

## Postmortale Organtemperaturen unter verschiedenen Umweltbedingungen

Bernd Brinkmann, Günter Menzel und Uwe Riemann

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

### Environmental Influences to Postmortem Temperature Curves

**Summary.** The investigation deals with the postmortem temperature curves of the central and peripheral brain regions and of the liver at different environmental temperatures. The temperature grades were 10, 15, 20, 25 and 30°C and were kept constant in a special box into which the corpse was brought for measurements. 25 corpses were grouped into 5 classes each consisting of 5 according to the temperature grade. Thin and flexible temperature probes were inserted into the organs without causing relevant injuries. All recordings were started in a time period of 50 to 120 min postmortem.

The individual curves showed a sigmoid course, the liver cooling curve running much slower than the brain curves. During the postmortem period observed a temperature plateau of brain curves was not registered whilst this phenomenon was observed in the liver unto 3–5 hours. Within a given temperature grade the individual brain curves showed much less variation than the liver curves. Preliminary data suggest that the density of the hair influences two characteristics of the brain curves. In bald-headed corpses the maximum temperature difference between the central and peripheral brain zones was greater and the half-life periods were shorter than in dense-headed corpses. In the temperature grades between 15 to 25°C the central half-life periods were correspondingly reached between 6 and 6 1/2 h postmortem. In the temperature grades 10–20°C the thermal difference curves were quite similar whilst higher environmental temperatures were accompanied by lessened differences.

When compared with the data presented curves of hypothetically unknown postmortem timing were fittingly arranged to the time of death with a variance of only  $\pm 1$  hour. If statistically completed the curves will be analysed by a computer program.

**Key word:** Postmortem temperature decrease, in brain and liver.

\* Mit Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft

**Zusammenfassung.** Es handelt sich um eine systematische Untersuchung zum postmortalen Temperaturabfall im Gehirn und in der Leber bei verschiedenen Umgebungstemperaturen. Je 5 Leichen wurden bei Temperaturstufen von 10, 15, 20, 25 und 30°C gemessen. Wie in einer vorhergehenden Arbeit beschrieben, wurden spezielle Mikrosonden zur Temperaturableitung aus dem Hirnzentrum und der Hirnperipherie praktisch verletzungsfrei eingeführt. Meßbeginn war zwischen der 50. und 120. min p. m..

Die Einzelkurven zeigten einen sigmoiden Verlauf, die Temperaturausgleichskurve der Leber verlief wesentlich langsamer als die Hirnkurven. In dem untersuchten p. m. Zeitraum war in den Hirnkurven kein Temperatur-Plateau mehr erkennbar, während die Leberkurven dieses bis zu 3–5 h Dauer aufwiesen. Die Streuung der Hirn-Einzelkurven war wesentlich geringer als die der Leberkurven. Die Behaarungsdichte beeinflußt offensichtlich zwei Temperaturkennwerte. Bei kahlköpfigen Leichen waren die Temperaturdifferenzen zwischen Hirnzentrum und Peripherie größer und die thermischen Halbwertzeiten kürzer als bei dicht behaarten. Die thermischen Halbwertzeiten wurden in den Temperaturklassen 15–25°C zwischen 6 und 6 1/2 h p. m. erreicht. Die Differenztemperaturkurven zwischen Hirnzentrum und Peripherie waren in den Temperaturklassen 10–20°C etwa gleich, bei höheren Temperaturen waren die Maxima deutlich verringert. Hypothetisch unbekannte späte Kurventeile konnten bei Vergleich mit dem vorliegenden Kurvenmaterial mit einer Genauigkeit von ± 1 h dem Todeszeitpunkt angeglichen werden.

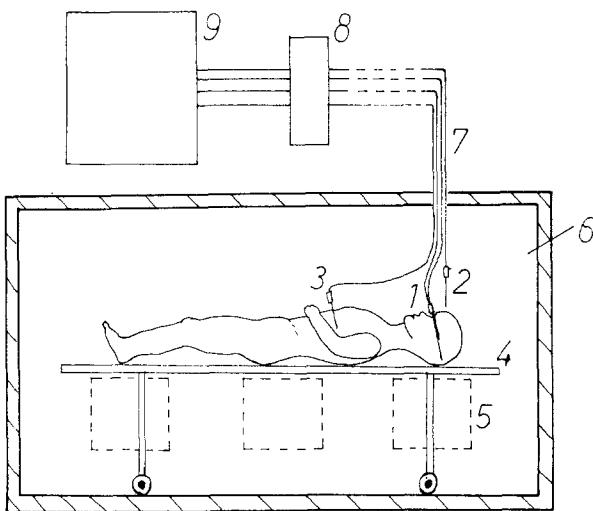
**Schlüsselwörter:** Todeszeitpunktbestimmung, Temperaturabfall – Temperaturabfall, postmortal in Hirn und Leber.

In einer vorangehenden Untersuchung (Brinkmann et al., 1976) war eine optimierte Methode der postmortalen Hirntemperaturmessung dargestellt und auf forensische Anwendbarkeit überprüft worden. Folgende Besonderheiten dieser Untersuchungstechnik ließen sich herausstellen: Unter konstanten Umweltbedingungen war die Streubreite in einem größeren Meßkollektiv auffällig gering. Das postmortale Temperaturplateau war von sehr kurzer und relativ konstanter Dauer; dadurch boten die Kurven gute Voraussetzungen zur Extrapolation auf den Todeszeitpunkt. Auch war im Vergleich zu anderen Ableitpunkten die Beeinflussung durch verschiedene Variable des Körpers fehlend oder gering. Durch Verwendung spezieller Mikrosonden konnten Gewebszerstörungen vermieden werden. – In der vorliegenden Untersuchung sollte überprüft werden, ob und in welchem Ausmaß sich abweichende Umwelttemperaturen auf die grundsätzlichen Feststellungen auswirken. Weiterhin sollte zusätzliches Datenmaterial als Voraussetzung zur numerischen Datenanalyse gewonnen werden.

## Materialien und Methoden

Die *Meßeinrichtung* war wie beschrieben (Brinkmann et al., 1976). Der Eichbereich der Mikrosonden lag zwischen 10°C und 40°C, die Meßgenauigkeit betrug ±0,1°C, die Papierablesegenauigkeit war 0,125°C. Folgende Sonden wurden positioniert: a) „Hirndoppelsonde“ zur Messung der zentralen und peripheren Hirntemperatur, b) Lebersonde, c) Meßraumsonde (Abb. 1).

25 *Leichen*, unterteilt in 5 Kollektive à 5 wurden untersucht. Es handelte sich um 23 männliche, 2 weibliche Leichen; das Lebensalter variierte zwischen 38 und 83 Jahren. Anamnestisch



**Abb. 1.** Schematische Darstellung des Ganzkörper-Luftthermostaten und der Temperaturmeßeinrichtung. 1 = Hirndoppelsonde, 2 = Lufttemperatursonde, 3 = Leibertemperatursonde, 4 = thermisch isolierter Tisch, 5 = Heiz-, Kühl- und Ventilationselemente, 6 = thermisch isolierter Meßraum, 7 = Meßleitungen, 8 = Vergleichsstellenthermostat, 9 = 6-Kanal-YT-Kompensationsschreiber

**Tabelle 1.** Einfluß der Behaarungsdichte auf verschiedene Temperaturkennwerte<sup>a</sup>

Temperaturkennwerte	Behaarungsdichte		
	mäßig dicht	schüttig	kaul
$\Delta T_{\max}^{Z-P}$ , X	2.5°C	2.7°C	3.7°C
$t T_{0.5}^Z$ , X	355 min	318 min	263 min
$t T_{0.5}^P$ , X	345 min	280 min	225 min

a  $\Delta T_{\max}^{Z-P}$  = maximale Temperaturdifferenz zwischen Hirnperipherie (P) und Hirnzentrum (Z).  
 t  $T_{0.5}^Z$  = Zeitdauer (nach Meßbeginn) bis zum thermischen Halbwert zwischen initialer Hirnzentrumstemperatur und Raumtemperatur.

t  $T_{0.5}^P$  = thermische Halbwertzeit für die Hirnperipherie

handelte es sich um plötzliche Todesfälle infolge ischämischer Herzerkrankung. Der Todeszeitpunkt wurde durch direkte Befragung der Feuerwehrleute ermittelt. Der Meßbeginn lag zwischen 50 und 120 min p. m. Die Meßdauer betrug minimal 7, maximal 18 h. Umgebungstemperaturen am Auffindungsplatz und im Transportwagen wurden z. T. durch Schätzung erfaßt und protokolliert. Die Behaarungsdichte wurde nach dem gleichen Schema wie in der vorhergehenden Untersuchung graduiert.

**Temperaturstufen.** Zur Messung wurden die Leichen in eine vortemperierte thermokonstante Kammer verbracht (Abb. 1); die Temperaturabweichung vom Sollwert betragen maximal  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Je 5 Leichen wurden in folgenden Temperaturstufen untersucht: 10°, 15°, 20°, 25°, 30°C.

### Ergebnisse

**Behaarungsdichte.** Die graduierten Behaarungsdichten wurden zu drei Gruppen zusammengefaßt (s. Tab. 1). Bei den angegebenen Kennwerten handelt es sich jeweils

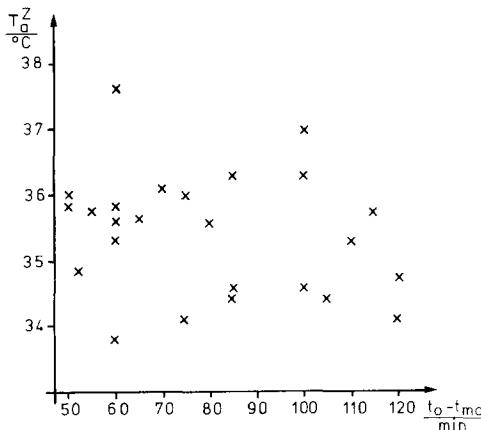


Abb. 2. Streuung der Anfangstemperatur des Hirnzentrums  $T_a^Z$  bei Meßbeginn in Abhängigkeit von der Zeit post mortem ( $t_0 - t_{mo}$ ) ohne Berücksichtigung der p. m. Umgebungstemperatur

Tabelle 2. Einfluß der p. m. Umgebungstemperatur auf die Anfangstemperatur des Hirnzentrums<sup>a</sup>

$\bar{X} \Delta t$ p. m. (min)	$\bar{X} T$ p. m. (°C)	n	$\bar{X} T_a^Z$ (°C)
60 (50–75)	9	1	33.8
	16.5 ( $\pm 0.5$ )	4	35.2 (34.1–36)
	20.5 ( $\pm 0.5$ )	7	35.9 (35.3–36.1)
100 (80–120)	17.5 ( $\pm 1.5$ )	3	34.9 (34.4–35.7)
	22 ( $\pm 2$ )	8	35.2 (34.1–36.3)
	31	1	37

<sup>a</sup>  $\Delta t$  p. m. = p. m. Zeitintervall bis Meßbeginn.

T p. m. = p. m. Umgebungstemperatur bis Meßbeginn.

$T_a^Z$  = Hirnzentrumstemperatur bei Meßbeginn.

Die Werte sind jeweils Mittelwerte, Maximalstreuungen in Klammern

um Gruppenmittelwerte, bezogen auf den Behaarungstyp. Für eine zusätzliche Berücksichtigung der Temperaturstufen waren die Kollektive zu klein. Da bezüglich der dargestellten Temperaturkennwerte lediglich die Kollektive 25°C und 30°C auffällig vom Gesamtmittelwert abweichen (s. u.), fanden diese bei den Gruppenbildungen in Tabelle 1 keine Berücksichtigung. Wegen der zu kleinen Fallzahlen mußte auf Varianz- und Signifikanz-Analysen verzichtet werden. Folgende Abhängigkeiten von der Behaarungsdichte sind aus Tabelle 1 erkennbar: Die maximale Temperaturdifferenz zwischen Zentrum und Peripherie verhielt sich umgekehrt proportional zur Behaarungsdichte. Die thermischen Halbwertzeiten wurden bei fehlender Haarisolierung ca 90 (Zentrum) bzw. 120 (Peripherie) min früher erreicht, als bei mäßig dichter Behaarung. Oder: Die thermischen Halbwertzeiten extrem unterschiedlicher Behaarungsdichten verhalten sich etwa wie 2:3.

*Umgebungstemperaturen bis Meßbeginn.* Die bei Meßbeginn festgestellten Hirntemperaturen zeigten deutliche Streuung ohne erkennbare Beziehung zum p. m. – Zeitintervall (Abb. 2). Erst bei Berücksichtigung der thermischen Exposition vor Meßbeginn war für die Zentrumstemperatur eine deutliche Abhängigkeit erkennbar mit

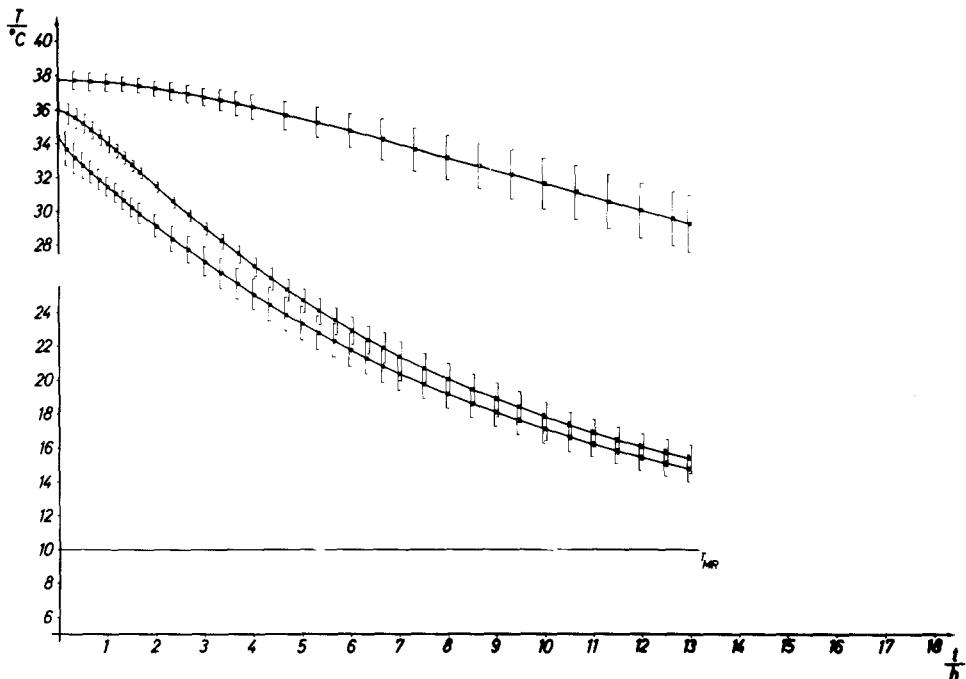


Abb. 3. Temperatur-Zeit-Kurven bei  $10^{\circ}\text{C}$  Meßraumtemperatur (TMR). Obere Kurve: Leber, mittlere Kurve: Hirnzentrum, untere Kurve: Hirnperipherie. Die Zeitangaben beziehen sich auf den Meßbeginn

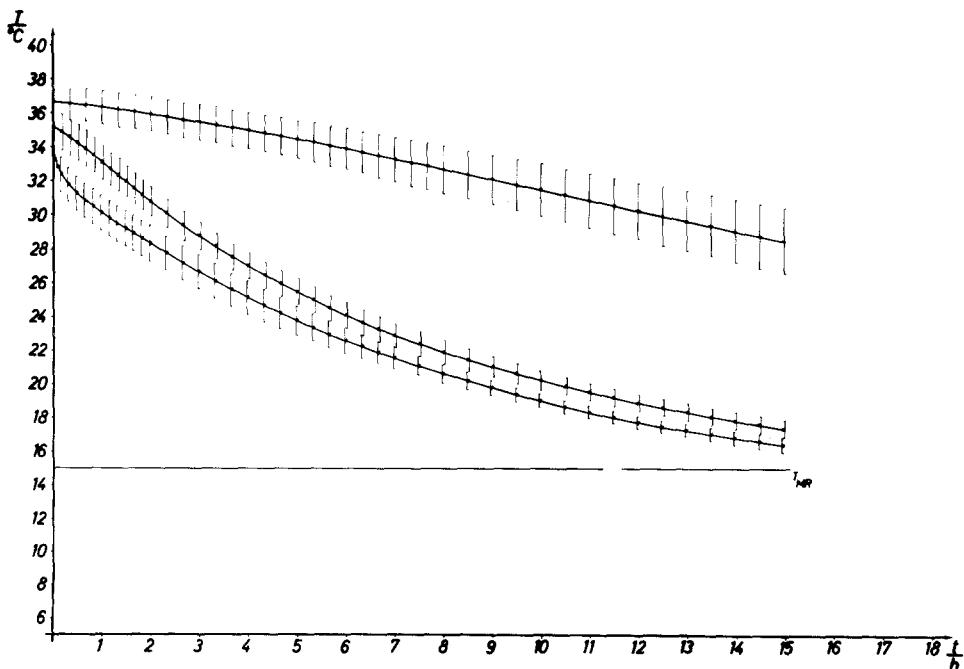


Abb. 4. Temperatur-Zeit-Kurven bei  $15^{\circ}\text{C}$ . Übrige Bezeichnungen analog Abb. 3

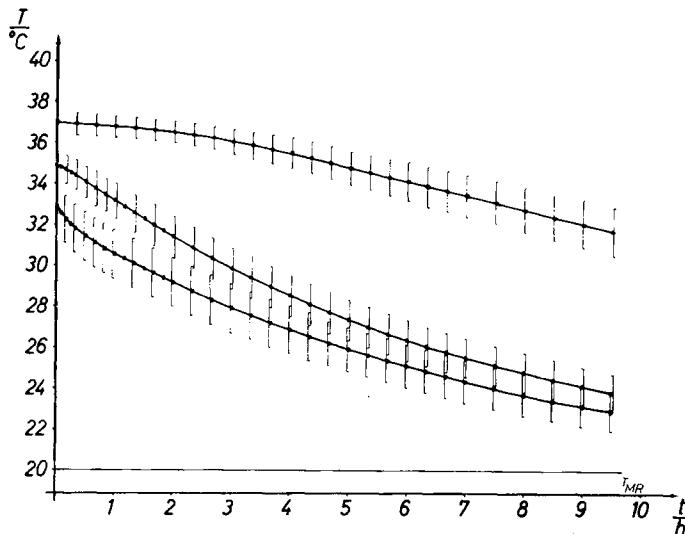


Abb. 5. Temperatur-Zeit-Kurven bei 20°C. Übrige Bezeichnungen analog Abb. 3

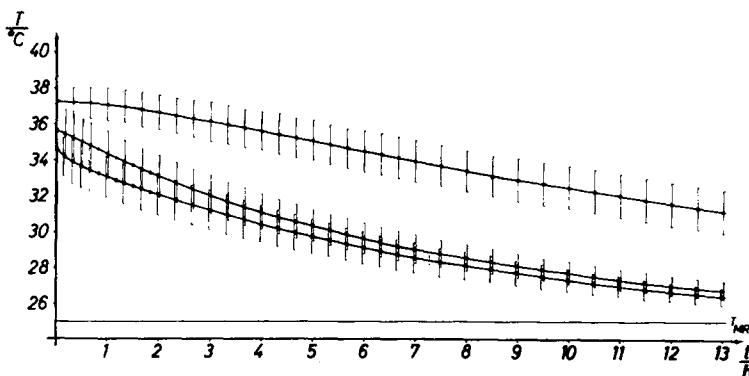


Abb. 6. Temperatur-Zeit-Kurven bei 25°C. Übrige Bezeichnungen analog Abb. 3

geringer Streuung in den einzelnen Temperatur-Zeit-Klassen (s. Tab. 2). Die zentrale Hirntemperatur zeigte z. B. bei einer mittleren Umgebungstemperatur von 16–17°C nach 60 min den gleichen Abfall, wie nach 100 min bei 22°C. Auch hatten extreme Umgebungstemperaturen analoge Einflüsse auf die zentrale Anfangstemperatur. Lediglich ein Wert (37,6°C – s. Abb. 2) war bei einer Außentemperatur von 20°C nicht zuzuordnen; hier ließ sich eine antemortale Hyperthermie jedoch nicht ausschließen.

**Temperaturklassen.** Bezogen auf den Meßbeginn, d. h. ohne spezielle Berücksichtigung des meßfreien postmortalen Intervalls wurden für jede Temperaturklasse Mittelwertskurven aus den 5 Einzelkurven erstellt (s. Abb. 3–7). Wegen der zu geringen Leichenzahl in jeder Merkmalsklasse mußte eine Berücksichtigung der Behaarungstypen hier-

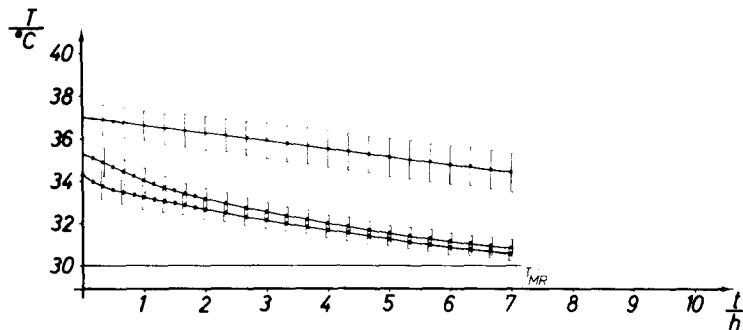
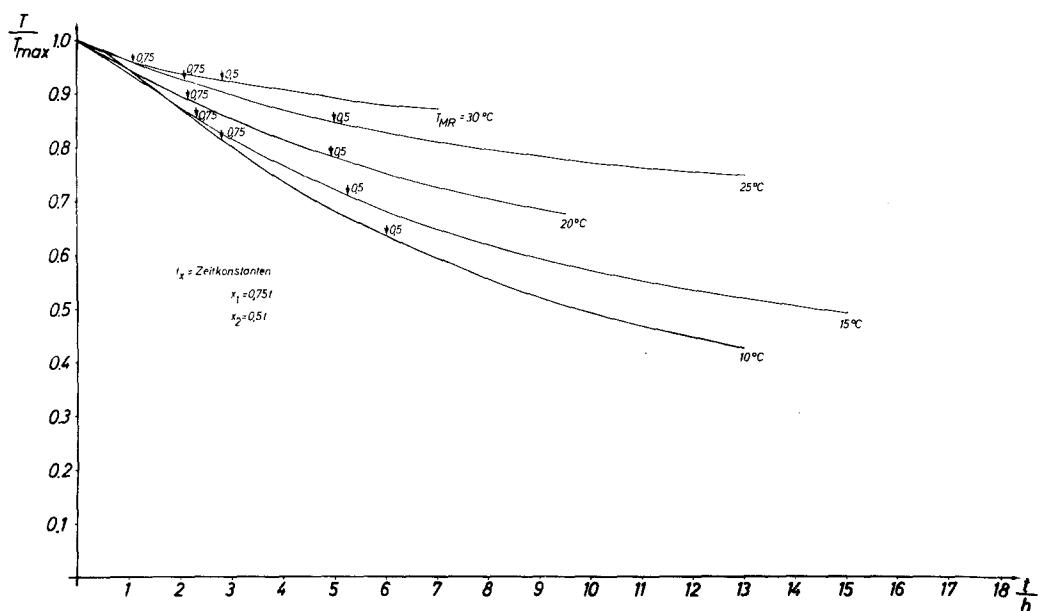


Abb. 7. Temperatur-Zeit-Kurven bei 30°C. Übrige Bezeichnungen analog Abb. 3

Abb. 8. Normierte Temperaturausgleichsvorgänge des Hirnzentrums mit Angabe charakteristischer Zeitkonstanten in Abhängigkeit von der Meßraumtemperatur. Die Zeitangaben beziehen sich auf den Meßbeginn. Der Quotient  $T/T_{\max}$  wurde aus den jeweiligen Temperatur-Mittelwerten berechnet

bei unterbleiben. Die Mittelwertskurven wiesen jeweils die gleiche Form auf, wie die individuellen Kurven. Die Temperaturkurven der Leber verliefen wesentlich flacher, zeigten nur geringe Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur; die Streuung nahm mit zunehmender Meßzeit erheblich zu (s. Abb. 3-7). Wesentlich steiler fielen die Hirntemperaturkurven ab, wobei im Gegensatz zur Leber die Streubreite etwa gleich blieb oder sogar abnahm; dies, obwohl die beiden Variablen: „postmortale Anfangsbedingungen“ und „Kopfbehaarung“ nicht berücksichtigt wurden.

Die stündlichen mittleren Abklingquoten der zentralen Hirntemperaturen nach Meßbeginn (Tab. 3) verdeutlichen die Bedeutung der Umgebungstemperaturen.

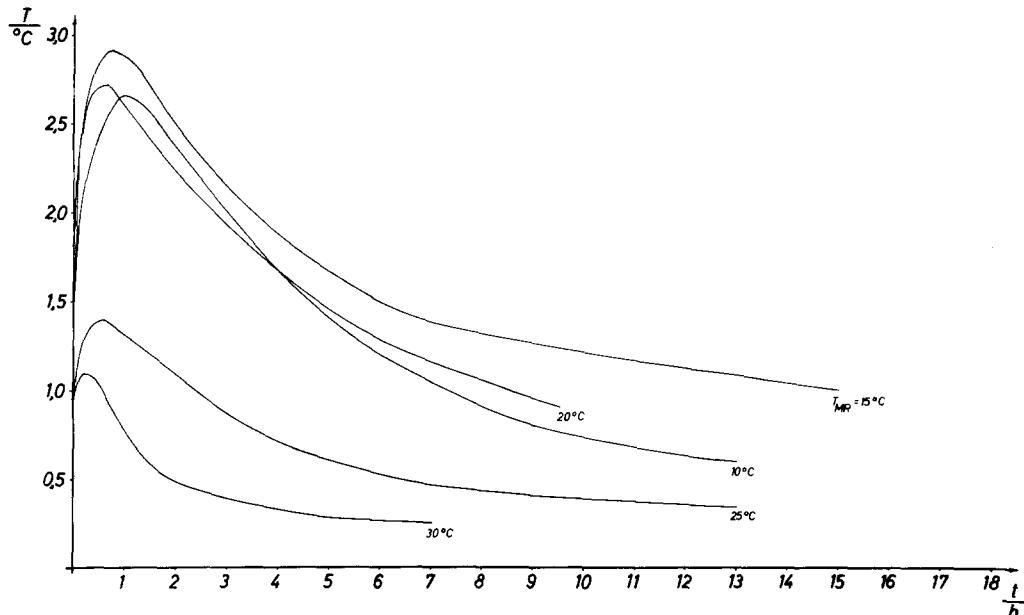


Abb. 9. Differenztemperaturkurven (Hirnzentrum-Hirnperipherie) in Abhängigkeit von der Meßraumtemperatur TMR und von der Zeit nach Meßbeginn

Tabelle 3. Stündlicher Abfall der zentralen Hirntemperatur ab Meßbeginna

Temp. stufen	Zentrumstemperaturabfall nach der Meßbeginn										
	1. h	2. h	3. h	4. h	5. h	6. h	7. h	8. h	9. h	10. h	11. h
30°C	1,2	0,9	0,6	0,55	0,45	0,4	0,3				
25°C	1,3	1,2	1,1	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,45	0,4	0,35
20°C	1,7	1,75	1,5	1,3	1,2	1,0	0,9	0,7	0,6		
15°C	2,1	2,3	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7
10°C	1,9	2,6	2,5	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,9

a Es handelt sich jeweils um Mittelwerte aus 5 Einzelkurven

Ohne Berücksichtigung der beiden Extremgruppen ( $30^\circ$  und  $10^\circ\text{C}$ ) waren die Halbwertzeiten in den übrigen Gruppen etwa 4 1/2–5 h nach Meßbeginn (also ca. 6–6 1/2 h p. m.) erreicht (Abb. 8).

Die Differenztemperaturkurven zeigten u. a. folgende Charakteristika: a) Bei hoher Umgebungstemperatur wurden die Maximalwerte schneller erreicht als bei niedrigen Temperaturen, b) In den Temperaturklassen zwischen 10 und  $20^\circ\text{C}$  waren die Maximalwerte etwa gleich, bei höheren Umgebungstemperaturen nahmen sie deutlich ab (Abb. 9).

## Diskussion

Die in der vorhergehenden Untersuchung unter konstanten Umgebungsbedingungen erarbeiteten Kurvencharakteristika ließen sich prinzipiell auch für andere Temperatur-

bereiche bestätigen. Interessant ist die enge Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur, welche vor allem aus den sehr unterschiedlichen Kurvensteigungen erkennbar ist. Daß die Umgebungstemperatur neben der Behaarungsdichte die wichtigste Einflußgröße darstellt, ist auch daran erkennbar, daß mit zunehmender Meßzeit die Einzelkurven keine zunehmende Streuung aufweisen, im Gegensatz zu den simultan registrierten Lebertemperaturkurven.

Wichtig erscheint auch die Abhängigkeit verschiedener Hirntemperaturkennwerte von der Behaarungsdichte. Eine Überprüfung wurde aus den dargestellten Gründen nur für die Temperaturklassen 10–20°C durchgeführt. Die Kollektive sind daher zahlenmäßig noch gering. Auch darf nicht verkannt werden, daß die Zuordnung eines konkreten Behaarungstyps zu dem in der vorhergehenden Untersuchung dargestellten „Haartableau“ gelegentlich Schwierigkeiten bereitete, so daß auch hier Ungenauigkeiten in Kauf genommen werden müssen. Experimentell soll daher zunächst auch eine exakte Graduierung der Behaarungsdichte durchgeführt werden, bevor bei rechnerischer Extrapolation entsprechende Korrekturfaktoren eingeführt werden.

Erwähnenswert erscheint auch der Umstand, daß die thermischen Halbwertzeiten des Hirnzentrums in drei Temperaturklassen (15–25°C) zum jeweils gleichen Zeitpunkt (4 1/2 bis 5 h nach Meßbeginn) erreicht wurden, d. h. etwa 6 bis 6 1/2 h p. m. Auch ohne kontinuierliche Messung der Hirntemperaturen könnte dieser Befund im konkreten Fall für die Todeszeitschätzung Bedeutung erlangen. — Die Temperatur- und Zeitabhängigkeit der Differenztemperaturen (Abb. 9) war in den Temperaturklassen 10–20° sehr ähnlich, während bei höheren Umgebungstemperaturen ein deutlicher Sprung zu verzeichnen war. Entscheidende Bedeutung dürfte der Wärmeleitfähigkeit und -Kapazität jener Medien zuzuordnen sein, zwischen denen der Ausgleichsvorgang stattfindet: Bei steigender Umgebungstemperatur wird der konvektive Wärmeverlust der Peripherie wegen des geringer werdenden Gradienten immer kleiner, der Wärmekern des Hirnzentrums kann diesen Verlust konduktiv wesentlich besser ausgleichen, die maximale Temperaturdifferenz muß somit später eintreten und geringer werden.

Unsere bisherigen Versuche, die von De Saram et al., Fiddes, Brown u. Marshall und Sellier erarbeiteten mathematischen Verfahren zur Kurvenanalyse bzw. zu Extrapolation auf den Todeszeitpunkt auf das vorhandene Kurvenmaterial anzuwenden, schlugen regelmäßig dann fehl, wenn von „späten“ Kurventeilen (jenseits der Wendepunkte) auf „frühe“ Kurventeile hochgerechnet werden sollte. Zur Zeit bleibt daher nur die halb-empirische Verwendung des vorliegenden Datenmaterials zur „Rückrechnung“ auf den Todeszeitpunkt. Gemeint ist der Vergleich eines konkreten Temperaturausgleichsvorgangs bei bekannten Umgebungsverhältnissen mit dem vorliegenden Vergleichsmaterial (thermische Halbwertzeit, Differenztemperaturen, Absoluttemperaturen). Unter dieser fiktiven Annahme wurden späte Kurventeile (jenseits der 5. h p. m.) aus dem vorliegenden Material mit den erarbeiteten Daten der jeweiligen Mittelwertskurven verglichen, die Todeszeitpunkte konnten jeweils mit Grenzen innerhalb von  $\pm 1$  h ermittelt werden. Es handelt sich zwar um ein relativ grobes Verfahren, im Vergleich zu den bisher mitgeteilten halbmathematischen Verfahren unter Verwendung anderer Meßpunkte bietet es jedoch wesentlich genauere Ergebnisse. — Ziel der derzeitigen Bemühungen ist es, mit Hilfe eines Digitalrechners verschiedene mathematische Anpassungsverfahren z. B. durch nichtlineare Regression durchzuführen und eine numerische Datenanalyse vorzunehmen.

## Literatur

- Brinkmann, B., May, D., Riemann, U.: Postmortaler Temperaturausgleich im Bereich des Kopfes. *Z. Rechtsmedizin* **78**, 69–82 (1976)
- Brown, A., Marshall, T. K.: Body temperature as a means of estimating the time of death. *J. Forensic. Sci.* **4**, 125–133 (1974)
- Fiddes, F. S.: A percentage method for representing the fall in body temperature after death. Its use in estimating the time since death. With a statement of the theoretical basis of the percentage method by T. D. Patten. *J. Forensic. Med.* **5**, 2–15 (1958)
- De Saram, G. S. W., Webster, G., Kathirgamatamby, N.: Post-mortem temperature and the time of death. *J. Crim. Law Pol. Sci.* **46**, 562–577 (1955)
- Sellier, F.: Determination of the time of death by extrapolation of the temperature decrease curve. *Acta Med. Leg. Soc.* **11**, 279–302 (1958)

Eingegangen am 3. April 1978