - 168	
					- 24		7	1,7 ± 51,1		60... - 84	
					- 48		7	1,7 ± 53,4		72... - 84	
					- 36		7	- 10,3 ± 38,2		48... - 72	
					- 12		7	3,4 ± 40,2		60... - 60	
					- 36		7	- 10,3 ± 47,7		60... - 84	
					- 48		7	- 18,9 ± 30,1		24... - 48	
					- 12		7	- 1,7 ± 30,6		36... - 48	
					00		7	10,3 ± 48,7		84... - 48	
					- 12		7	5,1 ± 57,5		96... - 60	
					48		7	- 3,4 ± 53,0		48... - 96	
					- 12		7	- 13,7 ± 45,7		72... - 72	
					- 12		7	- 17,1 ± 55,4		84... - 96	
					- 72		7	- 34,3 ± 54,8		48... - 108	
					24		7	- 10,3 ± 77,2		96... - 144	
					- 12		7	- 34,3 ± 69,1		48... - 156	
					60		7	- 1,7 ± 105,4		120... - 180	
					48		6	- 24,0 ± 105,4		72... - 204	

Tabelle 8. Häufigkeitsverteilung der zusammengefaßten Einzelabweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten aus Tabelle 7 unter Anwendung des jeweils „optimalen“ Körpergewichts-Korrekturfaktors für die von den Bezugsstandardbedingungen abweichenden Umstände nach Tabelle 6

Abweichung + min	Häufigkeit absolut	Abweichung – min	Häufigkeit absolut	Häufigkeit total +;– %
00	46			8
12	50	– 12	43	23
24	28	– 24	44	35
36	45	– 36	33	48
48	45	– 48	30	61
60	33	– 60	20	69
72	35	– 72	16	78
84	35	– 84	11	86
96	15	– 96	8	89
108	11	– 108	4	92
120	4	– 120	3	93
132	5	– 132	0	94
144	2	– 144	1	94
156	5	– 156	2	96
168	2	– 168	2	96
180	1	– 180	1	97
192	1	– 192	0	97
204	1	– 204	3	97
		– 216	7	99
		– 228	3	
		– 240	4	
		– 252	0	
		– 264	1	
		– 324	1	100

601 Einzelabweichungen. Mittelwert 6,5 min. Standardabweichung $\pm 72,6$ min. 95%-Toleranzgrenzen 169 ... – 156 min. 99%-Toleranzgrenzen 233 ... – 220 min (Toleranzfaktoren für $N=14$, entsprechend der durchschnittlich beteiligten Anzahl von Leichen, Documenta Geigy, 7. Auflage, S. 44, „k₄“)

Bei den Todeszeitberechnungen nach Tabelle 7 und 8 wurde der jeweils optimale Körpergewichts-Korrekturfaktor verwendet. Er konnte bei den einzelnen Fällen der Stichprobe nur dadurch auf empirische Weise (s. o.) ermittelt werden, daß vielstündige Temperaturregistrierungen bei genau bekanntem Todeszeitpunkt vorlagen. In der gerichtsmedizinischen Praxis von Todeszeituntersuchungen an aufgefundenen Leichen mit Bekleidung, Bedeckung usw. ist es nicht möglich, den optimalen Korrekturfaktor für die von den Bezugsstandardbedingungen (unbekleidet — ruhende Luft) abweichenden Abkühlungsumstände auf die gleiche Weise zu ermitteln. Stattdessen sollte man versuchen, die vorgefundenen Abküh-

Tabelle 9. Optimale und weitere, subjektiv abgeschätzte Körpergewichts-Korrekturfaktoren für Bekleidung, Bedeckung usw. (vgl. Tabelle 6)

Fall-Nr.	Körpergewichts-Korrekturfaktoren			
	optimal	weitere		
61	1,0	1,1		
63	1,1	1,0		
64	1,1	1,0		
58	1,1	1,2		
37	1,1	1,2		
57	1,3	1,2		
53	1,3	1,2	1,4	
50	1,4	1,3	1,5	
54	1,4	1,3	1,5	
36	1,5	1,6		
59	1,6	1,4	1,5	
60	1,8	1,6	1,7	
51	1,2			
52	1,3			
56	1,0	1,3		
62	1,2			
33	2,4	2,3	2,5	2,6
66	1,4	1,2	1,3	
67	1,7	1,5	1,6	1,8
55	0,9	0,8	1,0	
68	0,7	0,6	0,8	

lungsumstände des gegenständlichen Falls in die in der Tabelle 6 verbal beschriebenen Fälle mit Angabe der optimalen Korrekturfaktoren durch Vergleich einzuordnen und einen geeignet erscheinenden Korrekturfaktor für den gegenständlichen Fall auszuwählen. Dieser Vorgang ist subjektiv. Der subjektiv ausgewählte Körpergewichts-Korrekturfaktor wird deshalb nicht immer dem „optimalen“ Korrekturfaktor entsprechen, der im Falle einer experimentellen Untersuchung des gegenständlichen Falls ermittelt worden wäre. Die in Tabelle 7 und 8 dargestellten Abweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten können aus diesem Grunde nicht als Grundlage für mögliche Abweichungen der im gegenständlichen Fall der Praxis mit subjektiver Abschätzung des Korrekturfaktors berechneten Todeszeit dienen, sondern man muß mit größeren Abweichungen rechnen.

Um einen Anhalt dafür zu bekommen, welche Abweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten zu erwarten sind, wenn die zur Todeszeitberechnung verwendeten Korrekturfaktoren nicht den optimalen entsprechen, sondern infolge subjektiver Abschätzung größer oder kleiner sind, haben wir die Todeszeiten an den Fällen unseres Materials außer mit den jeweils optimalen

Tabelle 10. Abweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten in min unter Verwendung der optimalen und weiterer, subjektiv abgeschätzter Körpergewichts-Korrekturfaktoren nach Tabelle 9

t	L	n	\bar{x}	s	+ V -
2	6	16	106,5	± 98,8	252... - 120
3	13	34	58,6	± 83,7	228... - 84
4	16	41	45,1	± 88,6	288... - 120
5	18	46	31,0	± 97,7	288... - 180
6	20	50	30,7	± 87,7	288... - 156
7	21	51	16,0	± 95,8	264... - 324
8	21	51	14,8	± 90,2	264... - 264
9	21	51	19,2	± 90,0	276... - 240
10	21	51	21,6	± 85,1	276... - 240
11	21	51	16,2	± 91,1	276... - 228
12	21	51	24,0	± 89,3	288... - 228
13	21	51	12,9	± 91,7	288... - 216
14	21	51	13,2	± 93,8	276... - 216
15	21	51	12,7	± 93,9	276... - 216
16	21	51	11,5	± 93,3	288... - 216
17	21	51	12,0	± 100,5	300... - 204
18	21	51	1,7	± 108,0	300... - 228
19	21	51	3,1	± 113,5	312... - 240
20	21	51	- 0,7	± 112,2	300... - 264
21	20	50	- 11,0	± 120,3	324... - 252
22	19	46	- 17,5	± 121,3	324... - 252
23	18	43	- 0,8	± 136,4	324... - 276
24	16	39	- 28,0	± 145,7	324... - 312
25	14	35	- 28,5	± 145,5	324... - 312
26	13	32	- 27,8	± 150,6	336... - 336
27	8	17	- 4,9	± 138,9	312... - 216
28	8	17	- 7,1	± 144,0	312... - 228
29	7	15	- 22,4	± 125,2	168... - 252
30	7	15	- 24,8	± 131,1	204... - 252
31	7	15	- 36,0	± 129,7	180... - 240
32	7	15	- 22,4	± 128,9	192... - 240
33	7	15	- 36,0	± 140,8	204... - 264
34	7	15	- 44,8	± 134,7	192... - 252
35	7	15	- 29,6	± 138,4	216... - 228
36	7	15	- 28,0	± 150,6	228... - 252
37	7	15	- 28,8	± 153,2	228... - 264
38	7	15	- 30,4	± 159,6	300... - 276
39	7	15	- 43,2	± 152,7	240... - 288
40	7	15	- 48,0	± 155,7	240... - 288

Tabelle 10 (Fortsetzung)

t	L	n	\bar{x}	s	$+ V -$
42	7	15	- 71,2	$\pm 166,8$	228 ... - 324
44	7	15	- 45,6	$\pm 182,8$	312 ... - 324
46	7	15	- 71,2	$\pm 183,7$	288 ... - 384
48	7	15	- 45,6	$\pm 202,8$	384 ... - 396
50	6	13	- 50,8	$\pm 224,8$	372 ... - 396

t = tatsächliche Todeszeit (h p.m.)

L = Anzahl der Leichen

n = Anzahl der berechneten Modelle

V = Variationsbreite in min

Korrekturfaktoren auch mit weiteren größeren und kleineren Korrekturfaktoren berechnet (Tabelle 9).

Die sich dann ergebenden Abweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten an den 21 Leichen mit insgesamt 51 Korrekturfaktoren (Tabelle 9) sind in Tabelle 10 nach statistischer Aufbereitung über der tatsächlichen Todeszeit dargestellt.

Im Gegensatz zur Aufstellung der Abweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten unter ausschließlicher Anwendung optimaler Korrekturfaktoren nach Tabelle 7, ergibt sich in Tabelle 10 ein deutlicher Trend zunehmender Standardabweichungen mit steigender Todeszeit. Dieser Trend ist die Folge der Berechnung von Todeszeiten unter Anwendung von (subjektiv abgeschätzten) Korrekturfaktoren, die stärker von den jeweils optimalen differieren (z.B. Nr. 56 mit Faktor 1,3 oder Nr. 60 mit Faktor 1,6; s. Tabelle 9).

Im Interesse einer übersichtlichen Orientierung der zu erwartenden Fehlerbreite berechneter Todeszeiten bei Anwendung subjektiv abgeschätzter Körpergewichts-Korrekturfaktoren für Bekleidung, Bedeckung usw. versuchen wir wiederum, die Einzelabweichungen zumindest für Todeszeitbereiche zusammenzufassen.

Bis zur 20. Todeszeitstunde ergeben sich zwar einige statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Varianzen einzelner Todeszeitstunden (z.B. zwischen der 3., 6. und 10. h einerseits und der 19., 20. h andererseits), jedoch lassen sich die Varianzen der übrigen Stunden gegen die beiden höchsten Werte in der 19. und 20. h nicht als verschieden sichern.

Daraus wird die Berechtigung zu einer Näherung abgeleitet: Die Abweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten werden bis zur 20. Todeszeitstunde zusammengefaßt, so als ob sie voneinander unabhängige Werte seien.

In Tabelle 11 sind die Häufigkeitsverteilung der Einzelabweichungen und ihre statistischen Maßzahlen für den Todeszeitbereich 2. bis 20. h dargestellt.

Zwischen der 21. und 40. h lassen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede der Varianzen zwischen einzelnen Todeszeitstunden nachweisen. Die Varianz der 42. h ist statistisch signifikant größer als die Varianz der 21. Todeszeitstunde. Deshalb wird die zweite Zäsur mit der 40. h gezogen.

In Tabelle 12 sind die Häufigkeitsverteilung der Einzelabweichungen und ihre statistischen Maßzahlen für den Todeszeitbereich 21. bis 40. h dargestellt.

Tabelle 11. Häufigkeitsverteilung der für den Todeszeitbereich 2.–20. h zusammengefaßten Einzelabweichungen zwischen berechneten (Korrekturfaktoren nach Tabelle 9) und tatsächlichen Todeszeiten nach Tabelle 10

Abweichung + min	Häufigkeit absolut	Abweichung – min	Häufigkeit absolut	Häufigkeit total +;– f %
00	45			5
12	54	– 12	47	16
24	38	– 24	47	26
36	44	– 36	32	34
48	36	– 48	46	43
60	42	– 60	27	51
72	48	– 72	25	59
84	57	– 84	11	66
96	34	– 96	17	72
108	35	– 108	17	78
120	18	– 120	10	81
132	22	– 132	10	85
144	17	– 144	13	88
156	15	– 156	9	91
168	9	– 168	6	92
180	6	– 180	5	93
192	4	– 192	4	94
204	3	– 204	6	95
216	6	– 216	6	97
228	3	– 228	3	
240	0	– 240	3	
252	1	– 252	2	
264	2	– 264	0	98
276	5	– 276	0	99
288	6	– 288	0	
300	3	– 300	0	
312	1	– 312	0	
324	0	– 324	1	100

901 Einzelabweichungen. Mittelwert 19 min. Standardabweichung ± 97 min. 95%-Toleranzgrenzen 216... – 178 min; 99%-Toleranzgrenzen 282... – 244 min (Toleranzfaktoren für $N=47$ durchschnittlich beteiligte Modelle, Documenta Geigy 7. Auflage, S. 44, „k₄“)

Für den Bereich 42. bis 50. Todeszeitstunde wurde auf eine Berechnung statistischer Maßzahlen der zusammengefaßten Einzelabweichungen verzichtet. Man kann sich für diesen Zeitbereich an den Angaben in Tabelle 10 orientieren.

Die in Tabelle 11 und 12 genannten statistischen Maßzahlen der Abweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten sind das Ergebnis von Todes-

Tabelle 12. Häufigkeitsverteilung der für den Todeszeitbereich 21.–40. h zusammengefaßten Einzelabweichungen zwischen berechneten (Korrekturfaktoren nach Tabelle 9) und tatsächlichen Todeszeiten nach Tabelle 10

Abweichung + min	Häufigkeit absolut	Abweichung – min	Häufigkeit absolut	Häufigkeit total +;– %
00	18			4
12	16	– 12	15	11
24	6	– 24	18	16
36	16	– 36	22	24
48	16	– 48	14	31
60	20	– 60	12	38
72	11	– 72	19	44
84	13	– 84	15	50
96	7	– 96	11	54
108	5	– 108	9	57
120	8	– 120	10	61
132	5	– 132	11	65
144	12	– 144	7	69
156	6	– 156	9	72
168	6	– 168	12	76
180	5	– 180	7	79
192	5	– 192	5	81
204	6	– 204	7	84
216	2	– 216	4	85
228	4	– 228	13	89
240	3	– 240	11	92
252	0	– 252	10	94
264	0	– 264	6	95
276	0	– 276	4	96
288	3	– 288	2	97
300	2	– 300	0	98
312	2	– 312	2	
324	5	– 324	0	99
336	1	– 336	1	100

459 Einzelabweichungen. Mittelwert — 24 min. Standardabweichung ± 139 min. 95%-Toleranzgrenzen 270...–318 min; 99%-Toleranzgrenzen 376...–424 min (Toleranzfaktoren für $N=23$ durchschnittlich beteiligte Modelle, Documenta Geigy 7. Auflage, S. 44, „k₄“)

zeitberechnungen mit Verwendung der in Tabelle 9 angegebenen Körpergewichts-Korrekturfaktoren an den Fällen des vorliegenden Materials.

Wir empfehlen sie als Anhaltspunkt für mögliche Abweichungen zwischen einer im gegenständlichen Fall der Praxis berechneten Todeszeit von der tatsächlichen, wenn man durch Vergleich der vorgefundenen Abkühlungsbedin-

gungen mit den in Tabelle 6 beschriebenen, einen geeignet erscheinenden Körpergewichts-Korrekturfaktor subjektiv abgeschätzt hat.

Diskussion

Die Aussage einiger Autoren [5–9], an ihrem Untersuchungsmaterial (Sellier: Betrachtungen über das Untersuchungsmaterial von de Saram) habe sich ein Einfluß von Bekleidung/Bedeckung im Vergleich zu unbekleideten/unbedeckten Leichen nicht nachweisen lassen, ist wörtlich zu nehmen und gibt keinen Anlaß, dahingehend zu verallgemeinern, Bekleidung/Bedeckung hätten keinen Einfluß auf die Geschwindigkeit der Leichenabkühlung. Wenn Abkühlungsverläufe von Leichen mit unterschiedlichen Körperproportionen verglichen werden, ohne daß die Beträge der Körperproportionen in die Auswertung einbezogen werden (wie bei Mueller; Schwarz und Heidenwolf) und gleichzeitig die Bekleidung/Bedeckung keine große Wärmeisolationskraft besitzt, kann ihr Einfluß auf die Leichenabkühlungsgeschwindigkeit im Vergleich zu unbekleideten/unbedeckten Leichen nicht nachgewiesen werden. Das ließe sich auch an unserem Material demonstrieren. Die Körpergewichts-Korrekturfaktoren bringen den Unterschied zwischen unbekleideten und bekleideten Leichen unmittelbar zum Ausdruck. Danach ist der Abkühlungsverlauf z. B. einer 55,5 kg schweren Leiche mit Bekleidung der Art von Nr. 50 (Tabelle 6; Korrekturfaktor 1,4) etwa gleich zu dem einer 78 kg schweren unbekleideten Leiche, sofern beide in gleicher Umgebungstemperatur gelagert sind. Den direkten experimentellen Beweis des Einflusses von Bekleidung bzw. Bedeckung haben wir durch Untersuchungen mit Veränderung der Bedingungen an der gleichen Leiche bei relativ konstanter Umgebungstemperatur erbracht ([2, 3] vgl. Einleitung).

Die oben genannte Aussage von Mueller [5] sowie Schwarz und Heidenwolf [6] aus vorstehend dargelegten Gründen und ebenso von de Saram [7] sowie Sellier [8, 9] aus anderen, hier nicht diskutierten Gründen, stellt keinen Widerspruch zu unseren Untersuchungsergebnissen dar, wenn man ihre Aussagen so betrachtet, wie sie formuliert sind.

Allgemeine theoretische Erörterungen über den Einfluß von Bekleidung/Bedeckung und andere Bedingungen finden sich bei Sellier [8, 9] sowie Joseph und Schickele [10].

Prokop [11] fügt seiner Tabelle zur Schnellschätzung der Todeszeit aus der Leichenabkühlung nach Daten von Marshall für eine etwa 70 kg schwere Leiche die Bemerkung bei, daß sie für unbekleidete oder leicht bekleidete Leichen zutreffend sei. Diese Einschätzung kann mit den vorliegenden Untersuchungsergebnissen (etwa der Fälle Nr. 61, 63, 64, 58, 37 — Tabelle 6) in Übereinstimmung gebracht werden. Auch die Angabe Prokop's [11], „ist eine Leiche bekleidet, ist die Auskühlung etwa um ein Drittel reduziert“, kann mit den Ergebnissen der Fälle Nr. 57, 53, 50, 54 und 66 (Tabelle 6) bestätigt werden. Auch stimmen unsere Untersuchungsergebnisse grundsätzlich mit denen von Marshall [12] überein, der 9 Leichen mit „Zimmerbekleidung“ unterschiedlicher Dicke und 1 mit einem Mantel bekleidete Leiche bezüglich der Abkühlungsgeschwindigkeit analysierte, ohne allerdings für die praktische Anwendung konkrete Schlußfolgerungen zu

Tabelle 13. Abweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten in Minuten der beiden Fälle mit hohem Fieber bei Todeseintritt. Berechnung der Todeszeiten nach Formel I („37,2-Tu“) sowie mit 39, 40, 41 und 42°C anstelle von 37,2°C

<i>t</i>	Nr. 62 (<i>Tu</i> = 15,8°C; 66 kg; <i>f</i> = 1,2)						Nr. P-01 (<i>Tu</i> = 8,8°C; 52 kg; <i>f</i> = 0,75)					
	<i>Tr</i>	37,2	39	40	41	42	<i>Tr</i>	37,2	39	40	41	42
2,4							37,6		-48	-12	12	48
3							37,1	-156	-60	-36	00	24
4							35,4	-120	-72	-36	-12	00
5	38,7		-204	-108	-36	24	33,4	-108	-72	-48	-24	00
6	37,9		-180	-96	-36	12	31,6	-120	-72	-48	-36	-12
7	36,9	-324	-156	-84	-36	24	29,5	-108	-72	-48	-24	-12
8	35,8	-264	-132	-72	-24	24	27,8	-120	-72	-60	-36	-12
9	34,9	-240	-132	-72	-24	24						
10	34,1	-240	-132	-84	-24	12						
...												
13	31,4	-216	-120	-72	-24	24	20,5	-120	-84	-60	-48	-24
...												
22	25,7	-228	-144	-96	-48	-12	13,8	-156	-120	-96	-84	-60
...												
24	24,7	-240	-144	-96	-60	-12						

ziehen. Marshall's Aussagen über den Einfluß der Bekleidung auf den Betrag des Exponenten *Z*, Abnahme proportional zum „size factor“, lassen sich durch unsere Ergebnisse bestätigen, nachdem wir bereits in einer früheren Arbeit [3] die Ähnlichkeit der Normierung von *Z* über den „size factor“ bzw. das Körpergewicht diskutiert haben.

Interessant sind auch die Ausführungen über eine „irreguläre“ Auskühlung bei den meisten bekleideten Leichen in den ersten zwei bis drei Stunden nach Beginn der Temperaturmessung in Marshall's Institut, die er als Artefakte durch externe Einflüsse beim Leichentransport, stärkere Auskühlung auf dem Transport im Vergleich zur Auskühlung unter den Bedingungen der nachfolgenden Temperaturmessung, bezeichnet. Wir haben dieses Phänomen ebenfalls beobachtet, insbesondere bei Leichen, deren Bekleidung bei der Ankunft im Institut in der Gürtellinie verschoben war und insbesondere auch dann, wenn die Außentemperaturen niedrig lagen und der Tod im Freien eingetreten war. Dieser methodische Mangel mußte, wie unter „Material und Methodik“ dargestellt wurde, auch an unserem Untersuchungsmaterial in Kauf genommen werden. Marshall [12] hat die „irreguläre“ Anfangsphase bei der weiteren Analyse bezüglich der Todeszeitberechnung ausgelassen.

Wir haben dies nicht getan, um zu vermeiden, dem Verfahren der Todeszeitschätzung bekleideter Leichen eine höhere Präzision zu unterstellen als sie im Untersuchungsmaterial tatsächlich vorhanden war. Jedoch kann man vermuten, daß die berechneten Todeszeiten an einem Material ohne den methodischen Mangel unkontrollierter Abkühlungsbedingungen in den ersten Stunden weniger

stark von den tatsächlichen Todeszeiten, insbesondere innerhalb der ersten 10 bis 15 h, abweichen als am vorliegenden Material.

Bezieht man aber auch andere Fehlerquellen als das versuchstechnische „Artefakt“ in die Überlegungen ein, z. B. höhere oder niedrigere Kerntemperaturen bei Todeseintritt, so können die von uns angegebenen Fehlergrenzen auch für die frühe Abkühlungsphase zutreffend sein.

Bei den beiden Fällen unseres Materials mit hohem Fieber zum Zeitpunkt des Todeseintritts (Nr. P-01 und 62), ebenso wie bei einem weiteren Fall unseres früheren Materials, sind die Abweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten von Anfang an sehr groß. Die berechneten Todeszeiten sind weit geringer als die tatsächlichen (vgl. P-01 in Tabelle 4 und Nr. 62 in Tabelle 7). Das ist bei Berechnung der Todeszeiten nach Formel I mit dem Ausdruck „(37,2-Tu)“ nicht anders zu erwarten. Andererseits hätte in unseren Fieberfällen jeweils allein das Sektionsergebnis (s.o.) die Annahme von höherem Fieber bei Todeseintritt gerechtfertigt. In der Praxis sollte man in derartigen Fällen anstelle von „37,2“ einen höheren Betrag in die Formel I einsetzen. Die berechnete Todeszeit weicht dann weniger stark von der tatsächlichen ab (Tabelle 13). (In solchen Fällen wäre die Anwendung der Nomogramme nach Abb. 1 bis 4 nicht möglich.) Bei den Betrachtungen hinsichtlich möglicher Abweichungen zwischen berechneten und tatsächlichen Todeszeiten sollte man dessen ungeachtet nicht außer Acht lassen, daß in einem gegenständlichen Fall, für den Untersucher retrospektiv nicht erkennbar, höheres Fieber bei Todeseintritt bestanden haben kann.

Aus diesem Grunde wurden die beiden Fieberfälle nicht aus dem Gesamtmaterial herausgenommen, sondern so behandelt als sei vom bestehenden Fieber bei Todeseintritt nichts bekannt gewesen. Ausnahme: die Ermittlung des „optimalen“ Korrekturfaktors bei Nr. 62 (s.o.).

Die Einbeziehung anderer Verfahren in die Todeszeitschätzung der ersten 10 h p.m., insbesondere solcher, die supravitale Reaktionen [11, 13], wahrscheinlich auch die Gehirntemperatur [14] als Kriterium benutzen, entläßt uns aus einer möglicherweise überzogenen Einengung der Fehlergrenzen an unserem Untersuchungsmaterial in den ersten Stunden postmortal.

Die von uns untersuchten Bekleidungen, Bedeckungen und anderen Umstände wie feuchte Bekleidung und „Wind“ geben noch kein vollständiges Bild über den Einfluß von Bekleidung usw. auf die Leichenabkühlung schlechthin, doch stellen sie ein Gerüst dar, an dem man sich vorerst orientieren kann.

Wir empfehlen für den gegenständlichen Fall, die von den Bezugsstandardbedingungen (unbekleidet — gestreckte Rückenlage — ruhende Luft) abweichenden Umstände anhand der verbalen Beschreibungen und optimalen Korrekturfaktoren der Tabelle 6 einzuordnen und durch Vergleich einen dafür in Frage kommenden Korrekturfaktor abzuschätzen.

Die jetzt vorgelegten Bezugsnomogramme (Abb. 1 bis 4) erleichtern die Schätzung der Todeszeit erheblich, zumal die nomographische Ablesung im Vergleich zur Berechnung keine nennenswerte zusätzliche Ungenauigkeit verursacht. Die Ablesung der Todeszeit für Bezugsstandardbedingungen erfolgt entsprechend der Rektal- und Umgebungstemperatur auf dem Kreisbogen des Körpergewichts der Leiche gemäß Abb. 3 und 4.

Für den Fall, vom Bezugsstandard abweichender Bedingungen, erfolgt die Ablesung der Todeszeit auf dem Kreisbogen des durch den entsprechenden Korrekturfaktor veränderten Körpergewichts. Ohne Mühe können dabei auch Todeszeiten für mehrere in Frage kommende Korrekturfaktoren abgelesen werden. Man erhält auf diese Weise sehr schnell einen Überblick über den möglichen Todeszeitbereich eines gegenständlichen Falls.

Wir empfehlen, lediglich Todeszeitbereiche anzugeben, je nach Lage des Falls in den dafür genannten 95%- bzw. 99%-Toleranzgrenzen, die wir mit „wahrscheinlicher“ bzw. „sehr wahrscheinlicher“ Todeszeitbereich bezeichnen würden.

Die angegebenen Toleranzgrenzen gelten für den Fall relativ konstanter Umgebungstemperatur (wie in unseren experimentellen Untersuchungen) und gut einschätzbaren Abkühlungsbedingungen (relativ gut mit den Angaben zu unseren experimentellen Untersuchungen nach Tabelle 6 vergleichbar) bis zu einer minimalen Differenztemperatur zwischen Rektum und Umgebung von 2°C und gegebenenfalls bis zu 50 h postmortal. Sind diese Voraussetzungen nicht erfüllt, muß mit größeren Fehlergrenzen einer ermittelten Todeszeit gerechnet werden. Die kritische Einschätzung am Leichenfundort, ob im gegenständlichen Fall die Abkühlungsbedingungen einschließlich einer relativen Konstanz der Umgebungstemperatur innerhalb des in Frage kommenden Todeszeitraums vertrauenswürdig einschätzbar sind oder nicht, entscheidet über die Zuverlässigkeit der Todeszeitbereich-Aussage. Da außerdem zu berücksichtigen ist, ob erhöhte oder erniedrigte Kerntemperaturen bei Todeseintritt geherrscht haben könnten (was allerdings nur in extremen Fällen die angegebenen Toleranzgrenzen sprengen könnte), halten wir es für unverzichtbar, daß das Verfahren nur von diesbezüglich erfahrenen Medizinern angewendet wird. Vor der Anwendung des Verfahrens auf möglicherweise an oder in Kombination mit allgemeiner Unterkühlung Verstorbene ist dringend abzuraten.

Zur Schätzung von Körpergewichts-Korrekturfaktoren: Der Umstand permanenter Luftbewegung ließ sich bei den sieben untersuchten unbedeckten Leichen in guter gegenseitiger Übereinstimmung durch den Korrekturfaktor 0,75 beschreiben, was in den relativ engen Fehlergrenzen zum Ausdruck kommt. Die Leichen waren einer permanenten, aber keineswegs starken Luftbewegung ausgesetzt. Werden unbedeckte Leichen in Räumen mit auch nur geringem Luftdurchzug (z.B. offene Fenster und Türen) aufgefunden, sollte der Korrekturfaktor 0,75 angewendet werden. Der deutliche Einfluß auch geringer permanenter Luftbewegung auf die Leichenabkühlung ist eingedenk der damit verbundenen erhöhten konvektiven Wärmeabgabe gut zu erklären. Inwieweit stärkere Luftbewegungen einen noch geringeren Betrag des Korrekturfaktors erfordern, können wir zur Zeit nicht sagen. Auf keinen Fall sollte man Vergleiche zu diesbezüglichen physiologischen Erkenntnissen anstellen (wie sie bei Joseph und Schickele [10] mehrfach anklingen), weil bei der Leiche jeglicher konvektiver Wärmetransport vom „Kern“ zur „Schale“ entfällt.

Die beiden Leichen Nr. 66 und 67 (Tabelle 6) mit trockener Bekleidung + permanenter Luftbewegung hatten einen Abkühlungsverlauf wie entsprechend bedeckte Leichen in ruhender Luft; ein Einfluß der permanenten Luftbewegung war nicht nachweisbar; Trenchcoat (66) bzw. Stoffmantel (67) verhindern, daß

die ruhende Luftschicht über der Körperoberfläche durch die permanente Luftbewegung der Außenluft „gestört“ wird, womit eine Erhöhung des konvektiven Wärmetransports von der Körperoberfläche zur Umgebung durch die Außenluftbewegung praktisch entfällt. Bei feuchter Bekleidung + permanenter Luftbewegung scheint von Bedeutung zu sein, inwieweit auch die innersten, der Körperoberfläche anliegenden Bekleidungsstücke durchfeuchtet sind. Bei vollständig durchfeuchteter auch innerster Bekleidung (Nr. 68 gegenüber Nr. 55) ist ein stärkerer Einfluß sowohl der Feuchtigkeit selbst als auch der permanenten Luftbewegung im Gegensatz zu nur oberflächlich feuchter Bekleidung (Nr. 55) zu erwarten.

Bei der Schätzung eines Korrekturfaktors für Bekleidung/Bedeckung muß man sich ausschließlich nach dem Bedeckungsgrad des Rumpfes unterhalb des Nabels richten. Man darf sich dabei keinesfalls von einem oberflächlichen Eindruck leiten lassen, etwa zahlreiche Bekleidungsstücke offenbar hoher Wärmeisulationskraft müßten auch unbedingt einen hohen Korrekturfaktor bedingen, wenn bei genauer Betrachtung die Bekleidung verschoben ist und vielleicht ein Streifen der Körperoberfläche im Bereich der Gürtellinie unbedeckt ist. Bei der Beurteilung der Bekleidung sollte man daran denken, daß das Temperaturgefälle ganz überwiegend *radial* von innen nach außen und nur in geringem Ausmaß longitudinal gerichtet ist [8–10] und zugleich an den Ort der Temperaturmessung im tiefen Rektum und/oder an der Mesenterialwurzel im linken Unterbauch. Aus dem gleichen Grund sollte die Kerntemperatur der unteren Rumpfhälfte sehr sorgfältig gemessen werden, worauf Sellier [8, 9] sowie Joseph und Schickele [10] ausdrücklich hinweisen. Neben der Temperaturmessung im tiefen Raum empfehlen wir eine zusätzliche Messung an der Mesenterialwurzel im linken Unterbauch. In Abhängigkeit von der Lage der Leiche sollte man die der Auflegeseite abgewandte (in der Regel etwas höhere) Temperatur verwenden, besonders dann, wenn die Wärmeleitfähigkeit des Auflegegrundes hoch zu sein scheint. Das sind weitere Argumente für die Forderung, daß Todeszeitschätzungen nur von Sachkundigen in Kenntnis aller Umstände am unveränderten Leichenfundort durchgeführt werden sollten.

Wir selbst haben bei unseren experimentellen Untersuchungen nicht in allen Fällen genügend genau auf die exakte Korrektur von bei Einlieferung der Leichen verschobener Bekleidung geachtet, z.B. im Fall Nr. 36; bei korrektem Sitz der genannten Bekleidung wäre im Vergleich zur beschriebenen Bekleidung anderer Fälle (Nr. 59 und 60) ein höherer Korrekturfaktor zu erwarten. Beachtenswert erscheint der hohe Korrekturfaktor von 1,6 des Falls Nr. 59: Ohne die genannte Gummileibbinde mit Bruchdruckpolster rechts würde der Bekleidung ein Korrekturfaktor von etwa 1,2 zuzuordnen sein. Inwieweit eine meßtechnische Erfassung der Wärmeisulationskraft der den unteren Rumpfteil bedeckenden Bekleidung die Fehlergrenzen auf das in Tabelle 8 angegebene Maß reduzieren könnte, kann hier nicht entschieden werden; die Methode würde jedenfalls dadurch kompliziert werden.

Aus unseren Untersuchungsergebnissen und ihrer Diskussion geht deutlich hervor, daß weitere experimentelle Untersuchungen der Leichenabkühlung unter verschiedenen Abkühlungsbedingungen notwendig sind, um die Zuverlässigkeit der Todeszeitschätzung zu erhöhen.

Hier ist auch ausdrücklich darauf hinzuweisen, daß der von uns bisher untersuchte Umgebungstemperaturbereich noch begrenzt ist. Insbesondere wurden noch keine experimentellen Leichenabkühlungen in Umgebungstemperaturen unter 0°C durchgeführt. Zumindest wenn die äußeren Gewebsschichten der Leiche (in der Region der Temperaturmessung) gefroren sind, wäre eine langsamere Abkühlung des Kerns denkbar. Im Bereich über 23°C haben wir selbst ebenfalls noch keine eigenen Untersuchungen durchgeführt, sondern unsere Schlußfolgerungen aus den von de Saram [7] veröffentlichten Daten abgeleitet, wie in der Diskussion unserer früheren Arbeit in dieser Zeitschrift im Zusammenhang mit der nur groben stufenförmigen Normierung des Exponenten p kritisch diskutiert wurde. Folge davon ist, daß im Übergangsbereich der Umgebungstemperatur um $23,2^{\circ}\text{C}$ zu gleichen erhobenen Befunden zwei unterschiedliche Todeszeiten berechnet bzw. nomographisch abgelesen werden, je nachdem, ob Formel I oder II (bzw. die analogen Nomogramme) benutzt werden. Auch zu diesem Problem der Methode können wir derzeit keine präzise Lösung angeben.

Trotz der Bemühungen einer möglichst weitgehenden Objektivierung der Leichenabkühlung durch mathematische Beschreibungen, die wir für sehr nützlich halten, wird dem Leser deutlich geworden sein, daß die Erfahrung des Untersuchers von großer Bedeutung bleiben wird. Wir hoffen besonders durch die Einführung der Nomogramme zum Sammeln von Erfahrungen mit der Methode anzuregen, weil der Aufwand damit nicht mehr im Mißverhältnis zum oft nur geringen kriminalistischen Wert des Ergebnisses steht. Was die nur relativ bescheidene Präzision der Todeszeitschätzung mit Hilfe dieses Verfahrens betrifft und auch die notwendigen Voraussetzungen, sie überhaupt (vor allem im späteren Todeszeitbereich) anwenden zu können, so vergleiche man selbst mit anderen Methoden einer Todeszeitschätzung besonders jenseits der ersten 10 h postmortal. Im übrigen entscheidet der Ermittlungsstand im gegenständlichen Fall, zu dem der Gerichtsmediziner gerufen wird, darüber, ob eine Todeszeitschätzung mit der gegebenen Präzision kriminalistisch nützlich sein kann oder nicht.

Literatur

1. Marshall TK, Hoare FE (1962) Estimating the time of death. J Forens Sci 7: 56–81; 189–210; 211–221
2. Henßge C (1979) Die Präzision von Todeszeitschätzungen durch die mathematische Beschreibung der rektalen Leichenabkühlung. Z Rechtsmed 83: 49–67
3. Henßge C (1979) Die mathematische Beschreibung der Leichenabkühlung. Präzision von Todeszeitbestimmungen unter Standardbedingungen. Kriminal Forens Wiss 36: 65–82
4. Henßge C (1981) Temperatur-Todeszeit-Nomogramme für Bezugsstandardbedingungen der Leichenlagerung. Kriminal Forens Wiss (im Druck)
5. Mueller B (1938) Das Verhalten der Mastdarmtemperatur der Leiche unter verschiedenen Bedingungen. Dtsch Z Ges Ger Med 29: 158–162
6. Schwarz F, Heidenwolf H (1953) Le refroidissement post mortem. Sa signification quant à l'heure du décès. Rev Int Police Crim 8: 339–344
7. De Saram GSW (1955) Post-mortem temperature and the time of death. J Crim Law Criminol 46: 562–577
8. Sellier K (1960) Über die Todeszeitbestimmung durch Extrapolation der Temperaturabfallkurve einer Leiche. Inaug-Diss Med Fak Univ, Bonn 1960

9. Sellier K (1958) Determination of the time of death by extrapolation of the temperature decrease curve. *Acta Med Leg Soc (Liège)* 11:279–302
10. Joseph A, Schickele E (1970) A general method for assessing factors controlling post-mortem cooling. *J Forens Sci* 15:364–391
11. Prokop O (1975) Die Abkühlung der Leiche. Supravitale Erscheinungen. In: Prokop O, Göhler W (Hrsg) *Forensische Medizin. Volk und Gesundheit*, Berlin, S 43–45, 16–23
12. Marshall TK (1962) s Lit Nr 1, pp 189–210
13. Joachim H, Feldmann U (1980) Eine quantitative Methode der Todeszeitbestimmung durch Untersuchung der galvanischen Reizschwelle. *Z Rechtsmed* 85:5–22
14. Brinkmann B, Menzel G, Riemann U (1978) Postmortale Organtemperaturen unter verschiedenen Umweltbedingungen. *Z Rechtsmed* 81:207–216
15. Nitschke C (1981) Die rektale Abkühlung bekleideter und bedeckter Leichen. Vergleich zur rektalen Abkühlung unbekleideter Leichen. *Med Dipl Humboldt-Univ, Berlin*

Eingegangen am 21. Mai 1980