

Ein Grenzzonenphänomen an der Haut im Badewannenwasser liegender Leichen

G. Wollenek¹, H. Dietl², W. Denk³, und G. Laufer¹

¹2. Chirurgische Universitätsklinik Wien, Spitalgasse 23, A-1090 Wien, Österreich

²Institut für Strömungslehre, Abteilung Magneto hydrodynamik und Bioströmungsmechanik der Technischen Universität Wien, Karlsplatz 13, A-1040 Wien, Österreich

³Institut für Gerichtliche Medizin der Universität Wien, Sensengasse 2, A-1090 Wien, Österreich

A phase transition phenomenon on the skin of bodies lying in waterfilled bathtubs

Summary. In three cases a phenomenon is reported, seen on the skin of bodies found dead after a longer time of lying in bathtubs filled with water. The sign was parallel to the surface of the water and showed a breadth up to about 1 cm. Contrary to the surrounding skin, the mark was characterized by paleness and clearly less distinct formation of postmortem alterations as putrefaction. Searching for an explanation, temperature measurements were performed in model. The results showed the marginal paleness of the skin to be a thermal phase transition phenomenon. This mark has a forensic message too: it demonstrates a longer remaining of the corpse in the corresponding position, is a statement concerning the high of the water level, and allows a reconstruction of the original situation after manipulation, but is no sign of vital reaction.

Key words: Bathtub death, skin mark – Phase transition phenomenon on the skin in waterfilled bathtubs

Zusammenfassung. In drei Fällen wird ein an Leichen, die nach längerer Liegedauer in wassergefüllten Badewannen aufgefunden wurden, beobachtetes, parallel zur Wasseroberfläche verlaufendes und bis zu etwa 1 cm breites Hauptphänomen berichtet. Im Gegensatz zur umgebenden Haut zeichnet sich die streifenförmige Marke durch Blässe und deutlich geringer ausgeprägte postmortale Veränderungen wie Fäulnis aus. Zur Abklärung wurden an einem Modellfall Temperaturmessungen durchgeführt. Die Ergebnisse lassen die streifige Hautabblässung als thermisches Grenzzonenphänomen erklären. Dieses besitzt auch eine forensische Wertigkeit: das Zeichen be-

zeugt ein längeres Verweilen des Leichnams in der entsprechenden Lage, bietet eine Aussage betreffend die Höhe des Wasserspiegels und gestattet eine Rekonstruktion der ursprünglichen Position nach Lageveränderung, ist aber kein Vitalitätszeichen.

Schlüsselwörter: Badewannentod, Hautmarke – Grenzzonenphänomen an der Haut im Badewannenwasser

Einleitung

Bei der Begutachtung von in Badewannen aufgefundenen Leichen muß mit besonderer Sorgfalt vorgegangen werden, um Todesfälle infolge Einwirkung elektrischer Energie nicht zu übersehen. Dabei wirkt die Erfahrungstatsache erschwerend, daß auch bei sicherem Kontakt mit stromführenden Leitern nicht immer eindeutige Strommarken vorhanden sind, für deren Entstehung in Abhängigkeit vom Zeitfaktor eine ausreichend hohe Energiedichte erforderlich ist [9].

Bei einem tödlich verlaufenden Unfall durch elektrischen Strom in einer wassergefüllten Badewanne beobachtete Holzer zusätzlich zu geformten Strommarken eine gut erkennbare streifenförmige Hautabblassung entsprechend der Wasserstandslinie, ging jedoch nicht auf die Genese ein [5]. Ähnliche lineare Ablassungen an einer Frau, die in ihrer Badewanne durch Stromeinwirkung ermordet worden war und an den Stellen des Direktkontaktes von Stromleitern und Körperoberfläche geformte Male aufwies [11], veranlaßten Schwerd und Lauterbach zu experimentellen Untersuchungen, welche die linearen Hautveränderungen als streifenförmige Strommarken deuten ließen [12].

Diese allgemein akzeptierte Wertung wurde in der Folge generell beibehalten. So beschrieben Weiler und Riße [13] im Falle eines Tötungsdeliktes durch elektrischen Strom in der Badewanne neben geformten Strommarken einen linearen Grenzstreifen. Angeregt durch drei weitere einschlägige Beobachtungen (zwei Unfälle und ein eindeutiger Suizid) konnten Böhm und Weiler [2] experimentell derartige Phänomene als Folge von Stromdurchfluß elektrothermisch hervorrufen. In Kollektiven von jeweils 49 Stromtodesfällen fanden Kallieris [7] an 5 Leichen und Hülsken und Püschel [6] 1 Mal, Schneider [10] allerdings keine streifenförmigen Ablassungen entlang der Wasseroberfläche. Bonte et al. [3] gaben bei gezielter Suche lineare Marken oder lineare Begrenzungen des Totenfleckenbereiches entlang der Wasserstandslinie in 10 von 48 Fällen an, dahingegen fand Gilg [4] bei 93 Leichen keine derartige Veränderungen.

Im Gegensatz zur zitierten Literatur konnten bei den hier vorzustellenden Fällen zwar lineare Hautablassungen, jedoch bei bekannter Todesursache keine Hinweise auf eine zusätzliche Stromeinwirkung erhoben werden. Mittels gegenständlicher Arbeit soll belegt werden, daß diese hellen Streifen nicht a priori als Strommarke zu werten sind, sondern auch ohne Durchgang elektrischer Energie entstehen können. Experimentelle in vitro Untersuchungen dienen weiters dem Ziel, Ursache und Bedingungen für das Entstehen dieses Phänomens sowie dessen forensische Aussage aufzuzeigen.

Fallberichte

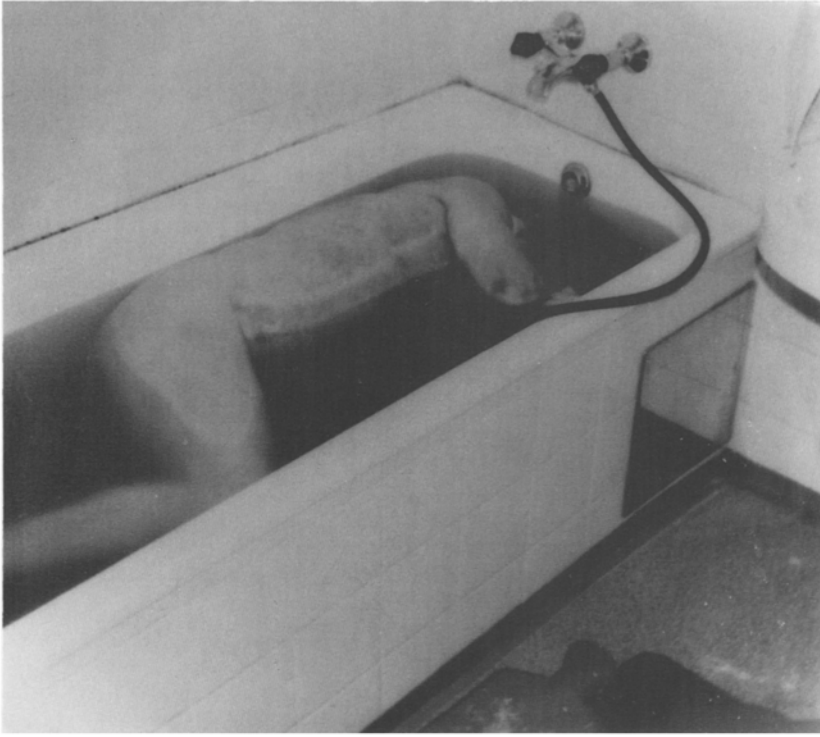
Die Leiche einer 37jährigen Frau, die in Seitenlage mit dem Kopf unter Wasser in ihrer Badewanne aufgefunden worden war, gelangte im Zustand weit fortgeschrittener Fäulnis mit Mißfärbigkeit und großflächiger Ablösung der Haut zur Obduktion. Ähnlich waren Auffindungssituation und Zersetzungsgrad bei einem 67jährigen Mann. Während Polaroidaufnahmen vom jeweiligen Auffindeort deutliche streifenförmige und parallel zur Wasseroberfläche verlaufende, gegenüber den umgebenden Flächen hellere und weniger von der zum Zeitpunkt der Aufnahme erst beginnenden Fäulnis veränderte Zonen zeigten (Abb.1 und 2), waren diese anlässlich der Obduktion in situ nicht mehr erkennbar.

Bei der bekanntermaßen exogen depressiven Frau wurde eine vermutliche suizidale Medikamentenvergiftung durch Barbiturate und Tranquilizer nachgewiesen, der an generalisierter Atherosklerose und an den Folgen eines Schlaganfalles leidende Pensionist bot ausgeprägte stenosierende Koronarsklerose und ausgedehnte Verschielung des Myokards.

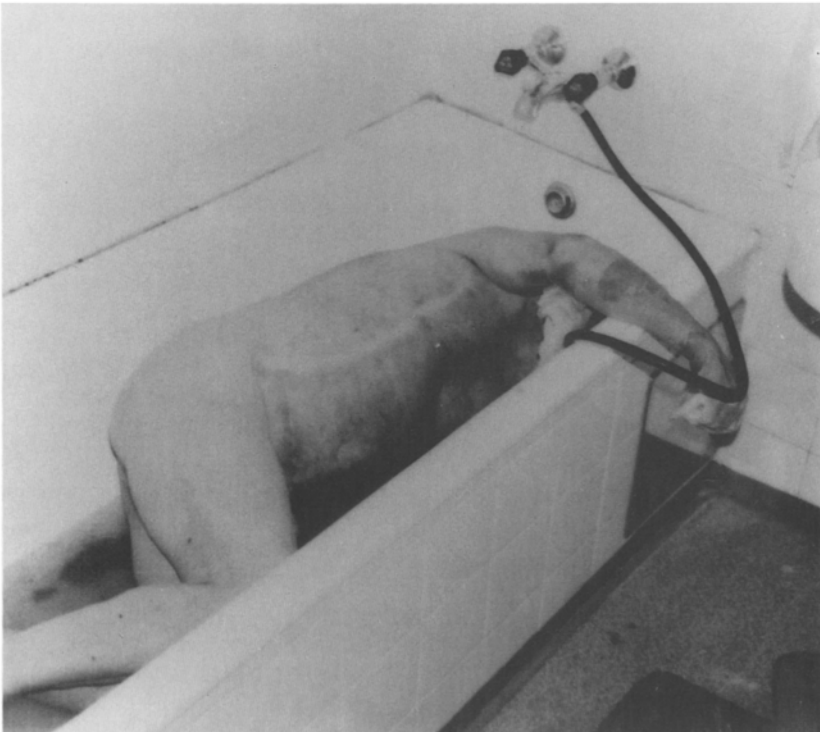
Gleichfalls in Seitenlage, den Kopf unter der Wasseroberfläche, wurde ein 70jähriger Pensionist in der Badewanne ertrunken aufgefunden. Er hatte offenbar in suizidaler Absicht reichlich Tranquilizer in Kombination mit Alkohol zu sich genommen. Im Gegensatz zu den vorgenannten beiden Fällen war zwar die Aufnahmesituation nicht photographisch dokumentiert worden, die gegenständlichen Hautveränderungen, deren Lokalisation mit der polizeilichen Beschreibung der Lage der Leiche in der Wanne korrelierte, zum Zeitpunkt der Leichenöffnung jedoch noch erkennbar. Die Umstände des Falles (Selbstmordversuch eine Woche zuvor, anbei bereit liegende Schnur mit Schlinge und geleerte Medikamentenpackung) erbrachten keinen Anhaltspunkt für Fremdeinwirkung.



Abb. 1. Die in der wassergefüllten Badewanne befindliche Leiche zeigt eine aufgehellte streifige Marke im Übergangsbereich von Wasser zu Luft am linken Oberarm und derselben Rumpseite. An der Extremität liegt die Marke der Wasseroberfläche direkt an und ist eher scharf begrenzt. Am Rumpf erscheint sie gering diffuser und etwa 3–4 cm oberhalb des Wasserspiegels angeordnet. Die Haut ober- und unterhalb des Streifens ist annähernd gleichmäßig getönt



a



b

Aufgrund des Zustandes fäulnis- und autolysebedingter Gewebeerstörung war bei den ersten beiden Verstorbenen eine weiterführende histologische Untersuchung nicht mehr sinnvoll.

Bei dem 70jährigen Mann wurde eine feingewebliche Aufarbeitung der allerdings auch bereits beginnende Fäulnisveränderungen aufweisenden Haut des betroffenen Areals durchgeführt. Es fanden sich keine eindeutigen morphologischen Unterschiede zwischen der etwa 1 cm breiten helleren Hautzone und dem umgebenden Bereich: stellenweise waren Zusammenlagerungen von Basalzellen in Gebieten struktureller Unruhe sowie bläschenförmige bis wabige Veränderungen vorhanden.

Bei allen drei Verstorbenen verlief die Probe auf CO-Vergiftung negativ. Von den ermittelnden Behörden konnte kein Hinweis auf die Möglichkeit einer Stromeinwirkung erhoben werden.

In vitro Experimente

Zum Zwecke der Untersuchung regionaler Temperaturprofile wurden am Institut für Strömungslehre, Abteilung Magnetohydrodynamik und Bioströmungsdynamik der Technischen Universität Wien (Leiter: Prof. Dr. E. Leiter †) Testserien unter Verwendung von anlässlich einer operativen Vollamputation einer unteren Extremität gewonnenen frischen Hautstücken am experimentellen Modellaufbau durchgeführt. Gemessen wurde an Hautpräparaten mit den Aus-

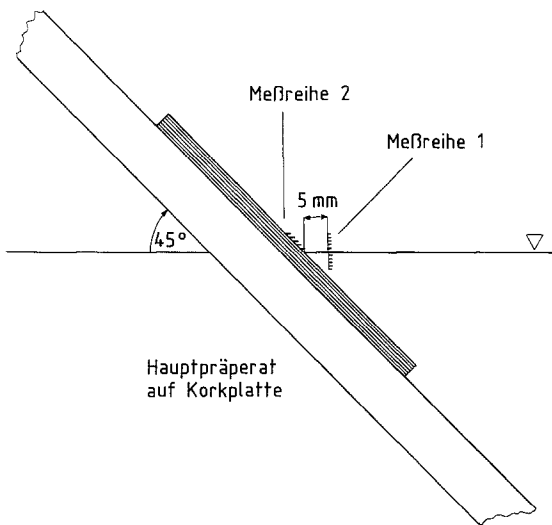


Abb. 3. Für die Versuche wird das Hautpräparat auf einer Korkplatte befestigt und etwa zur Hälfte in das Wannenwasser eingebracht

Abb. 2. Die Polaroidaufnahme von der Auffindungssituation läßt den helleren Streifen im Bereich des rechten Oberschenkels und rechten Oberarmes in der ursprünglichen Wasserstandslinie, am Rumpf wenige Zentimeter darüber und vergleichsweise diffuser ausgebildet erkennen (a). Nach weitgehendem Ablassen des Wassers (b) zeigen sich deutliche, fäulnisbedingte Hautveränderungen (Mißfärbigkeit, regionale Ablösung der Oberhaut), hauptsächlich im vordem unter Wasser befindlichen Bereich, aber auch oberhalb des davon weniger betroffenen hellen Hautstreifens

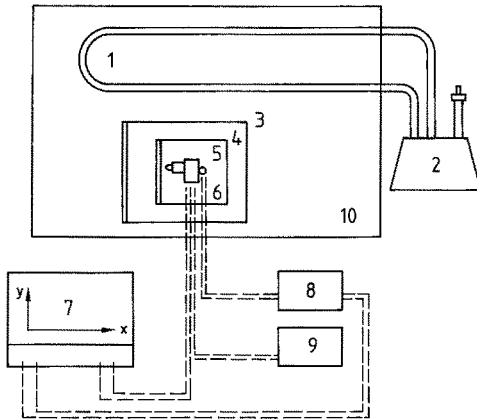


Abb. 4. Die Meßanordnung besteht aus (1) Wärmetauscher, (2) Umwälzthermostat, (3) Präparatträger, (4) Präparat, (5) Traversiervorrichtung, (6) Sonde, (7) X-Y-Schreiber, (8) Meßbrücke, (9) Gleichspannungsquelle und (10) Wanne mit Wasserfüllung

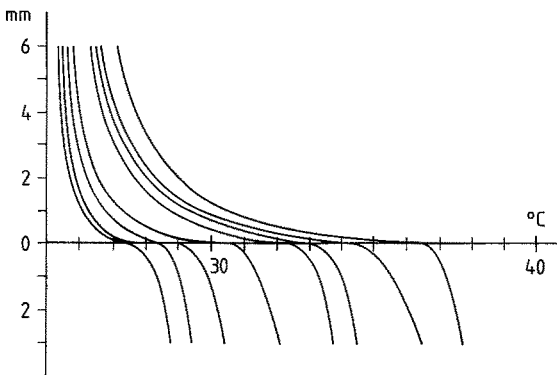


Abb. 5. Die Meßreihe 1 wurde 5 mm von der Schnittkante Präparat-Wasseroberfläche durchgeführt (Umgebungstemperatur: 22,5°C, Relative Feuchte: 50%)

maßen 100×100 mm, die für die Versuche nach etwa 6stündiger Verwahrung in 4°C feuchtem Milieu auf einer Korkplatte aufgespannt wurden (Abb. 3).

Um die Umgebungstemperatur möglichst punktförmig messen zu können, wurde als Geber eine Heißfilmsonde DISA 55R42 verwendet, deren Sensor als Filmband mit 0,6 mm Durchmesser um den Körperkonus herum angeordnet war. Die Ortseinstellung der Sonde erfolgte mit einer Traversiereinrichtung mit einer Ortsauflösung von 0,01 mm. Über das angeschlossene 10-Wendelpotentiometer entstand mit Hilfe einer Gleichspannungsquelle eine zur Sondenposition proportionale Spannung, die auf den X-Kanal des XY-Schreibers gelegt wurde. Über Meßbrücke und Meßverstärker erhielt man eine zur Temperatur proportionale Ausgangsspannung, die an die Y-Koordinate des Schreibers gelegt wurde. Das Präparat wurde in einem wassergefüllten Becken in einem Winkel von 45° fixiert, wobei die untere Hälfte des Hautstückes sich unter der Wasseroberfläche befand. Das Becken wurde mittels eines Wärmeaustauschers aufgeheizt, ein Umwälzthermostat diente der Temperaturregistrierung des Wassers im Becken (Abb. 4).

Es wurden zwei Meßreihen aufgenommen: Die erste Messung wurde jeweils bis 6 mm von der Schnittkante Wasseroberfläche-Präparat durchgeführt. Diese

Meßreihen dienten dazu, den Umgebungszustand in Hautnähe zu untersuchen. Bei einer Umgebungstemperatur von 22.5°C und einer relativen Feuchte der Raumluft von 50% wurden die Temperaturprofile beim Abkühlen des Wasservolumens ausgehend von einer Maximaltemperatur aufgenommen. Die Messung eines Temperaturprofils beanspruchte etwa 30 Sekunden (Abb. 5). Die Meßwerte sind gut reproduzierbar: im Bereich 3–6 mm über der Wasseroberfläche entstehen durch konvektive Aufwärtsströmung höherfrequente Temperaturfluktuationen, die angegebenen Werte stellen in diesem Bereich Mittelwerte dar (Tabelle 1). Unterschiede zwischen den vom Thermostat registrierten Temperaturen im Wasserbecken und ad hoc gemessenen punktuellen Temperaturen im späteren Verlauf der Beobachtungen lassen sich als Folge eines Verlustes durch Wärmeabstrom über den in situ verbleibenden Umwälzthermostat erklären.

Messungen der zweiten Reihe, die unter gleichartigen Bedingungen direkt an der Oberfläche des Präparates durchgeführt wurden, erwiesen sich als weniger gut reproduzierbar. Hierbei sind grundlegende Unterschiede zum Tempera-

Tabelle 1.

Messungen der		Minuten nach Ver- suchsbeginn	Wasser- temperatur in der Tiefe, $^{\circ}\text{C}$
Meßreihe 1 (Meßnummern in Auswahl)	Meßreihe 2		
	3	5	38.6
4		15	38.2
5		20	37.8
10		45	35.9
12		55	34.9
19		115	32.2
21		151	30.6
23		167	28.4
24		175	28.2
	25	180	28.2

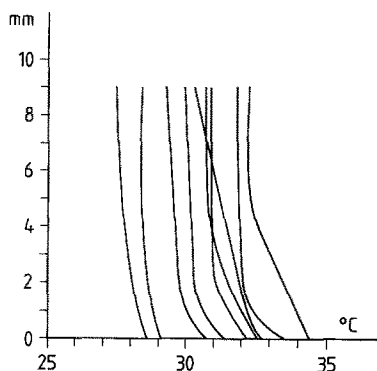


Abb. 6. Meßreihe 2 mit Registrierung der Temperatur unmittelbar am Präparat (Umgebungstemperatur: $22,5^{\circ}\text{C}$, Relative Feuchte: 50%)

turverlauf „in vivo“ anzunehmen, weil das auf eine Korkplatte aufgebrachte Hautstück nur geringe Dicke besaß und so der Wärmefluß durch Temperaturleitung nicht mit dem im Körper übereinstimmt (Abb. 6).

Bemerkenswert war, daß während der etwa dreistündigen Untersuchungen am Präparat ein dem gegenständlichen Phänomen analoger zarter Streifen entstand und auch nach Abschluß der Experimente längere Zeit erhalten blieb. Die Abkühlungsvorgänge des Leichnams mit der Ausbildung eines Temperaturgradienten zwischen Körperkern und Oberfläche nach Todeseintritt sowie die Einstellung eines Fließgleichgewichtes und die thermischen Interaktionen mit den beiden Umgebungsmilieus Wasser und Luft wurden im Modellfall außer Acht gelassen. Obwohl zweifellos alle Kompartimente und Körper in Abhängigkeit von Masse, thermischer Leitfähigkeit und Temperaturdifferenzen maßgebend sind für die ablaufenden, sich überschneidenden thermischen und biologischen Prozesse, erscheint es statthaft, die Interpretation der gegenständlichen Thematik auf die Grenzphase zu beschränken.

Diskussion

Ursache für manche ähnliche Phänomene, zum Beispiel die Aussparung der Totenflecke, können über längeren Zeitraum einwirkende mechanische Kräfte sein. Aufgrund der Lokalisation und des morphologischen Erscheinungsbildes müßte demzufolge bei gegenständlichen Zeichen eine streng der Wasseroberfläche parallel verlaufende Druckkomponente auf den Körper vorhanden sein. Die Seitendruckkraft läßt sich unter Berücksichtigung der Tatsache, daß der Schweredruck mit der Tiefe zunimmt, rechnerisch erfassen: laut zutreffender Gleichung zeigt sich die Seitendruckkraft $F_s = A_s \times h \times \sigma \times g$, wobei A_s für die Seitenfläche, h für den Schwerpunktabstand der Fläche vom Oberflächenniveau, σ für die Dichte und g für die Fallbeschleunigung stehen. Daraus ergibt sich zwangsläufig, daß die Seitendruckkraft oberflächennahe sehr gering ist und an der Oberfläche ($h = 0$) völlig fehlt. Zweifelsfrei erreichen auch die Oberflächenspannung und Adhäsionskräfte im Grenzbereich Haut-Wasser-Luft keine im Zusammenhang ausreichend relevante Größenordnung.

Als weitere Entstehungsursache, und dies entspräche den Interpretationen der vorliegenden zitierten Literaturstellen, ist ein Schluß eines Stromkreises durch den teilweise im Badewannenwasser befindlichen Körper zu erwägen. Laut der von Schwerd [12] angeführten Erläuterung sei hierfür eine Isolierung der Wanne mit dadurch ermöglichtem Aufbau des Strompotentials und Verdichtung der Stromschleifen unter der Wasserfläche Voraussetzung. Wanne und Körper dürften nicht direkt geerdet sein, sondern die Erdung müsse über das Badewasser erfolgen. Für das Entstehen von Strommarken der geschilderten Art sei einerseits eine „Erdelektrode“, andererseits ein länger anhaltender Stromdurchfluß erforderlich.

Böhm und Weiler [2] konnten dementsprechende Hautschädigungen elektrophysikalisch ohne direkten Elektrodenkontakt experimentell hervorrufen: es handelte sich dabei um „mehr oder weniger erhabene oder ebene streifenförmig lineare horizontal in Wasserspiegelhöhe und darüber orientierte Abblassung

der Haut mit deutlicher Konsistenzerhöhung bei hyperämischer Randzone nach oben und/oder flächendeckender Hyperämie unterhalb des Wasserspiegels . . . “. Mit den Einschränkungen einer geringen Fallzahl und, wie zuvor geschildert, sehr schlechtem Erhaltungszustand zum Zeitpunkt der Untersuchung der Leichen sei vermerkt, daß wir im Gegensatz zu dieser definierenden Beschreibung weder eine Konsistenzerhöhung der abgeblaßten Zone, noch einen hyperämischen Randbezirk beobachtet haben.

Gefördert wurde die experimentelle Entstehung der durch Stromdurchfluß hervorgerufenen Streifen durch warmes, elektrolytreiches Wasser sowie durch Zusatz von Seifen und waschaktiven Substanzen mit konsekutiver Erhöhung der Leitfähigkeit. Weiters ergaben die Experimente eine Abhängigkeit des Effektes von Größe und Abstand der Elektroden sowie deren Oxydationszustand, Lage und Beziehung zum Körper [2].

Abgesehen von der Interpretation der Genese als Folge hoher lokaler Stromliniendichte wird in der vorliegenden Literatur [2, 12] nicht eingegangen auf die Umstände, die elektro-thermische Schäden auf die Wasserstandlinie und die daran anschließende Hautzone beschränken. Während eine hohe lokale Stromliniendichte dort zu erwarten ist, wo die Elektroden sich im Bereich der Wasseroberfläche befinden, sind im Falle einer tief im Wasser lokalisierten Elektrode andere Linienverläufe und demzufolge andere Liniendichten anzunehmen. Dies mag neben unterschiedlicher Stromflußzeit und Leitfähigkeit mit einer Erklärung sein für die erfahrungsgemäß sehr unterschiedliche Ausprägung von Strommarken oder gar deren Fehlen in Fällen eindeutigen Stromdurchflusses.

Die kritische Wertung der bekannten Fälle ergibt einen auffallenden Unterschied: In den der Literatur entnommenen Fällen handelt es sich – abgesehen von den zur Diskussion stehenden Streifen – um eindeutige Todesfälle infolge Elektrizitätsdurchfluß mit klassischen, bis zur Verschmörung ausgebildeten und oft geformten Strommarken. Anders bei den hier vorgestellten Leichen: diese wiesen keine typischen Strommarken auf, die Erhebungen der ermittelnden Behörden ergaben keinen Hinweis auf einen möglichen Stromunfall, und die Ursache des Todes beziehungsweise die zum Eintritt des Todes wesentlich beitragenden Umstände waren zur abschließenden Diagnosestellung ausreichend.

Der entscheidende und zu weiteren wissenschaftlichen Überlegungen anregende Denkanstoß wurde durch die vorerst zufällige Beobachtung gewonnen, daß ein teilweise in Wasser eingebrachtes Präparat relativ frischer Menschenhaut ohne sonstiges Zutun in Niveau des Wasserspiegels eine gleichartige blasse Streifenzone entwickelte. Diese Beobachtung und die davon ausgehenden Betrachtungen wiesen auf eine andere Ursache hin, oder eine andere von mehreren möglichen.

Das geschilderte Experiment stellt aufgrund des deutlichen Temperatursprungs in der Grenzzone bei höherer Temperaturdifferenz der Medien eine Erklärungsmöglichkeit des Streifenphänomens dar.

Die Problematik jedes Interpretationsversuches liegt darin, daß hierbei multifaktorielle Einflüsse vorhanden sind: einerseits ist nach Eintritt des Individualtodes mit einem Fortbestehen supravitaler Reaktionen bei allmählichem Einsetzen von Vorgängen der Autolyse und Fäulnis zu rechnen. Andererseits spielt das Verhältnis der Temperaturen von Körpern (hier auch Kern-Haut-Unter-

schiede), Wasser und Luft sowie deren Entwicklung im Sinne einer zeitabhängigen, aber möglicherweise unterschiedlichen Abkühlung der Kompartimente mit den entsprechenden Interaktionen eine wichtige Rolle. Besonders erschwert ist unter diesen Bedingungen die Quantifizierung der Wertigkeit von Strahlung, Leitung und Konvektion sowie Verdunstung.

Die Hauttemperatur ist abhängig von den inneren und äußeren Bedingungen des Wärmetransportes und der Wärmeübergänge. Dabei erfolgt der Wärmetransport im Körperinneren konduktiv entsprechend den Wärmeleitzahlen der passierten Gewebe unter Berücksichtigung der Wärmeübergangsbedingungen an Grenzschichten zwischen unterschiedlichen Gewebeschichten. Im Körper besteht sowohl ein radiales als auch ein axiales Temperaturgefälle: demzufolge wird die Hauttemperatur umso niedriger sein, je kleiner der Radius des Körperteiles und damit die Isolationskraft des den Körper umgebenden Weichteilmantels sind und je weiter entfernt von diesem sich der betroffene Körperabschnitt befindet, zum Beispiel an den Extremitäten. Diese kühlen deshalb rascher ab als der vom Körperkern länger warm gehaltene Rumpf. Unter Luftbedingungen erfolgt der Wärmeabstrom von der Körperoberfläche, die als Punkt des von innen nach außen gerichteten Temperaturgefälles vorstellbar ist, auf drei Wegen: durch Strahlung, durch Leitung und Konvektion und durch Verdunstung. Im Bereich normaler Temperaturen ist der Wärmeverlust durch Strahlung im wesentlichen der Temperaturdifferenz zwischen Körperoberfläche und Umgebung proportional. Nach dem Gesetz von Stefan Boltzmann gilt für die Strahlung, daß sie abhängig ist von der Strahlungskonstante, der strahlenden Fläche, den absoluten Temperaturen der Oberfläche und der angestrahlten Umgebung, sowie der Emissionszahl.

Durch die den Körper ummantelnde ruhende Grenzschicht, deren Dicke abhängt von Windgeschwindigkeit und dem Radius des umhüllten Körpers, erfolgt der Wärmeabstrom rein konduktiv durch Leitung und Konvektion, für die die Wärmeübergangszahl, die Oberfläche und die Temperaturen der Haut und der umgebenden Luft maßgeblich sind. Im Badezimmermilieu darf ruhende Luft und somit eine breite Grenzschicht angenommen werden.

Weiters wird Wärme abtransportiert durch Wasserverdunstung an der Oberfläche, wobei 580 Kalorien für die Verdunstung von ein Gramm Wasser verbraucht werden. Die durchtretenden Mengen – und damit die auf diesem Wege abgegebene Wärme – verhalten sich wie die Dampfdruckgefälle zwischen Haut und Umgebung und umgekehrt wie die Dicke der Grenzschicht.

Es ist nicht möglich, mit einem gemeinsamen Wert die Wärmeverluste an der Körperoberfläche je Flächeneinheit und je Einheit des Temperatur- beziehungsweise Dampfdruckgefälles zu erfassen. Als Richtwerte gelten jedoch bei Windstille folgende Mittelwerte: bei Strahlung $8,3 \times 10^{-3}$, für Konvektion $4,0-6,0 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{min}^\circ\text{C}$, für Verdunstung $7,5-12,5 \times 10^{-3} \text{ cal/cm}^2\text{min mmHg}$ (1).

Ganz anders sind die Verhältnisse im Wasser: hier ist die Strahlung minimal, der konduktive Wärmeverlust bei einer im Vergleich mit Luftbedingungen 25-fach höheren Wärmeleitzahl und einer um eine Zehnerpotenz schmäleren Grenzschicht jedoch etwa 250fach höher. Aufgrund vasokonstriktiver Regulation wird ein übermäßiger Wärmeverlust durch das so verringerte äußere Tempera-

turfälle vermieden. Schweißsekretion und Durchblutungsreaktion können beim Lebenden den Wärmeverlust entscheidend beeinflussen. Bei Leichen findet man gleichfalls die perspiratio insensibilis, eine Wasserabgabe durch Diffusion durch die äußersten Hautschichten.

Ebenso führen grundsätzlich Kaltreize auf der Haut auch bei Leichen zu lokaler Vasokonstriktion, wobei mit zunehmender Dauer der Postmortalphase diese Reaktionsfähigkeit absinkt und schließlich völlig fehlt.

Neben Strahlung, Leitung und Konvektion, sowie Verdunstung sind zahlreiche andere Faktoren für die Schnelligkeit der Abkühlung wesentlich: Körpervolumen (Radius), Fettgewebe, Bedeckung, Luftbewegung, Feuchtigkeitsgehalt der Körperoberfläche und der Umgebungsluft, Auflagefläche und Leitfähigkeit der Unterlage sowie nicht zuletzt die Umgebungstemperatur. Diese Summe verschiedenartiger Einflüsse verstärkt im Übergangsbereich Körper-Wasser-Luft den allerdings weitaus dominierenden Wärmeverlust an der Wasseroberfläche. In dem geschilderten, erheblich vereinfachenden experimentellen Modellfall zeigt sich eine Abhängigkeit der registrierten oberflächennahen Abkühlung von der Temperaturdifferenz zwischen Wasser und Luft. Oberflächliche Temperatursprünge innerhalb weniger Millimeter bis über 10°C wurden gemessen. Demzufolge ist an der Hautoberfläche in diesem Grenzbereich, allerdings nur bei entsprechend großer Temperaturdifferenz beider Umgebungsmedien, eine thermische Einwirkung im Sinne einer lokalen Abkühlung vorhanden. Der längerfristig einwirkende Kühleffekt verzögert die autolytische Trennung des Myosins vom Aktin und führt somit neben einer thermisch bedingten Vasokonstriktion zu einer Hemmung der Lösung der Totenstarre im Bereich der Gefäßwandmuskulatur. Auch die finalreaktiven und agonalchemischen Stoffwechselprozesse werden lokal hintangehalten. Grundsätzlich wird die Autolyse, die entsprechend den Temperaturoptima der meisten beteiligten Enzyme zwischen 34° und 40°C am raschesten abläuft, durch die lokal begrenzte Temperatursenkung erheblich gehemmt, wohingegen die warme Umgebungstemperatur, besonders des Wassers, vergleichsweise starke Aktivitätszunahme und rasch progrediente Autolyse erwarten läßt. Die lokale Kälte dürfte auch die postmortale Permeabilitätssteigerung aller Membranen verzögert ablaufen lassen, woraus eine relative Stabilität der Verhältnisse beziehungsweise verlangsamter Ausgleich der Konzentrationsunterschiede von Inhaltsstoffen der Körperkompartimente anzunehmen sind. Entsprechend verzögert ist auch das Einsetzen der Fäulnisprozesse zu erwarten, sofern die thermischen Bedingungen konstant bleiben, das heißt der lokale Wärmeentzug weiterhin wirksam bleibt.

Forensischer Aussagewert

Die konklusive Aussagesicherheit bei Bestehen des gegenständlichen Phänomens ist eingeschränkt. Dies allem voran deswegen, weil die experimentellen Untersuchungen ergaben, daß sich der geschilderte Streifen von gegenüber der Umgebung deutlich abgeblaßter Haut auch als Erscheinung des späteren Leichenstadiums ausbilden kann, wenngleich in derartigen Fällen und in Abhängigkeit von der zeitlichen Distanz zum Tod des Organismus wohl geringer aus-

geprägt. Mit Sicherheit können die streifenförmigen Hautabblassungen dieser Genese demzufolge nicht als Vitalitätszeichen gelten.

Vorläufig – und bei Ausschluß elektro-thermischer Ursachen – bleibt ungeklärt, ob es sich um ein ausschließlich thermisches Erscheinungsmuster, bei dem die lokale Temperatur der betroffenen Areale aufgrund der oberflächlichen Verdunstung von warmem Wasser durch Wärmeentzug sinkt, oder um einen Kombinationseffekt regionaler Abkühlung und dessen Auswirkung auf die supravitale Reaktionsfähigkeit handelt. Somit sind die Rückschlüsse betreffend den Zeitpunkt des Todes beim derzeitigen Wissensstand nicht zulässig. Eine Todeszeitbestimmung ist schon deswegen nicht durchführbar, weil der Einfluß der im Badezimmer und in der gefüllten Badewanne herrschenden höheren Temperaturen kaum einschätzbar ist. Jedenfalls gilt die als grober Schätzwert geltende Casper'sche Regel [8], derzufolge der Zerfall einer Leiche im zeitlichen Verhältnis 1:2:8 für die Milieubedingungen Luft, Wasser und Erdgrab ablaufe, gewiß nur für kühles Wasser (natürliche Gewässer oder auch kaltes Badewasser!), wohingegen im üblicherweise warmen Badewasser zweifellos eine andere Gesetzmäßigkeit zu erwarten ist.

Es darf als gesichert gelten, daß die Verdunstungskälte im gegenständlichen Hautareal eine Verzögerung des im feuchtwarmen Badezimmermilieu erheblich beschleunigten Ablaufes früh- und spätmortaler Reaktionen bedingt: so ist erklärbar, daß die Zone, in der aufgrund einer anhaltenden Einwirkung der Verdunstungskälte kontinuierlich Wärme verloren geht, inmitten einer Region deutlicher Autolyse- und Fäulnisveränderungen lange Zeit weitgehend unverändert bleibt. Inwieweit in der Frühphase der lokale Kältereiz ein kontraktionsfördernder Stimulus ist und dessen protrahiertes Bestehen eine anhaltende Vasokonstriktion bedingt, bleibt spekulativ.

Abgesehen von der im Stadium der späteren Leichenveränderungen durch Fäulnisgase bedingten Blähung des Bauches mit rotationsartigem Aufschwimmen entspricht die Lokalisation der Streifen dem Niveau des Wasserspiegels. Die Entstehung der Streifen erfordert, wie die im Rahmen der experimentellen Untersuchungen gewonnenen Erfahrungen zeigen, längere Zeit eines stabilen Zustandes: gleichbleibende Körperlage im Wasser, ruhige Oberfläche, relativ ruhige Umgebungsluft und annähernd konstante Umgebungstemperatur. Die Intensität des Streifenphänomens scheint, bei vorsichtiger Interpretation der Beobachtungen, abhängig zu sein von der Höhe der Temperaturdifferenz.

Ähnlich wie im Falle des „Wanderns“ der Totenflecke bei Umlagerung eines Leichnams bildet sich auch entsprechend der neuen Körperlage ein neuer Hautstreifen aus: vergleichsweise ist dieser neu entstandene Streifen weniger deutlich ausgeprägt und demzufolge blasser als der ursprüngliche, der aber noch längere Zeit erhalten bleibt.

So hat das Streifenphänomen nicht nur deskriptive Bedeutung, sondern bietet auch, mit der gebotenen kritischen Wertung, Anhaltspunkte für die Lage des Körpers in einer Badewanne, auch wenn im Zuge der Auffindung das Wasser abgelassen oder gar der Körper aus dem Wasser geborgen worden wäre. Auch die ursprüngliche Wasserhöhe in der Wanne mag abschätzbar sein. Weiters begründen Streifen unterschiedlicher Lokalisation die Annahme, daß ein Stellungswechsel, aus welchem Grunde immer, stattgefunden und sich der

Leichnam danach längere Zeit in seiner nunmehrigen Position befunden haben müssen.

Wie die gerichtsmedizinische Erfahrung, so in ausgeprägter Weise auch in zwei der vorgestellten Fälle, lehrt, schreiten die Leichenveränderungen bei Badewannenleichen in der Regel sehr rasch voran, so daß bald die Beurteilbarkeit der Körperoberfläche nur mehr eingeschränkt oder nicht mehr gegeben ist. Umso notwendiger ist es, am Auffindungsort im Sinne der Sicherung von Spuren eventueller forensischer Relevanz eine Photodokumentation durchzuführen, wobei zugleich festgehalten werden sollte, ob die Lage des Leichnams vor diesem Zeitpunkt bekanntermaßen verändert worden ist.

Die Ursachen für die auch bei gezielter Suche relative Seltenheit dieses Phänomens sind bislang nur zum Teil bekannt, manche bleiben spekulativ: ein völliges Fehlen oder eine kaum wahrnehmbare Ausbildung sind zu erwarten bei zu kurzer Liegezeit im Wasser, bei zu geringer Temperaturdifferenz zwischen den Medien, so etwa bei hoher Raumlufttemperatur oder a priori kühlem Badewasser, sowie wenn im Rahmen eines protrahiert verlaufenden Sterbevorganges (z. B. im Falle von Intoxikationen) das Wasser mittlerweile ausgekühlt ist.

Zusammenfassend haben die drei vorgestellten Fallsituationen und die durchgeführten Temperatursprungmessungen gezeigt, daß die bandförmigen Zonen blasser Haut unter bestimmten Bedingungen im Badezimmermilieu als Ausdruck lokaler Einwirkung von Phasenübergängen auftreten können und nicht zwangsläufig einen Stromdurchfluß voraussetzen. Es erscheint jedoch in Hinblick auf die kritische Wertung dieses Phänomens aus forensischer Sicht sinnvoll und notwendig, weiter experimentell abzuklären, unter welchen Voraussetzungen, vor allem bezüglich der lokalen Stromliniendichte, derartige streifenförmige Veränderungen im Sinne von Strommarken entstehen oder bei Stromdurchfluß durch Erwärmung der oberflächlichen Wasserschicht hervorgerufen werden können. Insbesondere bleibt weiter zu klären, ob und wie bei Stromdurchfluß – so wie in ähnlicher Art an den hier vorgestellten Leichen durch lokale Kälteeinwirkung – streifenförmige Strommarken nicht nur in der Höhe des Wasserspiegels, sondern auch in einem über dem Wasserniveau gelegenen anschließenden Hautbereich (2) entstehen können.

Da bei den betreffenden Leichenfunden in der Regel bereits ausgeprägte, oder in der Folge rasch voranschreitende Fäulnisprozesse zu erwarten sind, ist weiters erforderlich, falls mehrere Ursachen gleichartige Phänomene hervorrufen können, die Möglichkeiten einer differentialdiagnostischen Abklärung zu erforschen und damit die unter der Bedingung einer Fäulnisbeeinflussung problematische Abhängigkeit von histologischen Interpretationen zu vermindern.

Literatur

1. Aschoff J, Günther B, Kramer K (1971) Energiehaushalt und Temperaturregulation. In: Gauer OH, Kramer K, Jung R (Hrsg) Physiologie des Menschen, Band 2. Urban & Schwarzenberg, München Wien Berlin
2. Böhm E, Weiler G (1986) Experimentelle Erzeugung horizontaler Strommarken im Wasser. Beitr Gerichtl Med 44: 460–467

3. Bonte W, Sprung R, Huckenbeck W (1986) Problem in der Beurteilung von Stromtodesfällen in der Badewanne. *Z Rechtsmed* 97: 7–19
4. Gilg Th (1988) Zum Stromtod in der Badewanne (München 1964–1987). *Beitr Gerichtl Med*, FS Holczabek VI: 79–84
5. Holzer FJ (1955) Verschmörung unter Wasser bei einem Elektrounfall durch 220 Volt. *Dtsch Z Gerichtl Med* 44: 418–421
6. Hülsken H, Püschel K (1984) Stromtod in der Badewanne. Vortrag 15. Arbeitssitzung d. Norddeutschen Rechtsmediziner in Münster (zit. nach 13)
7. Kallieris D, Miltner E, Schmidt G, Joachim H (1987) Stromtod in der Badewanne. *Beitr Gerichtl Med* 46: 301–305
8. Mueller B (1975) *Gerichtliche Medizin*. Springer, Berlin Göttingen Heidelberg
9. Pack-Dietrich B (1971) Zur Diagnose des Stromtodes vom versicherungsrechtlichen Standpunkt – Med. Diss., Berlin, 1–103
10. Schneider V (1973) Bemerkenswerte Fälle von Strombeibringung durch fremde Hand. *Arch f Kriminol* 151: 149–158
11. Schwerd W (1959) Über die Ausbildung von Strommarken bei der Einwirkung von Elektrizität im Wasser. *Dtsch Z Gerichtl Med* 49: 218–223
12. Schwerd W, Lauterbach L (1960) Mord mit elektrischem Strom in der Badewanne. *Arch f Kriminol* 126: 33–49
13. Weiler G, Riße M (1985) Tötung durch elektrischen Strom in der Badewanne. *Arch f Kriminol* 176: 82–88

Eingegangen am 28. November 1988