

Die Präzision von Todeszeitschätzungen durch die mathematische Beschreibung der rektalen Leichenabkühlung

C. Henßge

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

Precision of Estimating the Time of Death by Mathematical Expression of Rectal Body Cooling

Summary. A representative material of experimental rectal cooling curves proves the basic validity of the model described by Marshall et al. for the mathematical expression of body cooling.

For defined conditions of cooling as a relating standard the values of the exponents needed for the solution of the formula closely correlate with the weight of body to be raised to the -0.625 power. For applying in forensic cases a prescription easily to be used for the chosen relating standard of cooling is given for the computing of the time of death with permissible variation. From the first experiments of different conditions of body cooling to be met in forensic cases the possibilities of extending the range of application are derived.

Key words: Estimation of death time, dead body cooling – Dead body cooling, estimation of death time

Zusammenfassung. An einem repräsentativen Material von experimentellen Leichenabkühlungen wird die grundsätzliche Eignung des von Marshall et al. angegebenen Modells für die mathematische Beschreibung der Leichenabkühlfunktion bestätigt.

Für definierte Bedingungen der Leichenlagerung als Bezugsstandard korrelieren die zur Lösung der Gleichung benötigten Exponentenbeträge sehr straff mit dem Körpergewicht in der Potenz $-0,625$. Zur Anwendung in der gerichtsmedizinischen Praxis wird für die gewählten Bezugsstandardbedingungen eine praktikable Vorschrift zur Todeszeitberechnung mit Angabe von Toleranzgrenzen vorgelegt. Aus ersten Untersuchungen über verschiedene in der Praxis anzutreffende Leichenlagerungsbedingungen werden die Möglichkeiten zur Erweiterung des Anwendungsbereichs abgeleitet.

Schlüsselwörter: Todeszeitbestimmung, Leichenabkühlung – Leichenabkühlung, Todeszeitschätzung

Die mathematische Beschreibung der rektalen Leichenabkühlung nach Marshall et al. [4—6] lautet in etwas veränderter Form:

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

- ϑ Differenztemperatur (Rektum – Umgebung) in Grad Celsius;
 t Zeit nach Todeseintritt in Stunden postmortal ($h_{p.m.}$) 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.

Grundvoraussetzung für die Anwendung des Modells ist zunächst, daß sowohl die Umgebungstemperatur als auch die anderen Abkühlungsbedingungen über der Todeszeit relativ konstant bleiben. Nachdem in der Praxis forensischer Todeszeitschätzungen durch die kritische Anwendung der von Marshall angegebenen Methode gute Erfahrungen gemacht worden sind [7], wurde mit eigenen Untersuchungen begonnen.

Folgende Fragestellungen sollten beantwortet werden:

Beschreibt das Modell die rektale Leichenabkühlung ohne systematische Abweichungen? Mit welchen zufälligen Fehlern einer am Einzelfall durchgeführten Todeszeitberechnung muß man rechnen, wenn am Leichenfundort nur eine einmalige Temperaturmessung erfolgen kann? Bestehen Aussichten, das Verfahren für verschiedene typische Abkühlungsbedingungen einer Leichenauffindung praktikabel zu machen? Bestehen Aussichten, das Verfahren in modifizierter Form auch dann anwenden zu können, wenn die Rekonstruktion der Abkühlungsbedingungen zeitlich vor der Leichenauffindung ergibt, daß sich die Umgebungstemperatur geändert hat?

Material und Methodik

39 Leichen plötzlich in der Öffentlichkeit und 2 Leichen im Krankenhaus zu bekanntem Zeitpunkt Verstorbener; Lebensalter bei Todeseintritt zwischen 11 Monaten und 93 Jahren; Körpergewicht zwischen 9 und 112 kg. Untersuchungsbeginn 1—6 Std, meistens 2 Std nach Todeseintritt. Zwischen Todeseintritt und Untersuchungsbeginn bestanden uneinheitliche Lagerungsbedingungen, die bei der Analyse der Untersuchungsergebnisse nicht beachtet wurden. Abbruch der Untersuchungen zwischen 15 und 117 Std 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-Minuten-Intervall; Präzision der Temperaturmessung etwa $\pm 0,2^\circ\text{C}$. Bei 2 Leichen konnten nur lückenhafte Thermometermessungen durchgeführt werden.

Untersuchungsserie unter Bezugsstandardbedingungen

35 Leichen in gestreckter Rückenlage auf einer flach gewölbten Metalltrage, einfache Lage einer Decke zwischen Trage und Rücken der Leiche. Standort im Gang des Kühlzellenkellers des Instituts (etwa 100 m³) mit dadurch indirekt grob thermostasierter Lufttemperatur, je nach

Außentemperatur auf einem Niveau zwischen $9,2$ und $17,4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Die Raumluft kann im Prinzip als ruhend betrachtet werden, jedoch sind unkontrollierte gelegentliche kurzfristige Luftbewegungen durch Öffnen von Türen und Zutritt von Personen aufgetreten.

Untersuchungen mit Änderung der Bedingungen

Permanente Luftbewegung (Wind): Bei 4 der 35 Leichen unter Bezugsstandardbedingungen wurden 20 bis 29 Std nach Todeseintritt die ursprünglichen Bedingungen durch Einschalten eines 2 m über der Leiche angebrachten 25-Watt-Ventilators verändert und die Untersuchung mit nunmehr ständiger Luftbewegung mindestens weitere 23 Std fortgesetzt. Eine weitere Leiche wurde von vornherein mit eingeschaltetem Ventilator untersucht. Zwei weitere Leichen wurden im Kühlraum des Pathologischen Instituts der Humboldt-Universität Berlin ebenfalls von vornherein bei permanenter Luftbewegung durch ein festinstalliertes Luftgebläse an der Raumdecke untersucht.

Bekleidung, Bedeckung: Eine der 35 Leichen wurde zunächst über 23 Std mit vollständiger Straßenbekleidung (Außentemperatur 12°C), eine der 35 Leichen über 26 Std mit bettähnlicher Bedeckung auf Matratzen untersucht; die Messungen wurden danach bei Lagerung unter Bezugsstandardbedingungen fortgesetzt. Eine weitere Leiche wurde durchgehend mit vollständiger Straßenbekleidung (Außentemperatur 10°C) gemessen.

Sprunghafte Änderung der Umgebungstemperatur: Bei 2 der 35 Leichen erfolgte die Temperaturmessung zunächst bei etwa $24,9$ bzw. $21,5^{\circ}\text{C}$ bis zur 18. bzw. 19,5. Std postmortal und anschließend bis zur 65. bzw. 79. Std postmortal bei etwa $11,8$ bzw. $10,2^{\circ}\text{C}$.

Behandlung der Meßwerte

Umgebungstemperatur: Das mathematische Modell verlangt einen einheitlichen Betrag der Umgebungstemperatur für die gesamte Meßdauer. In den vorliegenden Untersuchungen hat jedoch nur eine relative Konstanz der Umgebungstemperatur innerhalb eines Falles vorgelegen. Besonders bei den sehr langfristigen Untersuchungen hat sich die Umgebungstemperatur bei einigen Fällen über der Meßzeit um einige Grad Celsius verändert, teilweise phasisch, aber auch tendenziös. Es mußte deshalb aus den jeweils über der Zeit registrierten Umgebungstemperatur eine für die ganze Versuchsdauer „repräsentative“ Umgebungstemperatur festgelegt werden. Solange zwischen Rektal- und Umgebungstemperatur eine noch genügend große Differenz besteht, spielen auch größere phasische Abweichungen der tatsächlichen momentanen Umgebungstemperatur von der für die gesamte Untersuchungsdauer festgelegten „repräsentativen“ Umgebungstemperatur als Rechengröße keine erhebliche Rolle für die Beantwortung der Fragestellungen. Bei nur noch geringer Differenz zwischen Rektal- und Umgebungstemperatur haben jedoch auch kleine Abweichungen zwischen „repräsentativer“ und tatsächlicher momentaner Umgebungstemperatur besonders dann eine große Bedeutung, wenn sie über mehrere Stunden anhalten und tendenziös sind. Dieses Problem läuft auf die Frage hinaus, bis zu welcher unteren Grenze einer zwischen Rektum und Umgebung bestehenden Differenztemperatur überhaupt noch Schlußfolgerungen hinsichtlich der Todeszeit zu ziehen sind.

Rektaltemperatur. Aus den Registrierungen der Rektaltemperatur im 2-Minuten-Intervall wurden die Werte einer jeweils vollendeten Todeszeitstunde ausgemessen und als diskrete Meßgröße behandelt.

Differenztemperatur (Rektum – Umgebung). Es wurde die Differenz zwischen gemessener Rektaltemperatur zu jeder vollendeten Todeszeitstunde und für einen Versuch ermittelter „repräsentativer“ Umgebungstemperatur gebildet und als Meßwert für ϑ verwendet.

Experimentelle Ermittlung des Betrages für den Exponenten Z

Bilden des Logarithmus naturalis der fortlaufenden Werte für ϑ , und Zuordnen zu den korrespondierenden Werten für t . Die graphische Darstellung von $\ln \vartheta$, über t ergibt mit Ausnahme der ersten postmortalen Stunden eine lineare Beziehung (frühestens nach 5, spätestens nach 14 Std

postmortal). Aus den Meßwerten für $t(X)$ und $\ln \mathcal{G}_t(Y)$ des Linearitätsbereichs einer jeden Untersuchung wurde eine Regressionsrechnung erster Art durchgeführt, in deren Ergebnis ($Y = a_{yx} + b_{yx} X$) man den Exponenten Z als Regressionskoeffizienten b_{yx} erhält und mit a_{yx} einen Wert, der dem Ausdruck

$$\ln \left(\mathcal{G}_0 \frac{p}{p-Z} \right) \text{ (identisch mit Marshalls } \ln „B“)$$

entspricht.

Experimentelle Ermittlung des Betrages für den Exponenten p

$p = Z + (\mathcal{G}_0 Z / e^{a_{yx}} - \mathcal{G}_0)$, wobei \mathcal{G}_0 generell aus 37,2 – „repräsentative“ Umgebungstemperatur gebildet wurde.

Der Begriff „experimentelle Ermittlung“ wurde für diese Art der Exponentenermittlung gewählt, weil sie die langfristige Messung von Temperaturen erfordert.

Ergebnisse

Wenn die Beträge der beiden Exponenten Z und p aus den Meßwerten der Differenztemperatur über eine lange Periode der Todeszeit in der vorstehend beschriebenen Weise „experimentell“ ermittelt wurden, konnten die Todeszeiten mit der in

Tabelle 1. Häufigkeitsverteilung der Abweichungen zwischen berechneter und tatsächlicher Todeszeit (experimentell ermittelte Beträge für die Exponenten Z und p). 1369 Meßpunkte von 39 Leichen bis zu 60 Std postmortal

Abweichung ± Minuten	Häufigkeit		Abweichung ± Minuten	Häufigkeit	
	absolut	f %		absolut	f %
0	509	37	96	12	98
12	318	60	108	3	—
24	226	77	120	12	99
36	116	85	132	4	—
48	72	91	144	3	—
60	48	94	156	0	—
72	26	96	168	1	100
84	12	97			

Tabelle 2. Parameter der Abweichungen zwischen berechneter und tatsächlicher Todeszeit in Minuten in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz (Rektum—Umgebung) bei experimenteller Ermittlung der Beträge für die Exponenten

$\mathcal{G}_t(^{\circ}\text{C})$	Meßpunkte „n“	Leichen- anzahl	Mittel- wert	Standard- ab- weichung	95%-Toleranz- grenzen	Variations- breite
6.8—3.0	358	38	-3.2	± 23	42— -49	72— -84
2.9—2.0	106	30	-8.3	± 31	54— -70	120— -108
1.9—1.0	98	27	12.5	± 55	121— -96	144— -168
0.9—0.5	15	9	14.4	± 70	169— -141	192— -108

Abb. 1. Fehler der Todeszeitberechnung in Abhängigkeit von der Todeszeit — bekannte Beträge für die Exponenten Z und p —. Fehlermittelwerte (Punkte), 95%-Toleranzgrenzen (durchgezogene Linien), Variationsbreite (Balken)

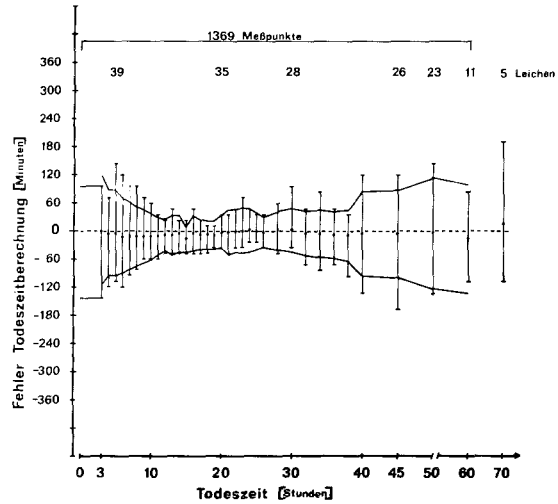


Abbildung 1 und den Tabellen 1 und 2 dargestellten Präzision durch Berechnung der rektalen Leichenabkühlung mit Hilfe der Formel ermittelt werden. Im Interesse einer besseren Anschaulichkeit wurden die Abweichungen zwischen berechneten und gemessenen Rektaltemperaturen zu jeder vollendeten Todeszeitstunde in Abweichungen zwischen berechneter und tatsächlicher Todeszeit ausgedrückt. Für die in Abbildung 1 dargestellte Fehleranalyse konnten alle Untersuchungen einbezogen werden, die unter zeitlich konstanten Abkühlungsbedingungen, gleichgültig welchen, gelagert waren und von denen über eine hinreichend lange Todeszeitperiode weitgehend lückenlos Meßwerte gewonnen werden konnten. Dies war bei 39 der insgesamt 41 untersuchten Leichen der Fall. (Bei 2 der 41 Leichen lagen zu lückenhafte Temperaturmessungen vor, sie konnten deshalb für diese Analyse nicht einbezogen werden.) Von den 39 einbezogenen Leichen wurden insgesamt 1369 Einzelmeßwerte über der Todeszeit mit den jeweils zugehörigen berechneten Werten verglichen, d. h. von jeder Leiche bei durchschnittlich 35 verschiedenen Todeszeitstunden. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Fehleranalyse sind:

Die Fehlermittelwerte liegen über der Todeszeit durchgehend ganz nahe bei Null. Daraus folgt: Das Modell beschreibt die tatsächliche rektale Leichenabkühlung über der Todeszeit ohne *systematische* Fehler, d. h. prinzipiell richtig, womit unsere erste Fragestellung positiv beantwortet ist. Gleichzeitig gibt die Fehleranalyse der Abbildung 1 Auskunft darüber, welche *zufällige* Fehlerbreite bei Berechnungen der Todeszeit am Einzelfall unter den denkbar günstigsten Bedingungen (Vorliegen vielstündiger Temperaturmeßwerte unter relativ konstanten Abkühlungsbedingungen) erwartet werden kann. Die Konvergenz der zufälligen Fehlerbreite im mittleren Todeszeitbereich (Abb. 1) kann folgendermaßen erklärt werden: Das Modell unterstellt, daß die Rektaltemperatur bei Todeseintritt $37,2^{\circ}\text{C}$ gewesen sei, d. h. es erklärt den Zeitpunkt, bei dem die Temperaturrückrechnung $37,2^{\circ}\text{C}$ ergibt zum Zeitpunkt des Todeseintritts. War die Rektaltemperatur bei Todeseintritt aber tatsächlich höher oder niedriger, so resultiert daraus eine fehlerhaft zu hohe oder zu niedrige Todeszeitberechnung. Diese Fehlerquelle wirkt sich

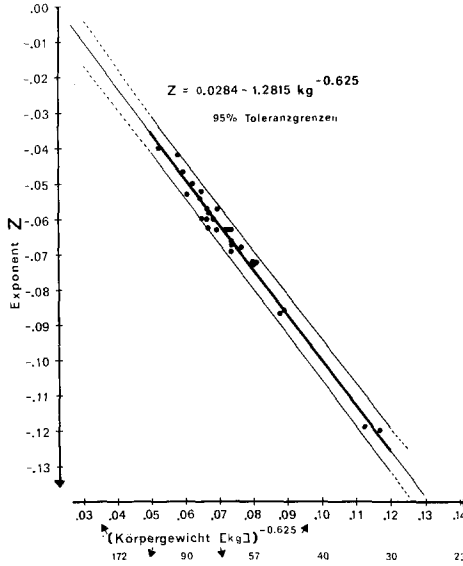


Abb. 2. Abhängigkeit des Exponenten Z vom Körpergewicht in der Potenz $-0,625$ unter Bezugsstandardbedingungen. Meßwerte, Regressionsgerade und 95%-Toleranzgrenzen

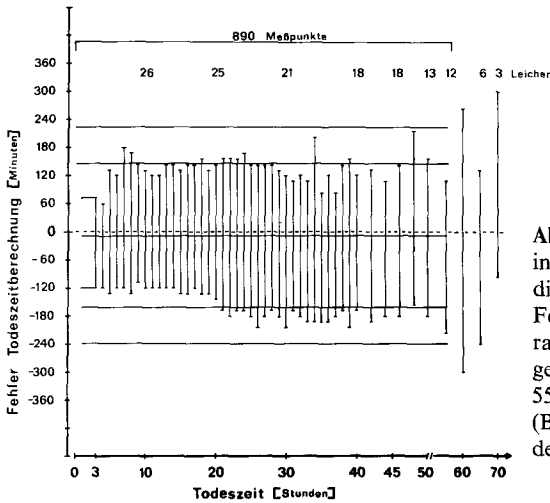


Abb. 3. Fehler der Todeszeitbestimmung in Abhängigkeit von der Todeszeit — indirekt ermittelte Exponentenbeträge —. Fehlermittelwert, 95%- und 99%-Toleranzgrenzen als waagrecht durchgezogene Linien aus 890 Meßpunkten bis zur 55. Std p. m. berechnet. Variationsbreiten (Balken) für die jeweiligen Todeszeitstunden angegeben

naturgemäß in den ersten Todeszeitstunden besonders stark, in späteren Todeszeitstunden weniger stark aus und erklärt die relativ große Fehlerbreite in den ersten Todeszeitstunden der Abbildung 1. Mit dieser Erklärung übereinstimmend werden die Variationsbreiten nach unten in den ersten Todeszeitstunden tatsächlich von den beiden Fällen unseres Materials gebildet, bei denen eine deutlich erhöhte Rektaltemperatur bei Todeseintritt bewiesen ist, die aber trotzdem mit der $37,2^{\circ}\text{C}$ -Hypothese berechnet wurden. Die Wiederzunahme der Fehlerbreite im Bereich hoher Todeszeiten (Abb. 1) ist darauf zurückzuführen, daß sich auch geringe Veränderungen der Umgebungstemperatur sowie kleine Meßfehler mit der Abnahme der Differenztemperatur (Rektum – Umgebung) zunehmend stärker als Rückrechnungsfehler auswirken [2].

Tabelle 3. Häufigkeitsverteilung der Abweichungen zwischen berechneter und tatsächlicher Todeszeit (aus dem Körpergewicht indirekt ermittelte Beträge für die Exponenten Z und p). 890 Meßpunkte von 26 Leichen bis zu 55 Std postmortal

Abweichung ± Minuten	Häufigkeit		Abweichung ± Minuten	Häufigkeit	
	absolut	f %		absolut	f %
0	94	11	120	46	89
12	63	18	132	30	92
24	117	31	144	26	95
36	103	42	156	9	96
48	91	53	168	15	98
60	98	64	180	11	99
72	57	70	192	5	—
84	43	75	204	4	—
96	40	79	216	2	100
108	36	83	228	0	

In Fällen von forensischen Todeszeitschätzungen können in der Regel keine langfristigen Temperaturmessungen durchgeführt werden. Die Beträge der beiden Exponenten können dann nicht „experimentell“ ermittelt werden und müssen auf indirekte Weise geschätzt werden. Unter den gewählten Bezugstandardbedingungen der Leichenabkühlung (vgl. Material und Methodik) korreliert der Betrag des Exponenten Z linear mit dem Körpergewicht der Leichen in der Potenz $-0,625$ (Abb. 2):

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

($n = 29$; Restvarianz = 0,0027; Korrelationskoeffizient = 0,98)

Von 7 der 35 unter Bezugsstandardbedingungen gemessenen Leichen lag kein Körpergewicht vor, sie konnten deshalb nicht in diese Untersuchung einbezogen werden. Die Leiche eines Säuglings (9 kg) wurde aus statistischen Gründen nicht einbezogen, weil der Abstand des niedrigen Körpergewichts zu den übrigen Fällen der Stichprobe zu groß ist. Dessen ungeachtet liegt das Koordinatenpaar 9 kg (X); $Z_{\text{exp.}} = -0,308$ (Y) ganz dicht an der extrapolierten Regressionsgeraden nach Abbildung 2, nämlich: 9 kg $\rightarrow Z = -0,296$. Für die 2 der 35 Leichen, die in zwei verschiedenen, sprunghaft veränderten Umgebungstemperaturen gelagert waren, wurden jeweils zwei Koordinatenpaare in die Regressionsrechnung einbezogen).

An unserem Material ist diese Korrelation straffer als die von Marshall [6] angegebenen Korrelation des Betrages von Z mit dem „size factor“, d. h. $0,8 \times$ Körperoberfläche (cm^2)/Körpergewicht (kg) [2].

Die indirekte Ermittlung des Betrages von p ist problematischer (vgl. Diskussion). Wir verwenden folgende Normierung:

$$p = 5 \cdot Z, \text{ falls Umgebungstemperatur } \leq 23,2^\circ\text{C} \text{ und} \\ p = 10 \cdot Z, \text{ falls Umgebungstemperatur } \geq 23,3^\circ\text{C}.$$

Bei auf diese Weise indirekt aus dem Körpergewicht (Z) bzw. aus dem Körpergewicht und der Umgebungstemperatur (p) ermittelten Exponentenbeträgen

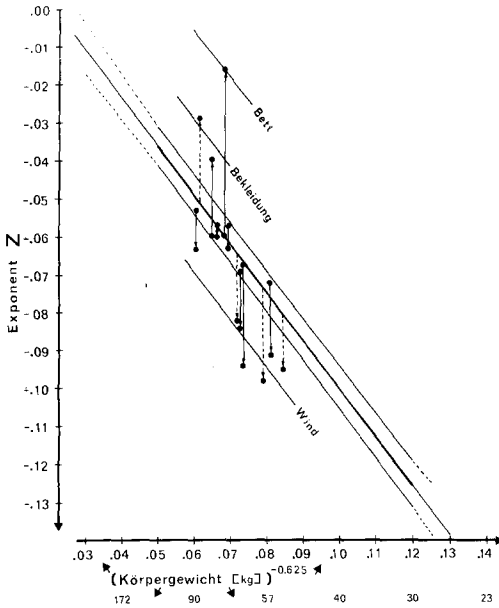


Abb. 4. Änderungen für Z beim Übergang von Bezugs- zu anderen Standardbedingungen. Regressionsgerade und 95%-Toleranzgrenzen der Beziehung zwischen Exponenten Z und Körpergewicht in der Potenz $-0,625$ unter Bezugsbedingungen wie in Abbildung 2. Koordinatenpunkte einer Leiche sind durch ausgezogene Pfeile verbunden. Bei Leichen, die nicht zeitweise unter Bezugsbedingungen untersucht wurden, gehen unterbrochene Pfeile vom entsprechenden Punkt der Regressionsgeraden aus. Wind, Bekleidung und betähnliche Bedeckung rufen Änderungen von Z hervor, die weit über die 95%-Toleranzgrenzen der Z-Werte für Bezugsbedingungen hinausgehen. Bei den miteingezeichneten Untersuchungen mit sprunghafter Veränderung der Umgebungstemperatur (vgl. Abb. 5 und 6) ändern sich dagegen die Beträge für Z nur innerhalb der 95%-Toleranzgrenzen

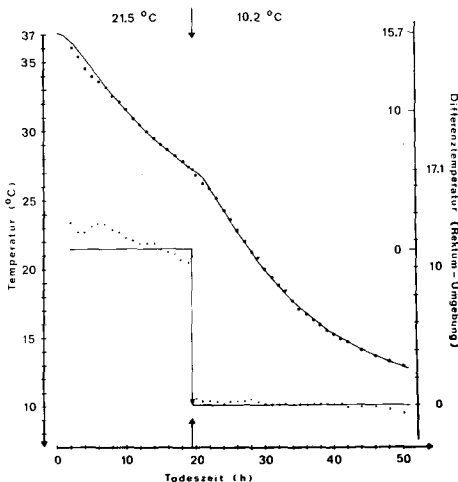


Abb. 5. Meßwerte (Punkte) und durchgängige Berechnung (ausgezogene Kurve) einer Leichenabkühlung bei sprunghafter Änderung der Umgebungstemperatur. Darstellung von Rektal- und Umgebungstemperatur in linearem Maßstab

Abb. 6. Abbildung 5 in logarithmischer Darstellung der Differenztemperatur (Rektum—Umgebung). Regressionsgrade \ln Differenztemperatur (Y)|| Todeszeit (X), Regressionskoeffizient $b_{yx} = Z$

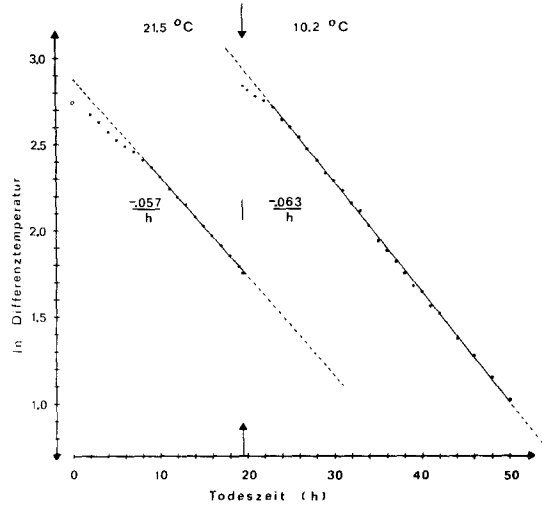


Abb. 7. Meßwerte (Punkte) und Berechnung (ausgezogene Kurven) einer Leichenabkühlung mit Übergang von vollständiger Straßenbekleidung (Außentemperatur 10—12°C) zu unbedeckter Lagerung. Darstellung von Rektal- und Umgebungstemperatur in linearem Maßstab

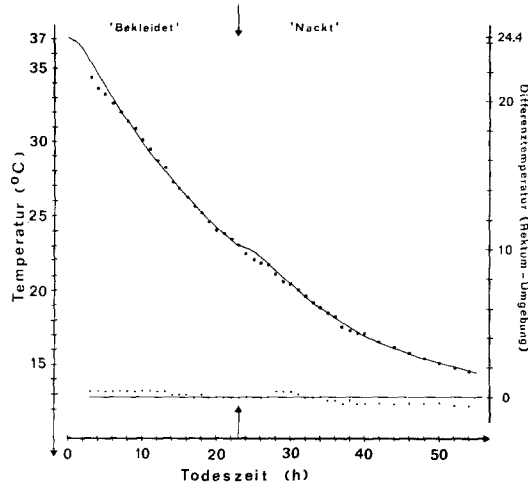
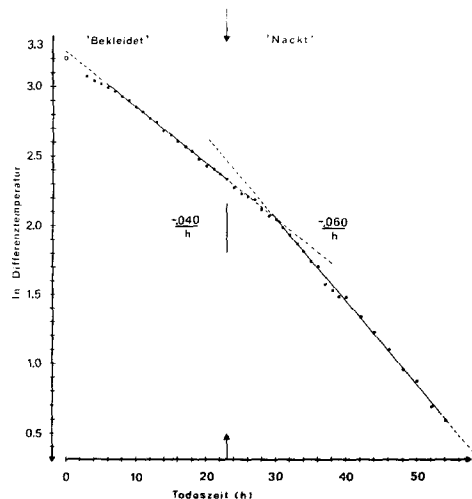


Abb. 8. Abbildung 7 in logarithmischer Darstellung der Differenztemperatur (Rektum—Umgebung). Regressionsgerade \ln Differenztemperatur (Y)|| Todeszeit (X), Regressionskoeffizient $b_{yx} = Z$



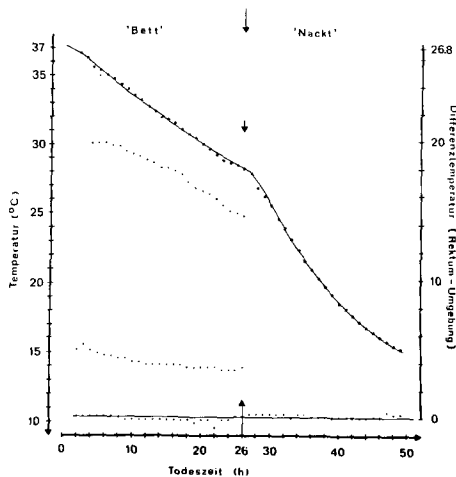


Abb. 9. Meßwerte (Punkte) und Berechnung (ausgezogene Kurven) einer Leichenabkühlung bei Übergang von bettähnlicher Bedeckung und Lagerung auf Matratzen zu Bezugsstandardbedingungen der Leichenlagerung. Mit dargestellt sind die Temperaturwerte zwischen Körperoberfläche und erster Lage der Bedeckung (zweite Punktcurve von oben) sowie unter der äußersten Lage der Bedeckung (Punktcurve über der Umgebungstemperatur)

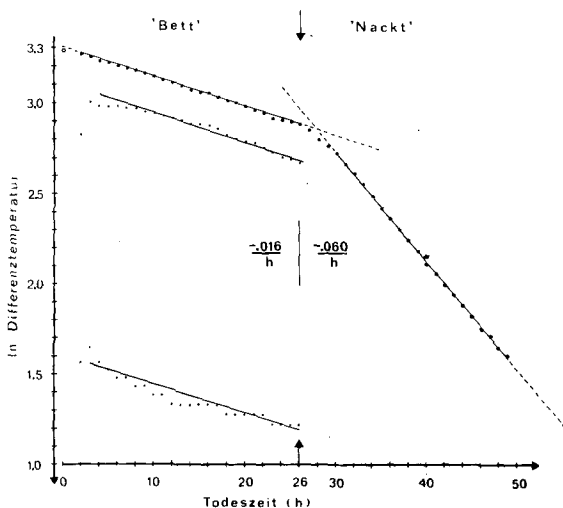


Abb. 10. Abbildung 9 in logarithmischer Darstellung der Differenztemperatur (Rektum—Umgebung) bzw. der Differenztemperatur (Bedeckungslagen—Umgebung). Regressionsgerade \ln Differenztemperatur (Y) || Todeszeit (X), Regressionskoeffizient $b_{yx} = Z$

wurde die in Abbildung 3 und in Tabelle 3 dargestellte Präzision der Todeszeitschätzung durch Berechnung der rektalen Leichenabkühlung aufgrund einer einmaligen Temperaturmessung erreicht. Unter den in diese Fehleranalyse einbezogenen Fällen¹ befinden sich: Ein 11 Monate alter Säugling (9 kg), ein 13 Jahre altes Mädchen (31 kg), eine 93jährige Frau (33 kg), ein 66jähriger Mann (112 kg) sowie 2 Fälle mit nachgewiesenem Fieber bei Todeseintritt. Wir betrachten die angegebenen Toleranzgrenzen der Abbildung 3 daher als repräsentativ für die praktische Anwendung der Methode auf Fälle, bei denen die Leichen von Todes-

¹ Von den 28 Fällen mit vorliegendem Körpergewicht aus der Serie von 35 Leichen unter Bezugsstandardbedingungen erscheinen in Abbildung 3 die beiden Fälle nicht in den ersten 20 Std post-mortal, die zunächst mit Bekleidung bzw. Bedeckung und erst danach unbedeckt untersucht wurden, vgl. Methodik. Insgesamt wurden an den 28 Leichen bis zur 55. Std post-mortal 890 Einzelmeßwerte über der Todeszeit mit den jeweils zugehörigen berechneten Werten verglichen

Abb. 11. Meßwerte (Punkte) und Berechnung (ausgezogene Kurve) einer Leichenabkühlung mit sprunghaftem Übergang von „ruhender Luft“ zu „permanent bewegter Luft“ („Wind“). Darstellung von Rektal- und Umgebungstemperatur in linearem Maßstab

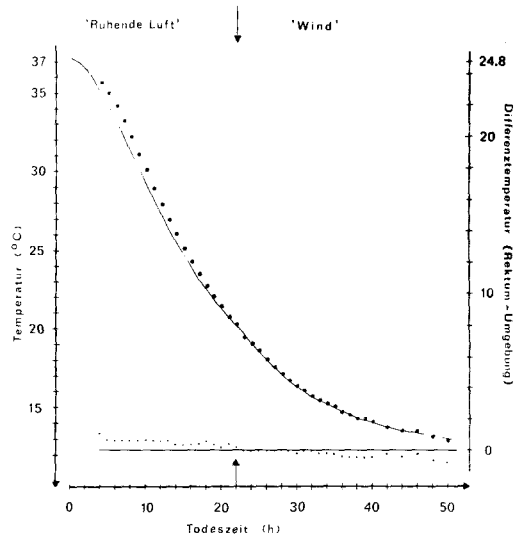
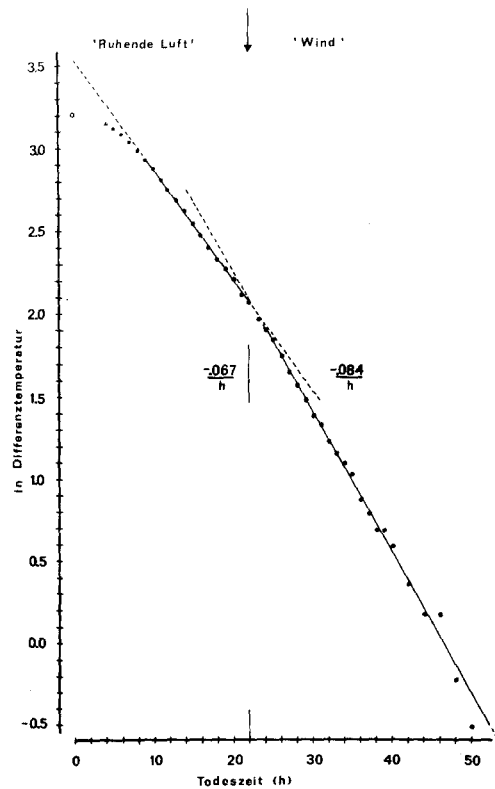


Abb. 12. Abbildung 11 in logarithmischer Darstellung der Differenztemperatur (Rektum—Umgebung). Regressionsgerade \ln Differenztemperatur (Y) \parallel Todeszeit (X), Regressionskoeffizient $b = Z$



eintritt an unter den genannten Bezugsstandardbedingungen und in zeitlich relativ konstanter Umgebungstemperatur gelagert waren.

Erste Untersuchungen zeigen, daß die Methode auch auf andere Bedingungen der Leichenlagerung mit etwa gleicher Fehlerbreite angewendet werden kann, wenn durch weitere Experimente bestätigt wird, daß die Exponentenbeträge auch dann ebenso genau indirekt bestimmt werden können wie unter Bezugsstandard-

bedingungen (Abb. 4). Bisher wurden Untersuchungen mit sprunghafter Veränderung der Umgebungstemperatur (Abb. 5 und 6), Bekleidung (Abb. 7 und 8), bettähnlicher Bedeckung (Abb. 9 und 10) sowie bei Leichenlagerung in durch einen Ventilator permanent bewegter Luft durchgeführt (Abb. 11 und 12).

Diskussion

Marshall's Formel ist die einzige uns bekannte, die den sigmoidalen Verlauf der rektalen Abkühlung [9] mathematisch beschreibt und aus diesem Grunde zunächst formal jenen Formeln überlegen, die der rektalen Abkühlung einen einfachen Exponentialverlauf unterstellen, wie z. B. die Formeln von De Saram [8] und Fiddes [1]. An unserem experimentellen Kurvenmaterial beginnt der lineare Zusammenhang zwischen dem Logarithmus der Differenztemperatur (Rektum – Umgebung) „ $\ln \vartheta_t$ “ und der Todeszeit „ t “ frühestens ab der 5. und spätestens ab der 14. Std postmortal. Wenn man dessen ungeachtet von Anbeginn an die Abkühlung wie bei einem „thermisch dünnen Körper“ durch den Startpunkt „ $\ln(37,2 - T_U)$ “ mit der Steilheit „ $d \ln \vartheta_t / dt$ “ berechnet, die im späteren Linearitätsbereich tatsächlich gegeben ist, so resultiert zwischen dieser berechneten Geraden und dem im späteren Kurventeil tatsächlich vorhandenen linearen Verlauf eine Parallelverschiebung in abnehmender t -Richtung, an unserem Material zwischen minimal – 1 und maximal – 6 Std. Dieses Ausmaß der Parallelverschiebung ist an unserem Material gleichzeitig der maximale systematische Fehler, der sich ergeben kann, wenn man die rektale Leichenabkühlung durch einen einfachen Exponentialausdruck der Art

$$\vartheta_0 e^{d \ln \vartheta / dt} t = \vartheta_t$$

berechnet. Dieser systematische Fehler erreicht seinen jeweils maximalen Wert in der Todeszeitstunde, in der die Abkühlungskurve den Linearitätsbereich erreicht hat und persistiert danach. An unserem Material würde der systematische Fehler also von Fall zu Fall zwischen – 1 Std ab der 5. Std postmortal bis zu – 6 Std ab der 14. Std postmortal betragen. Zu früheren Todeszeiten würden sich jeweils geringere Zeitabweichungen als die genannten maximalen ergeben. Das ist an unserem Material der „Streitwert“, um den es zwischen den Formeln der Art von Fiddes bzw. De Saram einerseits und der Art von Marshall andererseits geht.

In Kenntnis des systematischen Fehlers von Todeszeitberechnungen mit einem einfachen Exponentialausdruck hat De Saram seiner Formel ein additives Zeitglied von +45 min angefügt, das an seinen sämtlich in sehr hohen Umgebungstemperaturen (26,1 ... 31,1°C) gewonnenen Abkühlungskurven eine zutreffende Korrektur für das postmortale Temperaturplateau [9] darstellt, jedoch an unseren, in niedrigeren Umgebungstemperaturen gewonnenen Abkühlungskurven zu gering wäre und überhaupt nicht durch ein allgemeingültiges additives Glied angemessen ausgeglichen werden könnte.

Die mathematische bzw. graphische Behandlung der Temperaturmeßwerte zur Ermittlung der Todeszeit von Fiddes [1] läßt eine Berücksichtigung des postmortalen Temperaturplateaus der rektalen Abkühlung nicht erkennen. Dabei ist zu bemerken, daß die in Tabelle 1 von Fiddes [1] dargestellten mittleren Abkühlungsraten über der Todeszeit das Gegenteil eines postmortalen Temperaturplateaus dokumentieren, nämlich die größten Abkühlungsraten in den ersten 4 Std

Tabelle 4. Mittelwerte und Standardabweichungen der Differenzen „wahre Todeszeit — berechnete Todeszeit“ in Minuten an den Temperaturmessungen von 32 Leichen De Saram's [8]. Berechnung der Todeszeiten in Stunden p. m. nach:

(I)	Formel (A) De Saram's [8]
	$t_x = \frac{\log(\vartheta_0 + 2) - \log(\vartheta_1 + 2)}{\log(\vartheta_1 + 2) - \log(\vartheta_2 + 2)} \cdot (t_1 - t_2)$
	$t_1 - t_2 = 4 \text{ Std}$
	$\vartheta_0 = 37,56 - T_U$
(II)	Formel (B) De Saram's [8]
	$t_x = \frac{\log \vartheta_0 - \log \vartheta_1}{\log \vartheta_1 - \log \vartheta_2} \cdot (t_1 - t_2) + 0,75$
(III), (IV)	Formel Marshall [4, 5, 6], Verfahren Henßge
	$T_{R;x} = (1,1 \vartheta_0 \cdot e^{Z \cdot t}) - (0,1 \vartheta_0 \cdot e^{10 \cdot Z \cdot t}) + T_U$
	(Näherungsberechnung von t_x auf $\cong 0,1 \text{ Std}$ genau)
	(III): mit: $Z = -1,2815 \text{ kg}^{-0,625} + 0,0284$
	(IV) mit: $Z = (\ln \vartheta_1 - \ln \vartheta_2) / t_1 - t_2$
	$t_1 - t_2 = 3 \text{ Std}$
	$\vartheta_0 = 37,2 - T_U$
	t = Todeszeit in Stunden post-mortal
	t_x = Todeszeit in Stunden p. m. zum Zeitpunkt t_1 der (ersten) Temperaturmessung
	T_U = Umgebungstemperatur ($^{\circ}\text{C}$)
	T_R = Rektaltemperatur ($^{\circ}\text{C}$)
	ϑ = Differenztemperatur $T_R - T_U$ ($^{\circ}\text{C}$)

Indizes 1, 2 = Zeitpunkt der 1. bzw. 2. Messung
 Index 0 = Zeitpunkt des Todeseintritt ($t = 0$)

Formel	(I)		(II)		(III)		(IV)	
Wahre Todeszeit (h _{p.m.})	5,75	7,75	5,75	7,75	5,75	7,75	5,75	7,75
Fehlermittelwert	0	23	17	54	-5	14	13	46
Standardabweichung	± 48	± 61	± 45	± 56	± 54	± 63	± 54	± 55
aus Tabelle 5 De Saram								

postmortal, was sich im Gegensatz zu den Meßergebnissen anderer Autoren befindet [9].

Soviel zum formalen Vorteil der Formel Marshalls im Vergleich zu Formeln der Art von Fiddes bzw. De Saram, was im übrigen von Marshall [5] ausführlich diskutiert wurde. Die praktisch erreichbare Präzision von Todeszeitschätzungen läßt sich jedoch nicht allgemein aus formalen Analysen verwendeter Formeln ableiten, weil die Formeln bei ihrer konkreten Anwendung auf den Einzelfall mit konkreten Zahlenwerten für die Exponenten und Konstanten „gefüttert“ werden müssen und erst die Möglichkeit deren exakter Ermittlung am Einzelfall darüber entscheidet, ob ein formaler mathematischer Vorteil einer Formel in einem praktischen Präzisionsvorteil der berechneten Todeszeiten überführt werden kann. Der Ausdruck mit dem Exponenten p bei Marshall beinhaltet den formalen Vorteil der

Formel gegenüber denen von Fiddes bzw. De Saram. Auf die Schwierigkeit, den optimalen Betrag für p am Einzelfall zu ermitteln, ohne Kenntnis des rektalen Abkühlungsverlaufs auch in den ersten Todeszeitstunden zu haben, hat Marshall [4, 6] hingewiesen und deshalb einen für alle Leichen einheitlichen Betrag von 0,4 als Kompromiß vorgeschlagen. Wir können die Schwierigkeit der Aufdeckung von gesetzmäßigen Abhängigkeiten des Betrages von p bestätigen. Wenn die Rektaltemperatur bei Todeseintritt von der $37,2^\circ\text{C}$ -Hypothese der Rückrechnung abweicht, was selbst an Marshalls und unserem Experimentalmaterial fast nie bekannt ist, dessen ungeachtet aber zweifellos häufig gegeben ist, wird dieser „verdunkelte“ Fehler durch die Berechnung von p nach der im Abschnitt „Behandlung der Meßwerte“ genannten Formel auf p übertragen. Das ist der Grund für die Schwierigkeit, gesetzmäßige Abhängigkeiten des Exponenten p zu finden. Der Ausdruck mit dem Exponenten p in Marshalls Formel steht für die Ausbildung von Temperaturgradienten zwischen Körperkern (Rektum) und Oberfläche nach Todeseintritt [4, 9]. Die Geschwindigkeit der Gradientenausbildung nach Todeseintritt bis zum Erreichen eines Fließgleichgewichts sollte sowohl vom Radius des Körpers (stellvertretend von seiner Masse), seiner thermischen Leitfähigkeit und vom Betrag der Temperaturdifferenz (Rektum – Umgebung) bei Todeseintritt [3] abhängen. Aufgrund dieser Überlegungen und einer eingehenden vergleichenden Analyse unserer eigenen (niedrige Umgebungstemperaturen) und der Meßwerte von De Saram (hohe Umgebungstemperaturen) haben wir die Normierung für den Exponenten p nach der Körpermasse (über den Exponenten Z) und der Größe der Temperaturdifferenz bei Todeseintritt empirisch abgeleitet. Mangels differenzierterer Erkenntnisse konnte die Abhängigkeit von der Größe der Differenztemperatur (Rektum – Umgebung) bei Todeseintritt bisher nur in einer groben Stufe vorgenommen werden (vgl. Ergebnisse). Mit der angegebenen Normierung für den Exponenten p gelingt es, mit Marshalls Formel das postmortale Temperaturplateau bei der Todeszeitberechnung sowohl an unserem

Tabelle 5. 5 eigene Fälle von rektalen Leichenabkühlungen unter „Bezugsstandardbedingungen“. Abweichungen zwischen berechneten und wahren Todeszeiten in Stunden. Vergleich der Methoden.

De Saram [8] mit Formel (I) aus Tabelle 4. $t_1 - t_2 = 3$ Std

Fiddes [1]:

$$\frac{37,2 - T_1}{37,2 - T_U} 100 = T_1 \% \quad \frac{37,2 - T_2}{37,2 - T_U} 100 = T_2 \%$$

Unter Verwendung von Abbildung 2 bei Fiddes [1]:

Grafische Ermittlung der prozentualen „Virtual cooling time“ t %

$T_1 \% \rightarrow t_1 \%$ und $T_2 \% \rightarrow t_2 \%$

$$\frac{t_1 - t_2}{t_2 \% - t_1 \%} \cdot t_1 \% = \text{Todeszeit (h.p.m.) zum Zeitpunkt } t_1$$

$t_1 - t_2 = 3$ Std

Henßge mit Formel (III) aus Tabelle 4, jedoch mit anderer Normierung für den Exponenten p und daraus resultierend mit anderen Werten für die Konstanten, weil die Umgebungstemperaturen bei allen 5 Prüffällen geringer als $23,2^\circ\text{C}$ sind (vgl. Ergebnisse):

$$T_{R,x} = (1,25 \vartheta_0 \cdot e^{Z \cdot t}) - (0,25 \vartheta_0 \cdot e^{5 \cdot Z \cdot t}) + T_U$$

Tabelle 5 (Fortsetzung)

Wahre Todeszeit (h _{p.m.})	Fall-Nr. 170178 112 kg; 177 cm; $T_U = 10,9^\circ\text{C}$				Fall-Nr. 020677 91 kg; 174 cm; $T_U = 13,7^\circ\text{C}$			
	Gemessene Rektal- temperatur	Fehler (h)			Gemessene Rektal- temperatur	Fehler (h)		
		De Saram	Fiddes	Henßge		De Saram	Fiddes	Henßge
3	36,8	1,8	2,9	0,8	36,8	1,4	2,7	1,1
5	35,6	1,6	2,5	0,1	35,8	1,9	2,9	1,1
6	35,0				35,4			
8	34,0				34,2			
10	32,8	4,6	4,6	0,7	32,8	4,2	4,7	1,9
13	30,5				30,7			
15	29,1	3,8	4,1	0,2	29,1	4,1	4,2	1,8
18	27,3				27,3			
20	26,1	6,1	6,3	0,3	26,1	5,1	5,2	2,1
23	24,3				24,5			
25	23,1	4,7	4,5	-0,5	23,5	6,4	7,4	2,1
28	21,7				22,1			
30	20,7	0,1	0,8	-1,3	21,3	-4,2	-3,0	1,8
33	19,7				20,5			
40	17,4	2,4	-4,4	-1,9	18,5	3,1	14,4	2,2
42	16,7				17,8			
50	15,4	-26,6		-1,4	16,8	-9,6		3,1
53	15,0				16,4			
60	14,6	13,3		3,6	15,8			5,0
70	13,4			3,4	14,8			1,6
80	12,8			6,4				

Material als auch an dem Material von De Saram für jeden Einzelfall angemessen zu berücksichtigen. Damit ist der formale Vorteil der Formel Marshalls mit zwei Exponentialausdrücken gegenüber den Formeln mit nur einem Exponentialausdruck in einen praktischen überführt: Er vermeidet den systematischen Fehler der Todeszeitrückrechnung, der durch Nichtbeachtung des postmortalen Temperaturplateaus entstehen würde, auch in einer am Einzelfall praktikablen Weise.

Alle anderen entstehenden Fehler einer Todeszeitberechnung sind nichtsystematischer (zufälliger) Natur und hängen nicht von der Auswahl der hier diskutierten Formeln ab, sondern vom Verfahren, wie man den Betrag der Steilheit der Abkühlung „ $d \ln \vartheta_t / dt$ “ am Einzelfall in der gerichtsmedizinischen Praxis ermittelt: Entweder durch mehrfache Messungen der Rektaltemperatur in Zeitabständen von Stunden oder bei einmaliger Temperaturmessung auf indirekte Weise,

Tabelle 5 (Fortsetzung)

Wahre Todeszeit (h _{p.m.})	Fall-Nr. 050577 65 kg; 172 cm; $T_U = 14,0^\circ\text{C}$				Fall-Nr. 170378 31 kg; 147 cm; $T_U = 12,0^\circ\text{C}$			
	Gemessene Rektal- temperatur	Fehler (h)			Gemessene Rektal- temperatur	Fehler (h)		
		De Saram	Fiddes	Henßge		De Saram	Fiddes	Henßge
3					30,9	0,2	0,3	-1,0
5	33,8	1,4	1,5	0,0	27,1	0,2	0,3	-1,0
6	32,6				25,5			
8	31,1				22,7			
10	29,5	2,9	3,1	0,7	20,5	0,3	0,6	-0,8
13	26,9				17,8			
15	25,3	1,5	2,8	0,7	16,6	-3,0		-0,9
18	23,5				15,2			
20	22,3	3,8	4,0	1,0	14,4	-8,8		-1,3
23	20,7				13,6			
25	19,9	3,6	2,3	0,8	13,2	-23,0		-2,0
28	18,7				12,8			-2,3
30	18,3	2,7		1,0				
33	17,4							
40	16,2	-2,7		0,8				
42	15,7							
50	15,2	13,0		1,6				
53	14,9							
60	14,4							

Wahre Todeszeit (h _{p.m.})	Fall-Nr. 200577 9 kg; 75 cm; $T_U = 12,2^\circ\text{C}$			
	Gemessene Rektal- temperatur	Fehler (h)		
		De Saram	Fiddes	Henßge
3	32,2	2,0	2,1	1,6
5	24,3	2,6	2,8	1,8
6	21,7			
8	16,4			
10	14,8	-2,5		1,6
13	-13,2	-6,0		1,5
15	12,6			0,2

z. B. aus dem Körpergewicht und den konkreten Abkühlungsbedingungen. De Saram bzw. Fiddes empfehlen am praktischen Einzelfall die zweimalige Temperaturmessung in einem Zeitintervall von 4 bzw. 3 Std, wobei die Abkühlungsbedingungen vom Auffinden der Leiche an bis zum Abschluß der zweiten Messung nicht verändert werden dürfen.

Die Einhaltung dieser Bedingung ist nach unseren Erfahrungen im Rahmen der Ermittlungsarbeit an Leichenfundorten zumeist nicht gegeben. Außerdem ergeben zwei Temperaturmessungen im zeitlichen Abstand von nur 4 bzw. 3 Std erfahrungsgemäß nur dann einen einigermaßen exakten Wert für die tatsächlich repräsentative Abkühlungssteilheit, wenn die Messungen einen großen Temperaturunterschied ergeben und wenn die Leichenabkühlung bereits soweit fortgeschritten ist, daß die Anfangsphase der Gradientenausbildung abgeschlossen ist. Anderenfalls wird der Wert für die Abkühlungssteilheit sehr ungenau und führt zu stark fehlerhaften Rückrechnungsergebnissen. Aus diesen Gründen haben wir uns [2] wie Marshall [6] darauf orientiert, den Betrag für die Abkühlungssteilheit (Z) indirekt zu ermitteln, vor allem, um am Leichenfundort mit nur einer einmaligen Temperaturmessung auszukommen. Dieses indirekte Verfahren erfordert allerdings noch einen großen wissenschaftlich-experimentellen Untersuchungsaufwand, weil der Betrag von Z außer von den Körperproportionen auch von den Abkühlungsbedingungen wie Bekleidung, Bedeckung und Wind abhängt (vgl. die Abb. 2 und 4). Das Verfahren, wie man im konkreten Fall zum Betrag für die Abkühlungssteilheit kommt — durch mehrmalige Temperaturmessung oder auf indirektem Wege — ist indessen nicht zwangsweise mit der verwendeten Formel gekoppelt, sondern beide Verfahren können mit allen hier diskutierten Formeln wahlweise verwendet werden, z. B. in Abhängigkeit von der Situation am Leichenfundort.

Es ist an Stichproben und am Einzelfall schwierig zu analysieren, wodurch Fehler berechneter Todeszeiten verursacht worden sind, durch die Auswahl der angewandten Formel oder durch das Verfahren der Bestimmung der Abkühlungssteilheit. Man findet nur bei De Saram [8] Angaben über die Präzision von berechneten Todeszeiten an einer Stichprobenüberprüfung in Form von statistischen Parametern. Weder Marshall noch Fiddes haben eine derartige Fehleranalyse vorgelegt.

Wir haben Todeszeitberechnungen am Material von De Saram mit Hilfe der Formel von Marshall mit den von uns dargelegten Normierungen für den Exponenten p und sowohl mit der indirekten Bestimmung für den Exponenten Z nach dem Körpergewicht (Abb. 2) als auch mit der Berechnung von Z aus zwei Temperaturwerten im Abstand von 3 Std durchgeführt und die entstehenden Todeszeitfehler in gleicher Weise statistisch aufbereitet, wie es De Saram [8] in seiner Tabelle 5 dargestellt hat. Eine Gegenüberstellung der Fehleranalysen gibt die Tabelle 4. An De Sarams in Umgebungstemperaturen zwischen 26,6 und 31,1°C gewonnenem Material ist die Präzision der Todeszeitberechnungen praktisch mit allen geprüften Verfahren gleichwertig. Bemerkenswert ist, daß auch die Präzision der Todeszeitberechnungen mit der Marshall-Formel bei indirekter Ermittlung des Exponenten Z aus dem Körpergewicht, also bei nur einmaliger Temperaturmessung (Spalte III in Tabelle 4), vergleichbar ist mit der Präzision der anderen drei Rückrechnungsverfahren, die jeweils auf zwei Temperaturmessungen basieren. Umgekehrt ergeben die von De Saram bzw. Fiddes angegebenen

Formeln und Verfahren der Todeszeitrückrechnung bei Anwendung auf unser Material trotz Verwendung zweier Temperaturwerte im Abstand von 3 Std größere Fehler als bei Berechnung durch unser Verfahren. In Tabelle 5 sind aus unserem Material die Fälle mit den beiden höchsten, den beiden niedrigsten und einem mittleren Körpergewicht dargestellt. Darunter befindet sich ein Fall (020677), der im mittleren und hohen Todeszeitbereich mit den größten Fehlern der Todeszeitberechnungen nach unserem Verfahren an unserem gesamten Material behaftet ist. In Übereinstimmung mit den Ausführungen der Diskussion ergeben die Formeln und Verfahren von De Saram bzw. Fiddes besonders an den Leichen mit hohen Körpergewichten und bei Todeszeiten jenseits des postmortalen Temperaturplateaus deutlich größere Fehler berechneter Todeszeiten als unser Verfahren.

Anhang

Die für unser Verfahren erforderlichen Berechnungen sind bei Benutzung programmierbarer Taschenrechner schnell und sicher auszuführen. Für den Rechner-typ „TI programmable 57“ von Texas Instruments lautet die Tastendruckfolge für die Programmeingabe:

Umgebungs- temperatur $\cong 23,2^\circ\text{C}$	Umgebungs- temperatur $\cong 23,3^\circ\text{C}$	Umgebungs- temperatur $\cong 23,2^\circ\text{C}$	Umgebungs- temperatur $\cong 23,3^\circ\text{C}$
(00) LRN	LRN	(26) =	=
(01) RCL 0	RCL 0	(27) -	-
(02) x	x	(28) ((
(03) RCL 6	RCL 6	(29) RCL 2	RCL 2
(04) +	+	(30) x	x
(05) RCL 5	RCL 5	(31) 4	.
(06) =	=	(32) 1/x	1
(07) STO 4	STO 4	(33) x	x
(08) 2nd Lbl 1	2nd Lbl 1	(34) ((
(09) RCL 4	RCL 4	(35) RCL 4	RCL 4
(10) x	x	(36) x	x
(11) (((37) 5	1
(12) RCL 3	RCL 3	(38) x	0
(13) +	+	(39) RCL 3	x
(14) .	.	(40))	RCL 3
(15) 5 (oder 1) ^o	5 (oder 1) ^o	(41) INV lnx)
(16) SUM 3	SUM 3	(42) =	INV lnx
(17)))	(43) +	=
(18)))	(44) RCL 1	+
(19) INV lnx	INV lnx	(45) =	RCL 1
(20) x	x	(46) 2nd $x \geq t$	=
(21) RCL 2	RCL 2	(47) GTO 1	2nd $x \geq t$
(22) x	x	(48) RCL 3	GTO 1
(23) 5	1	(49) R/S	RCL 3
(24) ÷	.	LRN	R/S
(25) 4	1	RST	RST

Danach erfolgt die Eingabe der Meßwerte und einiger Konstanten in die Speicher mit folgender Tastendruckfolge:

Körpermasse in kg (Betrag)	(y ^x)	(·)	(6)	(2)	(5)	(+/-) (=)	(STO)	(0)
Umgebungstemperatur in °C (Betrag)	(STO) (1)							
	(+/-)	(+)	(3)	(7)	(·)	(2)	(=)	(STO) (2)
	(·)	(0)	(2)	(8)	(4)	(STO)	(5)	
	(1)	(·)	(2)	(8)	(1)	(5)	(+/-)	(STO) (6)
Rektaltemperatur in °C (Betrag)	(STO) (7)							

Programmstart: (R/S)

Ergebnisanzeige. Todeszeit in Stunden (Näherungsrechnung auf 0,5 oder 0,1 Std genau, je nach Programmeingabe „5“ oder „1“ bei Programmschritt (15)⁰) bezogen auf den Zeitpunkt der Temperaturmessung.

Vor Wiederholung des Programms mit anderen Eingabewerten müssen die Speicher gelöscht werden mit Tastendruckfolge (2nd) (INV) (C · t) und die Speicher neu belegt werden. Danach wird mit (RST) (R/S) das Programm gestartet. Zu beachten: Das Programm ist zunächst nur für unbedeckte Leichen in gestreckter Rückenlage, die von Todeseintritt an in relativ konstanter Umgebungstemperatur und in ruhender Luft gelagert waren, geeignet. Zur berechneten Todeszeit sind $\pm 2,5$ Std (im Sinne von 95%-Toleranzgrenzen) bzw. ± 4 Std (im Sinne von 99%-Toleranzgrenzen) hinzuzufügen. Wenn die Differenz zwischen Rektal- und Umgebungstemperatur kleiner als 2°C ist, sollte die errechnete Todeszeit nur noch als Mindest-Todeszeit deklariert werden.

Literatur

1. Fiddes, F. S.: A percentage method for representing the fall in body temperature after death. Its use in estimating the time of death. *J. forens. Med.* **5**, 2—11 (1958)
2. Henßge, C.: Die mathematische Beschreibung der Leichenabkühlung. Präzision von Todeszeitbestimmungen unter Standardbedingungen. *Kriminalistik und forensische Wissenschaften.* (Im Druck)
3. Joseph, A., Schickele, E.: A general method for assessing factors controlling postmortem cooling. *J. forens. Sci.* **15**, 364—391 (1970)
4. Marshall, T. K., Hoare, F. E.: Estimating the time of death. *J. forens. Sci.* **7**, 56—81; 189—210; 211—221 (1962)
5. Marshall, T. K.: Temperature methods of estimating the time of death. *Med. Sci. Law* **5**, 224—232 (1965)
6. Marshall, T. K.: The use of body temperature in estimating the time of death and its limitations. *Med. Sci. Law* **9**, 178—182 (1969)
7. Prokop, O.: Die Abkühlung der Leiche. In: *Forensische Medizin*, O. Prokop, W. Göhler, 3. Auflage. Berlin: VEB Verlag Volk und Gesundheit 1975
8. De Saram, G. S. W.: Post-mortem temperature and the time of death. *J. Crim. Law Criminol.* **46/2**, 562—577 (1955)
9. Shapiro, H. A.: The post-mortem temperature plateau. *J. forens. Med.* **12**, 137—141 (1965)

Eingegangen am 30. Juni 1978