

## Postmortaler Temperatúrausgleich im Bereich des Kopfes

### I. Meßtechnik, prinzipielle Untersuchungen

Bernd Brinkmann, Dieter May und Uwe Riemann\*

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

### Post Mortem Temperature Equilibration of the Structures of the Head

#### I. Thermometric techniques and principal investigations

**Summary.** Special thin and flexible thermometric probes showing a diameter of 1 mm and a sharp end were used for post mortem (p. m.) thermometric studies in several tissues. Brain temperatures were measured by inserting a double probe through the superior orbital fissura thus allowing to record the central and the peripheral brain regions separately. Another probe was inserted into the galea and a fourth into the liver. Temperature changes were recorded simultaneously. Many variables of the human head were measured. Sixteen corpses were investigated. The results were as follows:

1. Of all temperature curves registered those of the central brain regions showed the smallest variance.
2. The p.m. temperature curve of the brain shows a sigmoid shape with a rather short „plateau“ in the beginning.
3. In the early p.m. phase there is an increasing difference of temperatures between central and peripheral brain regions amounting to 2–4, 6°C in the time period between 78<sup>th</sup> and 128<sup>th</sup> minute.
4. The insertion of the thin probes does not cause visible damages. Thus it should be considered for use in forensic practice.

---

\* Mit finanzieller Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft

5. Some artificial „head models“ were constructed and temperature decrease recorded after warming. The curves showed the same type of sigmoid shape as those obtained from the corpses.

6. Of the possible variables measured that could influence the temperature decrease only the density of the hair seems to be of interest.

**Zusammenfassung.** Mit Hilfe spezieller Temperaturmeßsonden mit Durchmessern von 1 mm gelingt die kontinuierlich meßbare Temperaturableitung von mehreren Meßstellen im Bereich des Kopfes und Körpers. Die Einführung in das Hirn erfolgt durch die Fissura orbitalis superior. Zentrale und periphere Hirntemperaturen, Kopfschwarten-Temperaturen und Lebertemperaturen werden bei insgesamt 16 Leichen mit bekannter Todeszeit in der ersten Phase p.m. gemessen. Als wesentliche Ergebnisse werden gefunden:

1. Der Temperatúrausgleich im Hirnzentrum und in der Hirnperipherie erfolgt nicht exponentiell, sondern sigmoid.

2. Die geringste Streubreite bei günstiger Steilheit weist die Temperatúrausgleichskurve des Hirnzentrums auf.

3. Postmortal entsteht anfänglich zwischen Hirnzentrum und -peripherie eine zunehmende Temperaturdifferenz (mit Maximalwerten von mehreren Grad Celsius in der Zeit 73.–128. min p.m.), welche anschließend wieder abnimmt.

4. Zahlreiche somatische Einflußgrößen, welche die Geschwindigkeit des Temperatúrausgleichs beeinflussen könnten, werden bestimmt. Lediglich die Behaarungsdichte scheint einen meßbaren Einfluß zu üben.

5. Da sich die Sonde praktisch zerstörungsfrei in das Hirn einführen läßt, kann die Methode praktische Bedeutung erlangen.

6. Künstlich hergestellte Kopfmodelle weisen unter ähnlichen thermischen Bedingungen analoge Temperatúrausgleichskurven auf wie die Köpfe der Leichen. Die Ergebnisse werden diskutiert.

**Key words.** Todeszeitbestimmung, Temperaturmessung

Auf die gerichtsmedizinische Bedeutung postmortaler Temperaturmessungen zur Ermittlung der Todeszeit muß an dieser Stelle nicht gesondert hingewiesen werden. Das umfangreiche Schrifttum kann nur auszugsweise zitiert werden: Orfila (1836), Seydeler (1869), Chiari (1913), Richter (1914), Merkel (1930), Mueller (1938), Schleyer (1963), Shapiro (1965), Spann et al. (1968), Polson und Gee (1973), Naeve und Apel (1973), Brown und Marshall (1974). Verschiedene Formeln und Faustregeln wurden erarbeitet, mit dem Ziel, den Todeszeitpunkt aus einer bestimmten Leichentemperatur zu errechnen. Da die Parameter, welche die Größe des postmortalen Temperatúrausgleichs beeinflussen, sehr variieren, sind alle bisherigen Methoden mit beträchtlichen Ungenauigkeiten verbunden (Schleyer, 1963; James et al., 1965; Berg, 1973; Polson und Gee, 1973). Zwei Mitteilungen aus der Literatur gaben uns dennoch Anlaß, die Reihe bisheriger Bemühungen im obigen Sinne fortzusetzen: [1] Brown und Marshall (1974) entwickelten eine Gleichung, mit deren Hilfe unter Verwendung eigener experimenteller

Daten eine Näherung an den tatsächlich gemessenen Kurvenverlauf möglich erschien.

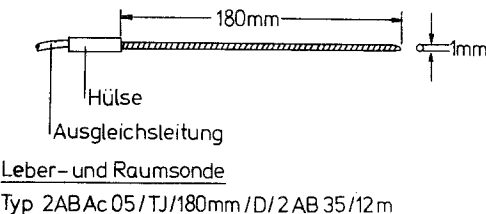
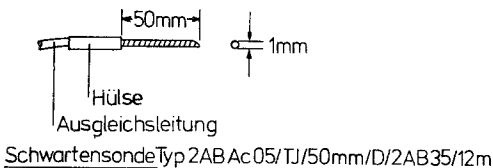
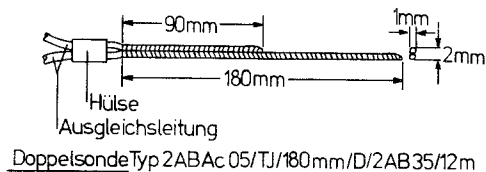
[2] Nach Mitteilungen von Richter (1914), Forbes (1952), Lyle und Cleveland (1956) und besonders zuletzt von Naeve und Apel (1973) ist deutlich erkennbar, daß der postmortale Ausgleich der Hirntemperatur die geringsten Streubreiten aufweist.

Hieran anknüpfend sollte die vorliegende Untersuchung dazu dienen, den postmortalen Temperaturausgleich im Bereich des Kopfes zu analysieren, die Parameter, welche die Geschwindigkeit des Vorgangs beeinflussen, zu bestimmen und die Methode auf forensische Praktikabilität zu untersuchen.

## Materialien und Methoden

**Thermosonden:** Die Ableitung der Temperatur erfolgte durch Chromel-Alumel-Mantelthermoelemente mit kanülenähnlich angeschliffener, abgerundeter Spitze; Durchmesser 1 mm, Längen 50–180 mm (Abb. 1). Der empfindliche Sondenbereich liegt in der Spitze und ist 3 mm lang. Die Wärmekapazität ist äußerst gering, die Ansprechzeit auf einen Temperatursprung von  $5^{\circ}\text{C}$  beträgt 0,1 sec. Für die Hirntemperaturmessung stand eine Doppelsonde zur Verfügung, welche aus einer langen Sonde (180 mm) und einer kurzen (90 mm) zusammengefügt war (Abb. 1); nach Positionierung lag die kurze im Hirnzentrum (Z), die lange in der Hirnperipherie (P) – s. hierzu Abb. 2.

**Registrierung, Messung, Eichung:** Die Thermosonden (2 Hirnsonden, 1 Kopfschwartensonde, 1 Leber- und Raumsonde) waren mit einem 6-Kanal-YT-Kompensationsschreiber (Watanabe) über Ausgleichsleitungen verbunden (Abb. 3). Die Lötstellen lagen entweder auf  $0^{\circ}\text{C}$  (Natureis) oder auf  $20^{\circ}\text{C}$  (elektronischer Temperaturkompensator, Firma Hiyoishi). Die Eichung erfolgte zwischen  $0^{\circ}$  und  $40^{\circ}\text{C}$ ; die einzelnen Eichpunkte wurden mittels Ultrathermostat ( $\pm 0,02^{\circ}\text{C}$  Konstanz, Firma



**Abb. 1.** Die verwendeten Meßsonden.  
Es handelt sich jeweils um  
Chromel-Alumel-Thermoelemente  
(Sonderanfertigung Fa. Philipps GmbH)



Abb. 2. Schematische Seitenansicht der positionierten Hirndoppelsonde (nach Röntgenphoto)

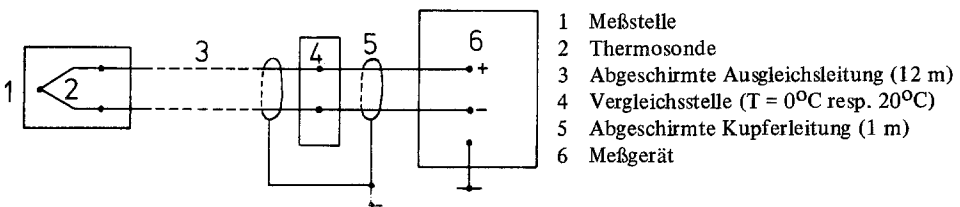


Abb. 3. Anordnung der Meßkette von der Sonde bis zum Schreiber (schematisch)

Lauda) eingestellt und mit geeichtem Thermometer überprüft. Wiederholte Eichungen während des Untersuchungszeitraumes ergaben praktisch keine Abweichungen. Die Meßgenauigkeit der Meßanordnung war  $< 0,1^\circ\text{C}$ .

*Positionierung der Meßsonden:* In Vorversuchen wurde die Hirnsonde durch entsprechend lange Kanülen ersetzt und die Lage der Spitze durch Tuscheinjektionen und anschließende Hirnsektion bestimmt. Die einzelnen Markierungspunkte streuten maximal 2 cm, wenn darauf geachtet wurde, daß die Sonde unter gleichem Winkel eingeführt wurde. Die endgültige Technik war wie folgt: Zunächst wurde medial des Augenbulbus nach lateralem Wegdrücken desselben ein Führungsrohr als Leitschiene für die Sonde (2,5 mm Durchmesser) nach mediosagittal bis zur fissura orbitalis superior vorgetrieben. Hierin wurde die Doppelsonde eingeführt, bis sie auf Widerstand stieß (Dura). Die röntgenologische Kontrolle ergab, daß die kurze Sonde in der geometrischen Hirnmitte lag und die lange radial gestaffelt in der Peripherie. Die Kopfschwartensonde wurde tangential im Parietalbereich bis zum Erreichen des Schädelknochens eingestochen. Die Lebersonde war 180 mm lang und wurde (nach Perkussion) in das vermutete Leberzentrum eingeführt. Die Sonde zur Registrierung der Raumtemperatur war einige Zentimeter oberhalb des Kopfes montiert.

*Leichtentemperaturmessungen* erfolgten an entkleideten Leichen auf Holztrage, welche durch eine Holzschirmwand gegen Ventilation aus dem übrigen Raum abgeschirmt waren. Es handelte sich um plötzliche Todesfälle (Coronartodesfälle) ohne Verdacht auf Infekt oder Fieber in der Anamnese und ohne pathologisch-anatomische Befunde hierfür. Die Raumtemperaturen variierten (jahreszeitabhängig) zwischen  $19^\circ$  und  $24^\circ\text{C}$ . Der Todeszeitpunkt wurde durch Mehrfachbefragung eruiert; nur dann wurde die Messung verwendet, wenn eine Einengung auf  $\pm 10$  min möglich war. Bei 14 Leichen lag der Meßbeginn zwischen 55 und 123 min p.m.; die Meßdauer betrug entweder

6 Std. (12 Leichen) oder 9 Std. (2 Leichen), bei 2 weiteren Leichen wurde (lediglich) die Differenztemperatur zwischen Hirn-Zentrum und -Peripherie gemessen ( $\Delta T_{Z,p}$ ). Bei anschließender Sektion wurden folgende Einzelheiten registriert: Hirnverletzung, Hirngewicht, Kopfdurchmesser (längs, quer), Schädelknochendicke, Schwartendicke, Behaarungstyp (s. Tab. 1) nach Muster. Körpergewicht – Körperlänge. Weiterhin Protokoll über Art und Dauer der Auffindungsbedingungen und des Transports.

**Tabelle 1.** Behaarungsgraduierung

Wuchsform	Wuchsdichte	Wuchslänge
normal (1)	dicht (1)	lang (1)
Stirnglatze (2)	mittel (2)	mittel (2)
Vollglatze (3)	schütter (3)	kurz (3)

Beispiel: Behaarungstyp 111 bedeutet:  
volle Behaarung, dicht, lang

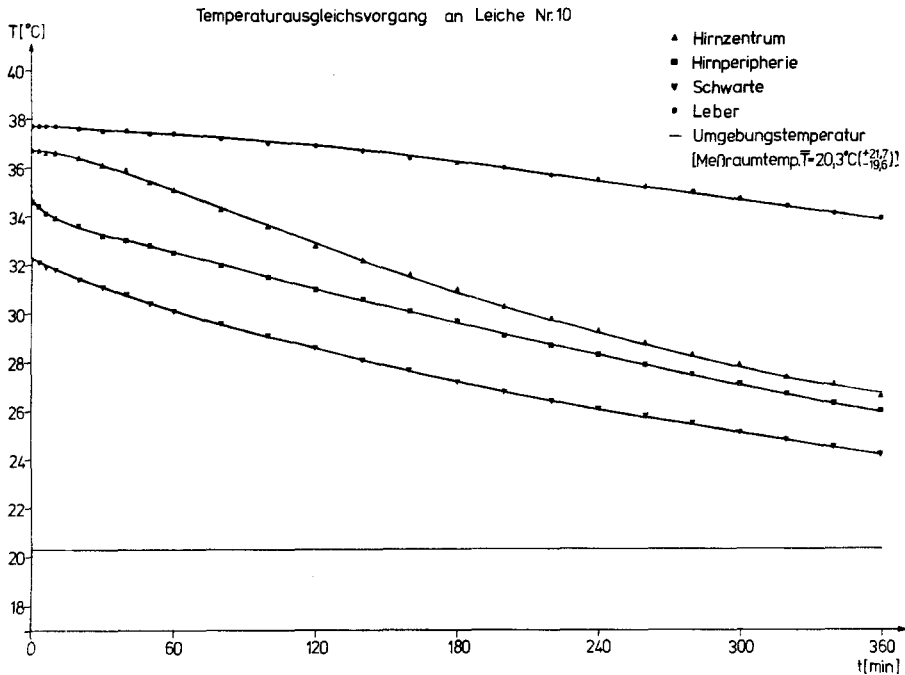
*Phantomuntersuchungen:* Durch Herstellung von „Kopfphantomen“ mit schalenartigen Schichten, ähnlich wie beim menschlichen Kopf, sollte der kritische und nur selten zugängliche Anfangsteil des Temperaturausgleichs zum Nachweis des sigmoiden Verlaufs untersucht werden: Zwei mit Hefe gefüllte Kokosnüsse und ein mit Silopren-Kautschuk überschichteter Schädel, welcher mit Leimgips gefüllt war. Die Temperaturableitung aus dem Inneren erfolgte mit Doppelsonden analog zum Leichenkopf. Die „Phantome“ wurden auf eine Anfangstemperatur von 37°C im Wasserbad aufgeheizt.

## Ergebnisse

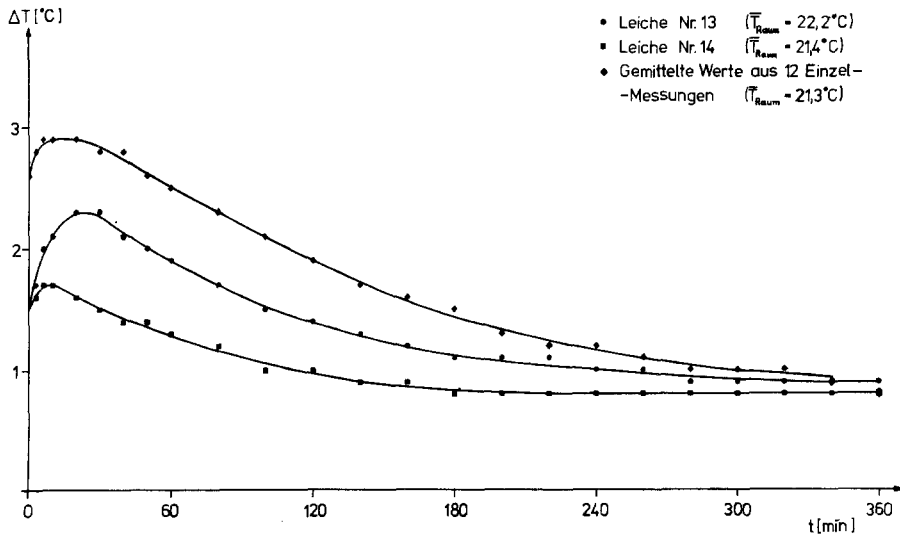
Auf eine Einzeldarstellung sämtlicher Temperatur-Zeit-Diagramme soll hier verzichtet werden, da diese relativ starke Ähnlichkeiten aufwiesen; beispielhaft sei ein Diagramm dargestellt (Abb. 4).

*Differenztemperaturen:* In sämtlichen Diagrammen fiel auf, daß  $\Delta T_{Z,p}$  p.m. zunächst zunahm, um anschließend wieder abzunehmen (s. Abb. 5). Das Maximum variierte zwischen 1,8 und 4,6°C (Mittel: 3,2°C) und wurde zwischen 73. und 128. min p.m. beobachtet (Mittel: 107. min). Eine der Einzelkurven war nicht auswertbar, da  $\Delta T_{maxZ,p}$  vermutlich bei Meßbeginn bereits überschritten war (Außentemperatur am Auffindungsort 0°C. Der zeitliche Verlauf der berechneten und in einigen Fällen direkt gemessenen Differenztemperaturen zwischen Zentrum und Peripherie entspricht möglicherweise einer „Bateman-Funktion“ (Bateman 1910), für die es prinzipiell einen analytischen Ausdruck gibt, der geeignet sein könnte, den Todeszeitpunkt aus Differenztemperaturmessungen zu bestimmen.

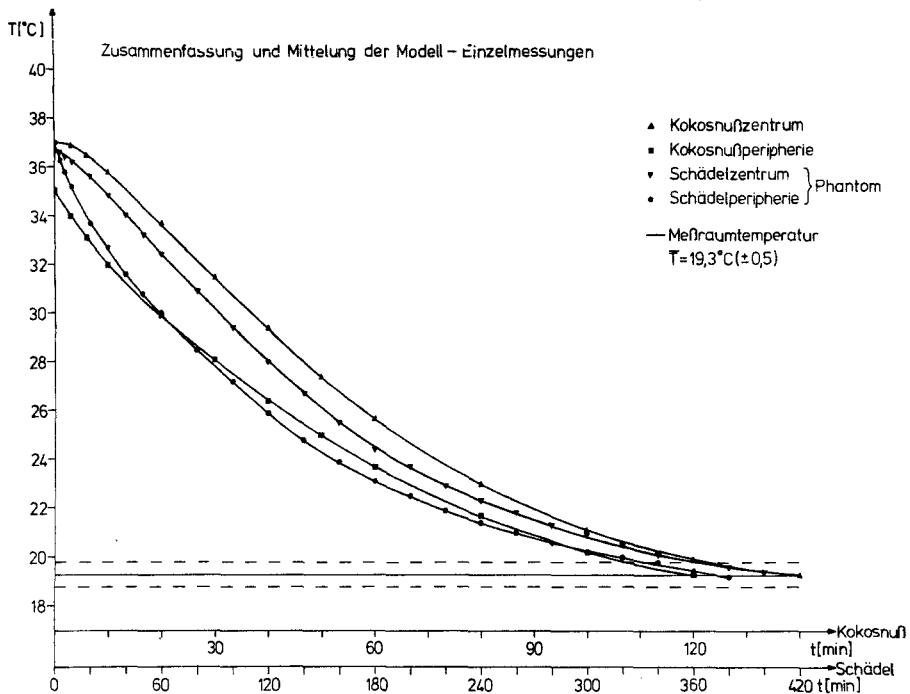
Auch bei den Phantom-Messungen war dieses Phänomen (s. Abb. 6) mit ähnlicher Amplitude und Zeit-Verlauf feststellbar (Zeitachse gespreizt für die Kokosnußmodelle). Mit zunehmender Meßzeit war regelmäßig eine deutliche Konvergenz beider Temperaturen zu beobachten (s. Abb. 4). Es wurde überprüft, ob die erfaßten Parameter (Behaarungsdichte, Kopfgeometrie, Hirngewicht, Kalotte, Auffindungstemperatur etc.) Zeitpunkt und Höhe von  $\Delta T_{maxZ,p}$  beeinflussen: Das höchste  $\Delta T_{maxZ,p}$  von 4,6°C – gefunden bei einem Glatzköpfigen nach plötzlichem Tod auf der Straße (4°C) – könnte



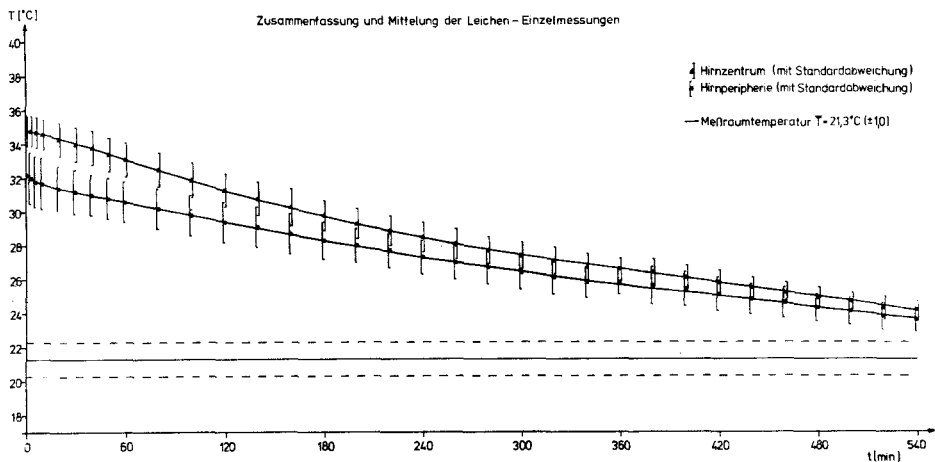
**Abb. 4.** Beispiel eines Temperatur-Zeit-Diagramms der verschiedenen Ableitungspunkte. Meßbeginn 67 min. p.m



**Abb. 5.** Temperaturdifferenzen zwischen Hirnzentrum und -Peripherie. Meßbeginn bzw. Beginn der Auftragung 90 min p.m



**Abb. 6.** Ergebnisse aus den Modellversuchen. Die Kurven repräsentieren jeweils Mittelwerte aus mehreren Einzelmessungen



**Abb. 7.** Mittelwertkurven der zentralen und der peripheren Hirntemperaturen. Mittelwerte aus 12 diesbezüglich berechenbaren Leichenversuchen. Der Zeitpunkt 0 repräsentiert jeweils den Zeitpunkt 90 min p.m. Davor liegende Kurvenabschnitte wurden nicht berücksichtigt

einen diesbezüglichen Hinweis geben. Ähnliches gilt für spätes Eintreten von  $\Delta T_{\max Z, P}$  bei guter (Haar)-Isolation; die Einzeldaten waren jedoch für statistisch verwertbare Betrachtungen zu heterogen, sichere Korrelationen waren nicht erkennbar.

**Kurvenverlauf:** Aus den Mittelwertskurven der Leichenmessungen, welche den Anfangsteil p.m. nicht enthalten (Abb. 7), ist ersichtlich, daß diese sigmoiden Charakter aufweisen. Deutlicher wird dies, wenn man die Modellkurven betrachtet, welche den Anfangsteil beinhalten (s. Abb. 6). Es stellt sich die Frage, ob die an unterschiedlichen Meßobjekten gewonnenen Kurventypen prinzipiell ähnlich und daher vergleichbar sind. Hierzu wurde die doppellogarithmische und normierte Auftragungsform gewählt (s. Abb. 8). Die große prinzipielle Ähnlichkeit der drei Kurven ist hieraus ersichtlich – mit Ausnahme unterschiedlicher Abkühlungs-Zeitkonstanten, welche durch unterschiedliche Wärme-Leitfähigkeitskennwerte und Geometrien bedingt sind. Zur weiteren Verdeutlichung der Kurvenform wurden die Originaldaten aus den Leichenversuchen und aus den Modellversuchen dimensionslos als Quotienten  $T/T_{\max}$  gegen die Zeit aufgetragen (Abb. 9) – mit Ausnahme der unterschiedlichen Zeitkonstanten stimmen beide Ausgleichsvorgänge überein. In Anlehnung an Brown und Marshall (1974) wurde versucht, mit Hilfe eines numerischen Stützstellenverfahrens (10 Stützstellen) eine Näherung an den Ausgleichsvorgang zu erzielen; die mit unzureichender Kenntnis der Kurvenparameter und ohne Computer durchgeführten Berechnungen ergaben keine gute Annäherung an den realen Kurvenverlauf, so daß wir die Annahme einer analytischen Exponentenfunktion zunächst nicht bestätigen können.

**Tabelle 2.** Behaarungsdichte<sup>1</sup>

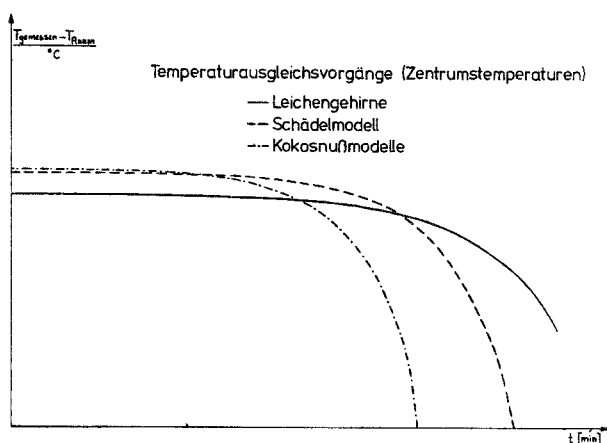
Meßpunkte	dicht	mäßig dicht	schütter	Glatze
Hirnzentrum	34.5/36.1	33.3/35.0	32.8/34.3	34.3
Hirnperipherie	30.5/33.3	29.6/31.9	29.8/32.3	29.8
Kopfschwarte	30.7/32.2	28.3/30.1	28.0/29.2	26.8

<sup>1</sup> Einfluß der Behaarungsdichte auf den Temperaturausgleich im Hirn und in der Kopfschwarte. Die Zahlen entsprechen  $T_{\min}/T_{\max}$  in °C

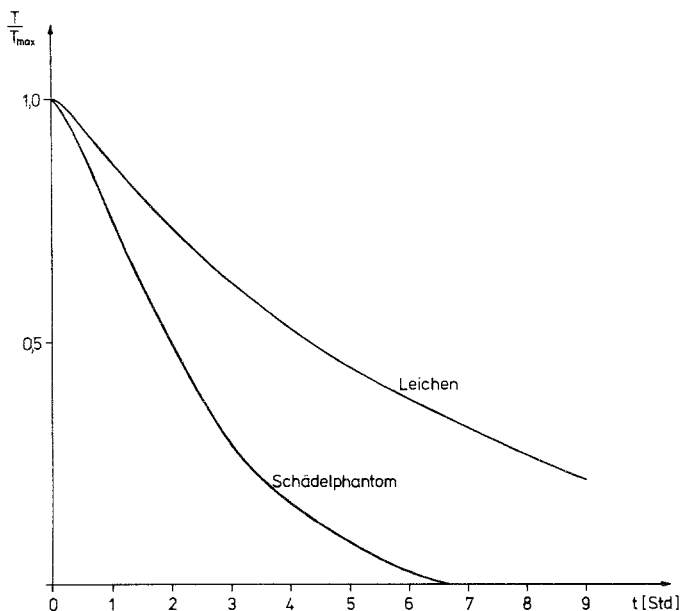
**Parameter:** Es wurde überprüft, ob die analysierten Parameter auf die Geschwindigkeit des Temperatur-Ausgleichs einen Einfluß haben. Hierzu wurde als Vergleichszeitraum einheitlich der Querschnitt zwischen 100. und 120. min p.m. untersucht. Der Einfluß der Behaarungsdichte ergibt sich aus Tab. 2; falls die wenigen Daten eine Interpretation zulassen, so ist eine geringe Wirkung im Sinne zusätzlicher Isolation vorhanden; dies gilt vor allem für die Schwartentemperatur. Der Behaarungstyp müßte also bei späterer rechnerischer Extrapolation berücksichtigt werden. Die Schädelkalotten wiesen relativ konstante mittlere Dicken auf ( $0,5 \text{ cm} \pm 0,1$ ); mit Ausnahme einer Leiche ( $0,8 \text{ cm}$ ), welche jedoch keine höheren Peripherie-Temperaturen aufwies. Die Schwartendicke war ebenfalls sehr konstant ( $0,5 \text{ cm} \pm 0,1$ ), auch hier waren daher Beeinflussungen nicht überprüfbar. Eine Überprüfung des Einflusses des Hirngewichtes ergab ebenfalls keine eindeutige Beziehung zu den zentralen bzw. peripheren Temperaturen. Aus den gemessenen Achsen wurden die Hirnvolumina berechnet, auch hier war eine Beeinflussung der



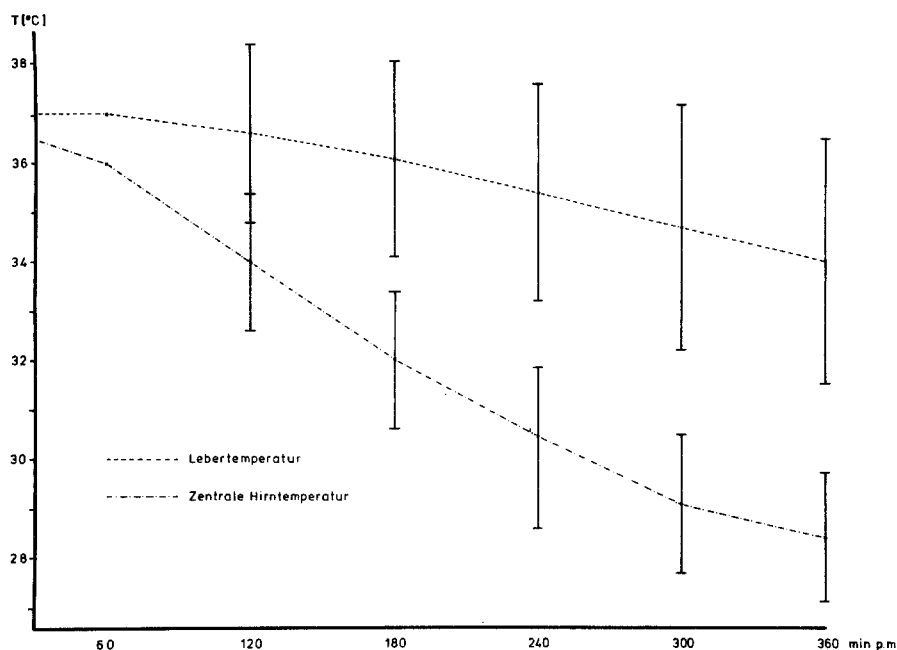
Hirntemperaturen nicht erkennbar. Insgesamt muß also festgestellt werden, daß von den erfaßten Einflußgrößen allenfalls die Behaarungsdichte einen Effekt auf den postmortalen Ausgleich der Hirntemperatur hat. Im Rahmen der Meßbedingungen war die Wirkung anderer Faktoren nicht erkennbar. Selbstverständlich bedeutet dies angesichts des Datenmaterials nicht, daß deren Mitwirkung hierdurch sicher ausgeschlossen ist.



**Abb. 8.** Temperatur-Zeit-Diagramm in logarithmischem Maßstab. Jeweils Mittelwertskurven analog zu Abb. 6 und Abb. 7



**Abb. 9.** Normierte Temperaturausgleichsvorgänge. Der Quotient  $T/T_{\max}$  wurde berechnet aus Mittelwerten analog zu Abb. 6 und Abb. 7



**Abb. 10.** Vergleich der zentralen Hirntemperaturkurve mit der Lebertemperaturkurve in der frühen p.m. Phase. Mittelwerte und Gesamtstreuung

**Tabelle 3.** Lebertemperatur (TL) und Hirntemperatur (TZ) in der frühen postmortalen Phase.<sup>1</sup>

min p.m.	Tz	$\frac{\Delta Tz}{h}$	TL	$\frac{\Delta TL}{h}$
		1.0		0
60	36.	2.0	37.	0.4
120	33.98 ± 1,4	2.0	36.6 ± 1,8	0.5
180	32.04 ± 1,4	1.6	36.1 ± 2,0	0.7
240	30.44 ± 1,4	1.4	35.4 ± 2,2	0.7
300	29.08 ± 1,4	1.2	34.7 ± 2,5	0.7
360	27.89 ± 1,3		34.0 ± 2,5	

<sup>1</sup> Mittelwerte und Gesamtstreuung.  $\frac{\Delta Tz}{h}$  = stündlicher Temperaturabfall, abgerundet. Die Anfangstemperaturen sind Mittelwerte aus drei Einzelwerten, daher keine genauen Angaben

*Variationsbreite – Schätzung des Todeszeitpunkts:* Da eine mathematische Analyse der Kurvenform bisher nicht möglich ist (dies soll zu einem späteren Zeitpunkt untersucht werden, wenn zahlreiche Kurven numerisch auswertbar sind), bleibt die Analyse der Streubreite und des gemittelten Kurvenverlaufs, um aus punktuellen Meßwerten die Todeszeit zu berechnen. Aus den gemittelten Werten (Tab. 3, Abb. 10) ergibt sich, daß  $T_Z$  und  $T_L$  in den ersten Stunden unregelmäßig abnehmen. Die Gesamtstreuung um den Mittelwert ist bei  $T_Z$  gleichmäßig zu den einzelnen Zeitpunkten des gesamten Ausgleichsvorgangs, bei  $T_L$  nimmt dieser Wert zu. Einem Meßwert von  $36,5^\circ\text{C}$  in der Leber wäre jeder Todeszeitpunkt innerhalb der ersten 6 Std. ante zuzuordnen; dem gleichen Wert im Hirnzentrum ein Todeszeitpunkt unter 1,5 Std. ante (s. Abb. 10).

*Hirnsektion:* Bei 12 Leichen wurde nach der Temperaturmessung eine eingehende Hirnsektion durchgeführt. Das Auffinden des Sondenkanals war häufig trotz genauer Kontrolle nicht möglich. Blutungen im Bereich des Kanals waren in keinem Fall erkennbar.

## Diskussion

Nachdem Richter (1914), Forbes (1952), Lyle und Cleveland (1956) mehr unter primärwissenschaftlichen Aspekten Hirntemperaturmessungen an Leichen durchführten, war es vor allem das Verdienst von Naeve und Apel (1973), in umfangreichen Hirnuntersuchungen auf den großen forensischen Wert dieser Untersuchungstechnik hingewiesen zu haben. Sie betonten den Vorteil der geringen Streubreite gegenüber anderen Organen, finden als Kurvenform eine „Exponentialfunktion“ und weisen gleichzeitig auf die mit ihrer Meßtechnik verursachten relativ groben Zerstörungen am Schädelknochen und Hirngewebe hin, weswegen sie „erhebliche Bedenken“ gegen eine praktische forensische Anwendung äußern.

Soweit die eigenen, wesentlich weniger umfangreichen Daten einen Vergleich mit den Untersuchungen von Naeve und Apel zulassen, so ist zunächst die geringe Streubreite aufgrund der vorliegenden Untersuchungen zu bestätigen. Ein Vergleich, welcher für die ersten Stunden p.m. durchgeführt wurde, zeigt diesbezüglich praktisch Übereinstimmung. Der von Naeve und Apel für den Ausgleichsvorgang geforderte exponentielle Verlauf konnte weder aus der qualitativen Formanalyse noch nach logarithmischer Auftragung bestätigt werden. Bei den von Naeve und Apel vorgelegten Kurventeilen vermißt man allerdings auch in der Anfangsphase (etwa 1 h p.m.) den Übergang zum „plateau-ähnlichen“ Verlauf, welcher von zahlreichen anderen Autoren gefunden wurde (Marshall und Hoare, 1962; Marshall 1962<sup>a u. b</sup>, 1965, 1969; Schwarz und Heidenwolf, 1954/55; Shapiro, 1965; Spann et al., 1968) und zu einem sigmoiden Verlauf führt (Sellier 1958). Da dies auch im Gegensatz zu den vorliegenden Untersuchungen am gleichen Meßobjekt steht, ist zu vermuten, daß diese Diskrepanz durch Unterschiede in der Meßtechnik verursacht wurde. Die wesentlich höhere Wärme-Leitfähigkeit und -Kapazität der Platinwiderstands-Meßsonde und die durch Perforation durchgeführte Eröffnung der Schädelhöhle könnte bei den Messungen der genannten Autoren ein „Wärmeleck“ verursacht haben, welches den sigmoiden Verlauf im Anfangsteil überdeckte. Bedingt durch die

Tatsache, daß die Hirnsonden ohne Verletzung des Schädelknochens und ohne makroskopisch erkennbare Hirnverletzungen eingeführt werden konnten, ergibt sich ein zusätzlicher neuer Aspekt: Sollte diese Beobachtung in laufenden Untersuchungen bestätigt werden, so wäre an einen Einsatz auch in der forensischen Praxis zu denken. Der Unterschied zu den von Naeve und Apel beschriebenen, regelmäßig beobachteten Hirnblutungen kann nur so erklärt werden, daß die wesentlich schlankeren Sonden möglicherweise nur die Hirnstrukturen auseinanderdrängen (ähnlich wie bei stereotaktischen Eingriffen), statt sie lokal zu zerreißen bzw. zu quetschen.

Wie vor allem aus Abb. 10 ersichtlich, ist es nicht so sehr die geringere Streubreite, sondern vor allem die kurzzeitige Ausbildung des plateauähnlichen Temperaturverlaufs, weswegen die Messung der Hirntemperatur wesentlich exaktere Rückschlüsse auf den Todeszeitpunkt zuläßt. Aus den bisherigen Untersuchungen ist zu erwarten, daß eine weitere Einengung der Varianz noch wesentlich genauere Rückschlüsse auf den Todeszeitpunkt ermöglichen wird. Dies ist zu erwarten, wenn unter möglichst normierten Bedingungen zahlreiche Temperaturkurven für eine Analyse der Einflußgrößen (auf die Streuung und auf die Kurvenform) zur Verfügung stehen. Dies gilt besonders dann, wenn für die Extrapolation nicht nur ein Kurvenpunkt, sondern eine Kurvenstrecke, möglichst von mehreren Ableitungspunkten zur Verfügung stehen.

*Zum Prinzip der postmortalen Wärmeabgabe:* Der Kopf hat eine überschaubare Geometrie, er läßt sich näherungsweise als Rotationsellipsoid bzw. als Kugel betrachten. Die Wärmeabgabe vom Hirnzentrum an die peripheren Schichten erfolgt durch Wärmeleitung (konduktiv), wobei Schädelknochen und Schwarte äußere Schichten mit unterschiedlichen thermischen Kennwerten darstellen. Die Wärmeleitung über die Schädelbasis ist vernachlässigbar gering, da sich hier überwiegend lufthaltige, gekammerte Räume mit entsprechend guter Isolation befinden. Die Wärmeabgabe über die äußere Schicht zur Luft erfolgt im wesentlichen konvektiv (Laves, 1950; Brown und Marshall, 1974); beim Kopf ist überdies wegen der gleichmäßig „punktförmigen“ Auflagefläche die konduktive Wärmeabgabe gering und überschaubar. Die Wärmeabgabe von dem als geschichteter Schalenkörper zu betrachtenden Kopf kann weder linear noch exponentiell verlaufen: Im stationären Zustand würde in einer homogenen Schicht ein geradliniger Temperaturgradient zustandekommen. Verändert sich aber auf einer der beiden Seiten die Temperatur (wie z.B. beim Abkühlvorgang), so klingt die Temperatur exponentiell ab — es würde sich um einen Newton'schen Ausgleichsvorgang handeln, der bei logarithmischer Auftragung einen linearen Verlauf der Temperatur-Zeit-Funktion ergibt. In einer mehrschichtigen und heterogenen Wand verläuft das Temperaturprofil entsprechend den unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten nicht mehr geradlinig, und die Temperatur klingt daher im instationären Zustand nicht mehr exponentiell ab, sie hat einen „empirischen Verlauf“, der allenfalls durch Exponentenfunktionen angenähert beschrieben werden könnte (Faltin 1968). Lediglich die äußeren Schichten, welche die Wärme durch Konvektion verlieren, könnten einen Newton'schen Ausgleichsvorgang aufweisen — angedeutet ergibt sich dies z.B. für die Temperatur der Kopfschwarte. Für die einzelnen Schichten gilt folgender prinzipieller Verlauf: Nach dem Tod verliert die äußerste Schicht (unter Annahme ähnlicher Wärmekapazitäten für alle Schichten) am schnellsten

ihre Wärme (hoher Temperaturgradient); sie kühlt ab, und es entsteht ein Temperaturgradient zur nächst inneren Schicht, aus welcher die Wärme nun konduktiv nach außen abfließen kann; dieser Prozeß setzt sich nach innen hin fort, bis ein Temperaturgefälle vom Zentrum zur Schwarte aufgebaut ist; erst dann kann die im Zentrum befindliche Wärme abfließen. Hierdurch findet die zeitliche Verzögerung (Plateau) des zentralen Wärmeverlustes ihre Erklärung und auch das anfängliche Divergieren der Temperaturen zwischen Hirnzentrum und Hirnperipherie bis zum Erreichen eines Maximum; desgleichen die anschließende Konvergenz beider Kurven.

## Literatur

- Bateman, H.: Proc. Cambridge Phil. Soc. 15, 423 (1910)
- Berg, S.P.: Rechtsmedizin. Kap. D13: Frühe Leichenveränderungen, S. 126. 10 erweiterte Auflage, München: Verlag Rudolph Müller u. Steinicke 1973
- Brown, A., Marshall, T.K.: Body temperature as a means of estimating the time of death. J. forensic Sci. 4, 125–133 (1974)
- Chiari, H.: Die Leichenerscheinungen und die Leichenbeschau. Kap. 3: Die Veränderungen der Temperatur der Leiche. In: Handbuch der ärztlichen Sachverständigen-Tätigkeit, Bd. 2, S. 20–29, Wien-Leipzig: Braumüller 1913
- Faltin, H.: Technische Wärmelehre. Kap. VI: Die Wärmeübertragung, S. 288–320. 5. Aufl., Berlin: Akademie Verlag 1968
- Forbes, J.: Time since death. Med. J. Aust. 2, 585–586 (1952)
- James, W.R.L., Knight, B.H.: Errors in estimating time since death. Med.Sci.Law 5, 111–116 (1965)
- Laves, W.: Postmortale Veränderungen. Kap.: Postmortales Verhalten der Körpertemperatur. In: Ponsold, A., Lehrbuch der gerichtlichen Medizin, S. 120–121. 1. Aufl. Stuttgart: G. Thieme 1950
- Lyle, H., Cleveland, F.: Determination of the time of death by body heat loss. J. forensic Sci. 1, 11–23 (1956)
- Marshall, T.K., Hoare, F.E.: Estimating the time of death. The rectal cooling after death and its mathematical expression. J. forensic Sci. 7, 56–81 (1962)
- Marshall, T.K.(I): Estimating the time of death. The use of cooling formula in the study of post-mortem body cooling. J. forensic Sci. 7, 189–210 (1962)
- Marshall, T.K.(II): Estimating time of death. J. forensic Sci. 7, 211–221 (1962)
- Marshall, T.K.: Temperature methods of estimating the time of death. Med.Sci.Law 5, 224–232 (1965)
- Marshall, T.K.: The use of body temperature in estimating the time of death and its limitations. Med.Sci.Law 9, 178–182 (1969)
- Merkel, H.: Über Todeszeitbestimmung an menschlichen Leichen. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. 15, 285–319 (1930)
- Mueller, B.: Das Verhalten der Mastdarmtemperatur unter verschiedenen äußeren Bedingungen. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. 29, 158–162 (1938)
- Naeve, W., Apel, D.: Hirntemperatur der Leiche und Todeszeit. Z. Rechtsmedizin 73, 159–169 (1973)
- Orfila, M.: Traite de medicine legale, Bd. 2. S. 4–31 De signes de la mort reelle, 3. Aufl. Paris: Bechet Jeune 1836
- Polson, C., Gee, D.J.: The essentials of forensic medicine. 3. ed. Oxford-New York-Toronto-Sydney-Braunschweig: Pergamon-Press 1973
- Richter, M.: Temperaturmessungen an Leichenorganen. Ärztl. Sachverst. Z. 20, 221–225, 244–245 (1914)

- Schleyer, F.: Determination of the time of death in the early postmortem interval. In: Lundquist, F.: Methods of forensic Science. Bd. 2, S. 253–293. London-New York: Interscience Publishers 1963
- Schwarz, F., Heidenwolf, H.: Le refroidissement post mortem. La signification quant a l'heure du deces. Rev. intern. pol. Crim. 8, 339–344 (1953). Ref. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. 43, 467 (1954/55)
- Sellier, K.: Determination of the time of death by extrapolation of the temperature decrease curve. Acta med. leg. soc. 11, 279–302 (1958)
- Seydeler, R.: Nekrothermometrie. Vjschr. Prakt. Heilk. (Prague) 104, 137 (1869)
- Shapiro, H.A.: The post-mortem temperature plateau. J. forensic Med. 12, 137–141 (1965)
- Spann, W., Liebhardt, E., Terfloth, P.: Fortlaufende Temperaturmessungen in der Leber und in der Muskulatur der unteren Extremitäten. In: Aktuelle Fragen der gerichtlichen Medizin, Bd. 3, S. 243–248. Halle (Saale): Wissenschaftliche Beiträge der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg 1968

*Eingegangen am 21. Oktober 1975*