

Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf
Diagnostikzentrum, Institut für Rechtsmedizin
Direktor: Prof. Dr. med. Klaus Püschel

Das Phänomen des Wiedereintritts der Leichenstarre nach
mechanischem Lösen
im Rahmen der Todeszeitbestimmung

DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines Doktors
in dem Fachbereich Rechtsmedizin
der Universität Hamburg

Vorgelegt von Michaela Kunz

Hamburg 2012

Angenommen von der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

am: 07. August 2012

Veröffentlicht mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss - Vorsitzender: Prof. Dr. K. Püschel

Prüfungsausschuss - 2. Gutachter: PD Dr. J. Zustin

Prüfungsausschuss - 3. Gutachter: Prof. Dr. M. Glatzel

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	6
1.1. Einführung	6
1.2. Definition der Todeszeit und Grundlagen der Todeszeitbestimmung	6
1.2.1. Rigor mortis (Totenstarre)	8
1.2.1.1. Definition Rigor mortis	8
1.2.1.2. Biochemische und physiologische Grundlagen der Rigor-mortis- Entstehung und dessen Verlauf	9
1.2.1.3. Das Phänomen des Wiedereintritts der Starre nach mechanischem Lösen	11
1.2.1.4. Neubildung der Totenstarre, bezogen auf die klinische Todesursache	12
1.2.2. Livores (Totenflecke) - Definition und Beurteilung im Rahmen der Todeszeitbestimmung	13
1.2.3. Supravitale Aktionen und Reaktionen	16
1.2.4. Leichenabkühlung	16
2. Historischer Überblick	18
2.1. Karl Meixner (1922)	19
2.2. Hermann Merkel (1937)	20
2.3. Hans-Joachim Mallach (1964, 1971)	22
2.4. Peter Zink (1972)	24
2.5. Claus Henßge und Burkhard Madea (1980er Jahre)	27
2.6. Thomas Krompecher (2007)	27
2.7. Kritische Diskussion der historischen Grundlagen	29
3. Aufgabe und Zielsetzung der Arbeit	31

4.	Material und Methoden	32
4.1.	Datenerfassung.....	32
4.2.	Einschlusskriterien.....	32
4.3.	Ausschlusskriterien.....	32
4.4.	Studienaufbau und Versuchsdurchführung.....	33
4.5.	Statistische Methoden.....	34
5.	Ergebnisse	35
5.1.	Die Neubildung der Totenstarre.....	35
5.2.	Geschlechtsspezifische Ergebnisse.....	39
5.2.1.	Wiedereintritt der Totenstarre nach mechanischem Lösen, bezogen auf das männliche Untersuchungskollektiv.....	40
5.2.2.	Wiedereintritt der Leichenstarre nach mechanischem Lösen, bezogen auf das weibliche Verstorbenenkollektiv.....	41
5.3.	Die Rückkehr der Totenstarre in Abhängigkeit vom Ausprägungsgrad und Geschlecht.....	42
5.4.	Wiedereintritt der Leichenstarre im zeitlichen Verlauf, bezogen auf den Ausprägungsgrad.....	44
5.5.	Die Neubildung der Totenstarre in Abhängigkeit vom Körpergewicht..	46
5.6.	Wiedereintritt der Leichenstarre in Abhängigkeit vom Alter.....	47
5.6.1.	Grafik über die Altersverteilung der Verstorbenen.....	47
5.6.2.	Aufteilung der Altersgrafik in Männer und Frauen.....	48
5.6.3.	Wiedereintritt der Leichenstarre in Abhängigkeit vom Lebensalter.....	48
5.6.4.	Zusammenfassung des Wiedereintritts der Leichenstarre in Abhängigkeit vom Lebensalter und Geschlecht.....	50
5.7.	Wiedereintritt der Starre bei Verstorbenen mit beobachtetem plötzlichen Todeszeitpunkt.....	51

6.	Diskussion.....	52
6.1.	Hauptaussage	52
6.2.	Methodenkritik.....	53
6.3.	Alters- und Geschlechtsabhängigkeit	56
6.4.	Neubildung der Totenstarre, bezogen auf das Körpergewicht.....	56
6.5.	Die Intensität der erneut eingetretenen Leichenstarre.....	57
6.6.	Schlussfolgerung für Forschung und Praxis - forensisch-medizinische Verwertbarkeit	57
7.	Zusammenfassung	59
8.	Literaturverzeichnis	61
9.	Eigene Publikation.....	66
10.	Abbildungsverzeichnis	66
11.	Danksagung	68
12.	Lebenslauf.....	69
13.	Eidesstattliche Versicherung	69

1. Einleitung

1.1. Einführung

Noch immer stellt sich im rechtsmedizinischen Alltag der Todeszeitbestimmung der Wunsch nach einer direkten Durchführbarkeit einerseits sowie der Sicherheit und Präzision andererseits. Um das postmortale Intervall (PMI) zu ermitteln, bedient man sich der temperaturorientierten und nicht-temperaturorientierten Untersuchungsmöglichkeiten (Honjyo et al., 2005, S. 249-253). Dabei basieren die heutigen Methoden vor allem auf der Untersuchung der Leichenerscheinungen wie des Rigor mortis, der Livores, supravitaler Aktionen und Reaktionen wie der postmortalen elektrischen Erregbarkeit der quergestreiften Muskulatur sowie der Erregbarkeit der Iris durch Einsatz diverser Pharmaka. Ein wesentliches Kriterium zur Todeszeitbestimmung besteht zudem in der genauen Auswertung der Leichenabkühlung sowie der Prüfung des Wiedereintritts der Leichenstarre nach manuellem Lösen.

1.2. Definition der Todeszeit und Grundlagen der Todeszeitbestimmung

Henßge und Madea verstehen unter dem Begriff „Todeszeit“ die Zeit, die seit Eintritt des Todes vergangen ist. Hingegen ist der „Zeitpunkt des Todeseintritts“ derjenige des endgültigen Herz-Kreislauf-Stillstandes und damit des Versagens vitaler Funktionen. Entsprechend beginnen ab diesem Zeitpunkt die postmortalen Leichenveränderungen (Henßge/Madea, 1988: Methoden zur Bestimmung der Todeszeit, S. 11).

Die Todeszeitbestimmung bedient sich im Wesentlichen der Beurteilung der sicheren Leichenerscheinungen. Man unterscheidet dabei die frühen Leichenerscheinungen, wie die Totenflecke (Livores), die Totenstarre (Rigor mortis) sowie nicht mit dem Leben zu vereinbarende Verletzungen, von den späten Leichenerscheinungen. Hierzu zählen Fäulnis, chemische Verwesung, Autolyse sowie Tierfraß, gegebenenfalls einhergehend mit Skelettierung und Mumifizierung.

Neben den sicheren Leichenerscheinungen sind jedoch auch die unsicheren Phänomene postmortal (pm) zu benennen. Auch diese können erste Hinweise über den etwaigen Todeszeitpunkt geben. Zu den unsicheren Todeszeichen zählen die fehlende Atmung, der fehlende Puls, der Zustand der Bewusstlosigkeit, die Abkühlung des Körpers, Hautblässe, Areflexie und die Hornhauttrübung. Um jedoch mit Gewissheit den Tod festzustellen, zieht man möglichst zeitnah postmortal die Bestimmung und Beurteilung der sicheren Todeszeichen heran.

Die Ermittlung der Todeszeit bei Leichen gehört zu den Kernaufgaben der rechtsmedizinischen Praxis im Rahmen kriminalistischer Fragestellungen (Brinkmann/Madea, 2004, S. 79-150).

Zur verlässlichen Beurteilung des Todeszeitpunktes erlaubt eine Methode allein keine sichere Aussage, da es umfangreiche Einflussfaktoren und Ausnahmen gibt. Es gilt stets, dass die Todeszeitschätzungen umso zuverlässiger sind, je früher sie durchgeführt werden, je mehr Methoden angewendet werden und je größer die Erfahrung des Untersuchenden ist.

Betrachtet man die rechtsmedizinische Aufgabe der Todeszeiteingrenzung im Ganzen, so basiert diese auf einem komplexen Konstrukt. Dabei orientieren sich die bisher im rechtsmedizinischen Alltag angewendeten Methoden zur Eingrenzung der Todeszeit vor allem an der Ausprägung folgender Todeszeichen:

1. Rigor mortis (Totenstarre)
2. Livores (Totenflecke)
3. Supravitale Aktionen und Reaktionen
4. Leichenabkühlung
5. Vertrocknung
6. Späte Leichenveränderungen

Der exakte Todeszeitpunkt ist nur in seltenen Fällen bestimmbar. Nur wenn der Tod eines Menschen unter Beisein von glaubhaften Zeugen eintrat (Krankenhaus) oder nach Beendigung der Reanimation (durch den Notarzt bei einem Verkehrsunfall oder auf der Intensivstation) kann der Sterbezeitpunkt exakt angegeben werden (Zimmer, 2006, S. 10.)

In den übrigen Fällen bleibt nahezu ausschließlich die Möglichkeit, durch die Ermittlungsarbeit von Gerichtsmedizinern und Kriminalbeamten einen Todeszeitbereich einzugrenzen.

Frühe Leichenveränderungen wie Rigor mortis, Livores, supravitale Aktionen und Reaktionen sowie die Leichenabkühlung werden im Folgenden näher betrachtet.

1.2.1. Rigor mortis (Totenstarre)

1.2.1.1. Definition Rigor mortis

Unter dem Begriff Totenstarre wird nach rechtsmedizinischer Definition die nach dem Eintritt des Todes schrittweise zunehmende Erstarrung der Muskulatur bezeichnet. Rigor mortis gehört zu den sicheren Todeszeichen.

Die Leichenstarre beginnt etwa 15 Minuten bis zu sieben Stunden pm und erreicht die volle Ausprägung frühestens zwei bis maximal 20 Stunden pm. Die Dauer der vollkommenen Ausprägung liegt zwischen 24 und bis zu 96 Stunden. Nach maximal acht Tagen ist sie physiologisch vollständig gelöst (Penning, Rechtsmedizin systematisch, 2005).

Die frühzeitig im postmortalen Intervall auftretende Leichenerscheinung des Rigor mortis gehört zu den nicht-temperaturbasierten Methoden der Todeszeitbestimmung. Dazu zählen des Weiteren Erscheinungen der Hypostase sowie Hornhauttrübung. Obwohl die entsprechende forensische Bewertung dieser Phänomene stark von den subjektiven Eindrücken des Untersuchenden abhängt und somit das postmortale Intervall überaus weitreichend gedeutet werden kann, haben sich die japanischen Rechtsmediziner Honjyo, Yonemitsu und Tsunenari 2005 für eine definitive Verwertbarkeit der nicht-

temperaturorientierten Maßnahmen zur Bestimmung des postmortalen Intervalls ausgesprochen (Honjyo et al., 2005, S. 249-253).

1.2.1.2. Biochemische und physiologische Grundlagen der Rigor-mortis-Entstehung und dessen Verlauf

Die im Jahr 1955 aufgestellte „Sliding-Filament-Theorie“ ist auch für die Entstehung der Leichenstarre von Bedeutung. Biochemisch betrachtet basiert so das Einsetzen der Totenstarre auf dem raschen Verlust von Adenosin-Triphosphat (ATP) im Aktin-Myosin-System des menschlichen Organismus.

Um Muskeln zu entspannen, wird ATP benötigt. Durch dessen Vorhandensein können sich die kontraktile Muskelproteine voneinander lösen. Durch den postmortalen Stillstand des Stoffwechsels kann ATP nicht mehr aus aeroben Stoffwechselfvorgängen synthetisiert werden, sondern nur noch über die anaerobe Glycolyse und Kreatininkinase-reaktion. Nach Erschöpfen der Energiereserven und entsprechendem Abfall des ATP-Spiegels im Organismus entsteht eine irreversible Verbindung zwischen Aktin und Myosin, es tritt die Leichenstarre ein. Diese Bindung kann jetzt durch das Fehlen von ATP nicht mehr aufgehoben werden, die Muskelfasern erstarren nun nach und nach.

Bendall (1951) und Lawrie (1953) konnten zeigen, dass die Entwicklung der Starre erst dann beginne, wenn die ATP-Resynthese postmortal völlig erliege und damit der absolute Wert des ATP-Gehaltes des Körpers unter einen bestimmten Schwellenwert absinke. Die Zusammenfassungen von Forster (1962), Zink (1970), Krause (1972), Bendall (1973), Ota (1973) und Suzuki (1976) zeigen in der Zeit vor dem Einsetzen der Totenstarre einen ATP-Spiegel von $0,435 \pm 0,055$ mg/g Muskel. Schon während der Erstarrungsphase sinke dieser unter 85 % des Ausgangswertes. Klinisch zeige sich dabei die Zunahme der Steifheit, die Verkürzung der belasteten Muskeln sowie die Abnahme von Elastizität und Zerreißfestigkeit (Henßge/Madea, 1988: Methoden zur Bestimmung der Todeszeit an Leichen, Bd. 18, 1988, p. 102, Tab. 4.2).

Die Starreausbildung sowie ihre Intensität müssen stets in Bezug auf die prämortale Muskeltätigkeit beurteilt werden. Nach prä mortal starker körperlicher Anstrengung im Vergleich zu langfristiger Immobilität der Verstorbenen soll sich eine früher einsetzende Totenstarre zeigen.

Nach der Nystenschen Regel von 1811 beginnt die Totenstarre in dem, einem Dauertonus unterlegenen, Unterkiefer und schreitet dann über den Nacken zu den oberen Extremitäten und schlussendlich zu den unteren Extremitäten fort. Obwohl Nysten in seiner Publikation schreibt, die Starre beginne am Rumpf, wird dieser Ablauf der Starreausbreitung noch immer als Nystensche Regel beschrieben. Der genannte Verlauf findet sich jedoch nur in seltenen Fällen und variiert in den Verteilungsmustern; sie verläuft unabhängig von todeszeitbedingten Starreverteilungstypen. Aufgrund des Nachweises einer entsprechenden Unzuverlässigkeit der Nystenschen Regel (Meixner, 1923, S. 398-411) ist sie für die Bedeutung der Todeszeitbestimmung in den Hintergrund gerückt.

Die Ausprägung der Leichenstarre und deren einsetzende Intensität sind prinzipiell einer starken Individualität unterworfen. So ist diese abhängig von den vorhandenen Bedingungen der Umgebungstemperatur, antemortalen Energiereserven und der Zeitdynamik des Sterbens. Die Starre soll bei kalten Umgebungstemperaturen in der Regel langsamer als unter warmen Umgebungsbedingungen eintreten. Ebenfalls ist sie von dem unterschiedlich ausgeprägten Vorhandensein von Low-twitch(LT)- oder Fast-twitch(FT)-Muskelfasertypen abhängig. So sollen die FT-Muskelfasertypen mit einem geringeren Myoglobingehalt, dafür aber mit einer höheren Konzentration an Glycolyseenzymen wesentlich schneller erstarren als die LT-Fasern (auch rote Muskelfasertypen) mit höherem Myoglobingehalt, hoher Mitochondrienzahl und somit einer höheren Energiereserve (Kobayashi et al., 1999, S240-243). Ein zeitlich schneller Todeseintritt bedinge eine stärkere und länger andauernde Starre, jedoch soll diese erst später einsetzen. Entgegengesetzt verursache eine vorausgehende Krankheit, v.a. mit ausgeprägter Kachexie, eine Starre, die schwächer und kürzer ausfällt, aber zügiger einsetze. Das physiologische Lösen der Starre basiere auf Zersetzungs Vorgängen des Körpers.

Gültige Theorien über die Starrelösung existieren jedoch nicht. Bendall schloss 1973 eine Resynthese von ATP aus. Zink beschrieb 1970 eine irreversible Verlängerung der Muskulatur bei spontaner Starrelösung. Biochemisch betrachtet komme es bei der Starrelösung zu einer Entkopplung der Myofilamente und einem Anstieg des Blutammoniakspiegels.

1.2.1.3. Das Phänomen des Wiedereintritts der Starre nach mechanischem Lösen

Allein die Leichenerscheinung Totenstarre, welche für die Einschätzung der Leichenliegezeit herangezogen wird, ist für sich betrachtet zwar ein quantifizierbares Phänomen, jedoch bedient man sich zur differenzierteren Analyse des Lösens der Starre zur Auffindezeit und der Beurteilung der potentiellen Starreneubildung im Verlauf. Das Phänomen des Wiedereintritts der Starre ist eine Teilmethode in der Gesamtheit der Todeszeitbestimmung. Dabei beschreibt der Begriff „Neubildung“ die Bildung von Leichenstarre in den Muskeln, in denen vor mechanischer Manipulation noch keine Starre bestand. „Wiedereintritt“ hingegen bezeichnet die Leichenstarre in den Muskelbezirken, in denen zum Zeitpunkt des Lösens die Starre bereits bestand, durch Manipulation gelöst wurde und daraufhin erneut einsetzte.

Physiologisch erklärt sich nach der 1972 publizierten Theorie von Zink das Wiedereintreten der Leichenstarre nach gewaltsamem Lösen durch die Verkürzung und Versteifung der zum Zeitpunkt des Lösens noch nicht erstarrten Muskulatur. Dabei versteifen die zuvor noch nicht erstarrten Myofibrillen und bewirken eine erneute Totenstarre. Streng genommen ist dieses Phänomen nicht als Wiedereintritt, sondern physiologisch korrekt als ‚Neubildung‘ zu bezeichnen. Zink veröffentlichte dazu 1972: „Das Brechen der Starre an der Leiche stellt eine Verlängerung der Muskulatur dar. Erfolgt sie bei voll ausgebildeter Starre, so ist eine Verlängerung irreversibel. Wird die Starre in der Erstarrungsphase gebrochen, so führt eine Verkürzung und Versteifung vorher noch nicht erstarrter Muskelanteile zum Wiedereintritt der Starre“ [Zink, 1972, S. 48]. Der Wiedereintritt der Starre nach mechanischem Lösen ist in der heute gültigen

rechtsmedizinischen Literatur mit einem Zeitintervall bis maximal 10 Stunden (Zink, 1972, S. 47-63) angegeben. Da es zu dieser These unterschiedliche Untersuchungen gibt, folgt im Verlauf der vorliegenden Arbeit eine detaillierte Darstellung des aktuellen Wissensstandes.

Durch die Möglichkeit der zeitlichen Zuordnung ist die Totenstarre in der Gerichtlichen Medizin und Kriminalistik für die erste Eingrenzung des Todeszeitpunktes von entscheidender Bedeutung. Diese sichere Leichenerscheinung gibt mit ihrem Eintritt, ihrer Starreintensität, ihrer Neubildung nach mechanischem Lösen sowie ihrer vollständigen Lösung anhand der Zeitdynamik, der sie unterliegt, wichtige Hinweise zur Eingrenzung des Todeszeitpunktes.

So sollte am Fundort, insbesondere bei dem Verdacht auf Tod durch Fremdeinwirkung, stets die Leichenstarre in wenigstens einem großen Gelenk gelöst werden, um die Liegezeit durch einen Wiedereintritt der Starre ohne Einsatz etwaiger Hilfsmittel schon vor Ort näher eingrenzen zu können, da dieses Phänomen nach derzeitiger Lehrmeinung nur innerhalb der ersten acht bis zehn Stunden nach dem Tod auftritt (Zink, 1972; Henßge et al., 1988; Henßge et al., 1995).

1.2.1.4. Neubildung der Totenstarre, bezogen auf die klinische Todesursache

Schon Bierfreund (1888) sowie Forster, Ropohl, Prokop und Riemer (1974) stellten Untersuchungen bezüglich des Einflusses der Todesursache auf die Ausbildung der Totenstarre an. Dabei stellten sie anhand unterschiedlicher Todesursachen eindeutige Abhängigkeiten im Eintritt der Starre, deren Ausprägungsgrad und Dauer bis zur vollständigen Lösung fest. Krompecher, Bergerioux, Brand-Cadadevall und Gujer bestätigten dies 1982 mit einer experimentellen Studie an 80 Ratten. Auch sie publizierten dabei die Abhängigkeit der Totenstarre von prä- und postmortalen Faktoren. Zudem stellten sie die subjektive Beurteilung der Starre in den unterschiedlichen Literaturangaben in Frage. Krompecher et al. bestätigten die Ausführungen von

Bierfreund und Forster et al., fanden jedoch auch keine Erklärung für das Phänomen des Einflusses der Todesursache auf die Neubildung der Starre. 1997 publizierten Patel und Parekh im Lancet die Theorie, dass Patienten mit frühkindlicher Leberzirrhose keine Totenstarre entwickeln würden. Auch diese These blieb unbewiesen. A. Schäfer äußerte sich dahingehend kritisch und beanstandete nicht nur die mangelhafte Ausführung der Starreprüfung (in diesem Falle teilweise von Laien durchgeführt), sondern auch die nicht veröffentlichten Umgebungsbedingungen dieser Untersuchung. Er sieht daher nicht die frühkindliche Leberzirrhose als Grund für ein Ausbleiben der Starre, sondern eher ein spontan-physiologisches Lösen, Marasmus, die geringe Muskelmasse bei Kindern oder eine „unfühlbare Totenstarre“. Trotz kritischer Beurteilung dieser These wurde die Leberzirrhose für die vorliegende Studie, sofern sie die direkte Todesursache darstellte, als Ausschlusskriterium gewertet.

Explizite Studien bezüglich des Einflusses der Todesursache auf die Neubildung der Leichenstarre nach manuellem Lösen sind in der Literatur nicht zu finden.

1.2.2. Livores (Totenflecke) - Definition und Beurteilung im Rahmen der Todeszeitbestimmung

Unter Livores versteht man die zumeist blau-violette Verfärbung der Haut, die 15-20 Minuten pm beginnt. Dieses Phänomen ist damit die am frühesten auftretende sichere Leichenerscheinung. Physiologisch entstehen Livores durch das schwerkraftbedingte Absinken des Blutes innerhalb des Gefäßsystems eines Leichnams, genannt Hypostase. Diese betrifft nicht nur die intravasalen, sondern auch die transvasalen Flüssigkeitskompartimente. Es kommt daher postmortal entsprechend dem hydrostatischen Druck zu einer Flüssigkeitsverschiebung. Die Folge ist die hypostasebedingte Blutfülle der Hautgefäße. Livores bilden sich an den zuunterst liegenden Hautarealen unter Aussparung der Aufliegeflächen aus. Diese Aussparung erklärt sich durch den hohen Aufliegedruck im Vergleich zum hydrostatischen Druck (Madea, B., 2006).

Im Bereich der Hypostase kann es aufgrund der Senkungsblutfülle zu kleinen Rupturen der Kapillaren und damit zu Einblutungen kommen, genannt Vibices.

Wichtige Merkmale der Leichenflecke zur genauen Differenzierung der Leichenliegezeit sind erstens die Wegdrückbarkeit und zweitens die Verlagerbarkeit. Nach Angaben von Naeve 1978 ergibt sich dabei folgende Tabelle für die Leichenflecke und ihrer zeitlichen Beziehung zur Todeszeit:

Phase	Zeit pm
Beginn Livoresbildung	15-20 min
Konfluktion	0,5-2 h
flächenhaft konfluiert	4-10 h
vollständig wegdrückbar	10-20 h
unvollständig wegdrückbar	10-30 h
vollständig verlagerbar	2-6 h
unvollständig verlagerbar	4-24 h
geringe Abblassung bei Umlagerung	20-30 h

Tabelle 1:

Merkmale der Leichenflecke in Bezug auf den zeitlichen Verlauf

Unter Wegdrückbarkeit versteht man die Möglichkeit, Leichenflecke im frühen PMI auf leichten bis mittelstarken Fingerdruck zur Abblassung bringen zu können. Mit zunehmender Postmortalzeit sind diese nur noch unvollständig oder auf erhöhten Druck, andernfalls mit Hilfe eines Gegenstandes (Pinzette, Messerrücken) wegdrückbar.

Verlagerbarkeit beschreibt das Phänomen, dass sich bereits ausgebildete Leichenflecke durch Umlagerung des Leichnams erneut an den nun unten liegenden Körperpartien ausbilden. Dies kann vollständig oder unvollständig erfolgen.

Ursächlich für die im fortschreitenden postmortalen Intervall rückläufigen Verlagerbarkeiten sowie Wegdrückbarkeiten ist die zunehmende Hämokonzentration.

Bezüglich der frühzeitig im postmortalen Intervall auftretenden Leichenerscheinung der Livores beschrieben Fechner et al. (1984) nach Untersuchungen an 28 Verstorbenen die Wegdrückbarkeit der Totenflecke unter definierten Druckbedingungen wie Druckamplitude und Druckdauer bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen. Dabei zeigte sich eine nicht-lineare Abhängigkeit der Wegdrückbarkeit der Livores von der Lagerungstemperatur. Bei niedrigen Temperaturen sind die Leichenflecke länger wegdrückbar als bei höheren Temperaturen.

Die Leichenflecke stellen ein wichtiges forensisches Merkmal dar. Von kriminalistischer Bedeutung ist hierbei die Frage, ob die Leichenfleckverteilung am Körper mit der Auffindesituation übereinstimmt. Jedoch auch der Farbe der Livores kommt besondere Bedeutung zu. So sind diese regulär nach Verbrauch des Sauerstoffes im Körper blau-livide verfärbt, nach CO-Intoxikation sowie Zyanidvergiftung jedoch hellrosa. Eine wichtige Differentialdiagnose ist in diesem Fall die Lagerung des Leichnams in Kälte, denn auch hierbei findet man vorzugsweise hellrosa gefärbte Leichenflecke. Wichtiges Unterscheidungskriterium zur Genese sind die Fingernagelbetten. So sind diese bei einer Intoxikation mit Kohlenmonoxid oder Zyanid hellrosa wie der Rest der Leichenflecke verfärbt, bei der Lagerung in Kälte jedoch blau-livide. Ursache der kältebedingten Farbveränderung ist die Linksverschiebung der Sauerstoff-Bindungskurve des Hämoglobins. So wird durch die Kälte die Bindung von Sauerstoff an Hämoglobin erleichtert, die Abgabe jedoch erschwert. Sauerstoff diffundiert nun aus der Umgebung durch die Dermis der Hypostasebezirke und bindet sich dort an das Hämoglobin. Auch eine graubraune Färbung der Livores kann auftreten, so beispielsweise bei Intoxikation mit Nitraten oder Nitriten, denn diese führen wiederum zu einer Oxidierung des zentralen Eisenatoms und damit zur Methämoglobinbildung.

Insgesamt geben aber nicht nur die Farbe, sondern auch die Entstehung, Ausdehnung, Intensität, Lokalisation, Wegdrückbarkeit und Verlagerungsfähigkeit der Livores wesentliche Anhaltspunkte zur Eingrenzung der Todeszeit (Madea, 2003, S. 32-45). Damit ist neben dem Rigor mortis auch die Leichenerscheinung Livores ein wesentliches Kriterium zur Beurteilung der Leichenliegezeit.

1.2.3. Supravitale Aktionen und Reaktionen

Auch die supravitalen Aktionen und Reaktionen dienen der Todeszeiteingrenzung, da sie ebenfalls einer zeitlichen Dynamik unterliegen. Zu den supravitalen Aktionen zählen die, auch nach dem Tode bis zur Erschöpfung der Substratdepots ablaufenden, Stoffwechselfvorgänge sowie die Aufrechterhaltung des Membranpotentials (Handbuch der gerichtlichen Medizin, Band 1, Brinkmann/Madea, pp. 83-86). Die supravitalen Reaktionen hingegen sind definiert als Gewebsreaktionen, die über den Tod hinaus zum Beispiel durch elektrische, mechanische oder pharmakologische Reize auslösbar sind. Dazu gehören zum einen die mechanische Erregbarkeit der Skelettmuskulatur (Madea, 1989; Prokop, 1975; Joachim 1976) und die Entwicklung des idiomuskulären Wulstes (Dotzauer, 1958) sowie zum anderen die pharmakologische Erregbarkeit der Pupille.

1.2.4. Leichenabkühlung

Ein weiterer Teilaspekt zur Eingrenzung der Todeszeit bezieht sich auf die Leichenabkühlung. Diese beruht auf der Tatsache, dass der mit dem Sistieren des Kreislaufes verbundene Wärmetransport ausbleibt und daraus eine inhomogene Wärmeverteilung im Körper des Leichnams resultiert. Um forensische Rückschlüsse ziehen zu können, bedient man sich der Körperkerntemperaturmessung und der Nomogramm-Methode, um eine Schätzung der Leichenliegezeit zu erreichen (Henßge/Madea, 1988; Henßge/Knight/Krompecher/Madea/Nokes, 1995).

Die Leichenabkühlung verläuft in drei Phasen. So zeigt die 1. Phase (2-3 Stunden pm) keinen oder nur einen geringen Temperaturabfall (Temperaturplateau), darauf folgend zeigt sich in der 2. Phase ein nahezu geradliniges Abfallen der Rektaltemperatur um etwa 1 °C pro Stunde. Die sich anschließende 3. Phase, auch terminale Phase genannt, zeigt die Annäherung der Temperatur des Leichnams an die Umgebungstemperatur und verläuft entsprechend langsam, graphisch dargestellt in einer sigmoidalen Abkühlungskurve.

Damit hat das heute gültige, international verwendete Modell der Todeszeiteingrenzung von Henßge basierend auf der Leichenabkühlungszeit den größten Stellenwert im rechtsmedizinischen Alltag der Todeszeitbestimmung. Dabei kommt es zur Anwendung

des Rektaltemperatur-Todeszeit-Nomogramms, basierend auf dem Zwei-Exponenten-Modell von Marshall und Hoare (Marshall/Hoare, 1962; Henßge/Madea, 1988). Diese Methode ist, unter Berücksichtigung von Körpergewicht, Umgebungstemperatur und Abkühlungsbedingungen, das am besten untersuchte Verfahren zur Bestimmung der Todeszeit. Vor allem im Rahmen des integrierten Konzepts kann durch zusätzliche Bestimmung der supravitalen Reaktionen sowie des Rigors und der Livores eine verlässliche Eingrenzung der Liegezeit gegeben werden.

All die genannten Methoden im Kontext der Todeszeitanalyse haben ihre Vorteile wie auch ihre Nachteile. Insbesondere die Abhängigkeit von äußeren Faktoren macht es nötig, die Todeszeit im Kontext zu bestimmen und dabei verschiedene Teilmethoden anzuwenden (Henßge et al., 1988, 77-87). Schleyer sieht eine Eingrenzung der Todeszeit in der Regel nur im sogenannten frühpostmortalen Intervall bis etwa 24 Stunden nach Todeseintritt als verlässlich (Schleyer, 1975, S. 45-55). Äußere Faktoren wie beispielsweise die Umgebungstemperatur, Faktoren, die das individuelle Abkühlungsverhalten des Körpers beeinflussen, ein zwischenzeitlicher Leichentransport oder Manipulationen an der Leiche beeinträchtigen die Todeszeitschätzung nach herkömmlichen Methoden erheblich.

2. Historischer Überblick

Historischer Überblick über die Totenstarre sowie das Phänomen des Wiedereintritts der Starre nach mechanischem Lösen:

Schon im 19. Jahrhundert begannen Wissenschaftler die Totenstarre als Teilmethode der Todeszeitbestimmung umfassend zu studieren. Im Besonderen untersuchten Niderkorn 1872 (zitiert nach Tidy: *The period of cadaveric rigidity (rigor mortis) from Legal Medicine*, 1882) sowie E. v. Hofmann 1876/77 (in: *Die forensisch wichtigsten Leichenerscheinungen*, S. 17-40) das Phänomen der Totenstarre. Die Ergebnisse beider Studien stellten die Grundlage für Mallachs Zusammenfassungen. 1964 sowie 1971 publizierte er seine Auswertung über die Mittelwerte und Standardabweichungen zu den verschiedenen todeszeitabhängigen Starrekriterien sowie den zeitlichen Ablauf der Totenstarre (siehe Tabelle unten). Mallachs Tabellen sind noch heute Grundlage der Gerichtlichen Medizin und seit der Erstellung nicht überholt worden. Im 20. Jahrhundert publizierten Meixner 1923, Merkel 1930, Nippe 1932 und Prokop 1976 diverse Studien bezüglich der Totenstarre und deren Ausprägung. Doch schon Prokop äußerte 1976: „In vielen Fällen hat man den Eindruck, als hätten die Autoren keine eigene Erfahrung oder nur wenige eigene Versuche angestellt“ (Prokop, 1976, S. 35-43).

Auch Madea und Henßge beurteilen die bis heute noch grundlegend angewendeten Daten aus dem 19. und 20. Jahrhundert als kritisch, zumal bis heute noch keine ausreichend systematische Untersuchung an menschlichen Leichen durchgeführt wurde, die die Hofmann'schen Daten erneut evaluieren und auf einer nachvollziehbaren, systematisch-experimentellen Studie basieren (Madea/Henßge, 1985, S. 19-25).

Forster, Ropohl und Raule publizierten 1977 den Versuch einer objektiven Rigor-Mess-Methode mit Hilfe der Maximum-Federwaage. Damit gelang es ihnen, die Kraft zu messen, die für das gewaltsame Lösen der Leichenstarre erforderlich ist. Darauf basierend wurde eine Formel zur Ermittlung des Starreindex gefunden. In ihren Untersuchungen zeigte sich, dass das subjektive Gefühl einer „voll ausgeprägten Starre“ schon vor dem eigentlichen, vollständigen Starremaximum (laut Federwaage) erreicht ist. Hingegen entstehe der subjektive Eindruck „Beginn der Starrelösung“ viel später, als objektiv nachweisbar sei. Die Methode von Forster et al. mit dem Einsatz der Federwaage hat sich in der rechtsmedizinischen Praxis nicht durchgesetzt. Jedoch bestätigt dies, dass die

Prüfung der Leichenstarre einer stark subjektiven Einschätzung des Untersuchers unterliegt und so eine generalisierte Beurteilung des Phänomens der Leichenstarre nur eingeschränkt möglich ist.

Die biochemischen und physiologischen Grundlagen der Totenstarre basieren vorwiegend auf Studien von Erdös (1943), Bate-Smith und Bendall (1947), Hanson und Huxley (1955), Schmidt et al. (1960), Forster (1962), Bendall (1969) sowie Zink (1970).

Historische Daten zu dem Phänomen des Wiedereintritts der Totenstarre nach mechanischem Lösen:

Hinsichtlich der Untersuchungen zum Wiedereintritt der Totenstarre nach mechanischem Lösen zeigt sich eine sehr geringe Datenlage. Die Literaturrecherche beschränkt sich auf einige wenige Studien, die wiederum hauptsächlich auf Erfahrungsberichten basieren, zum größten Teil ohne nachvollziehbare experimentelle Grundlage.

Ein partieller Wiedereintritt der Totenstarre nach gewaltsamem Lösen während der Erstarrungsphase wurde erstmals von Sommer (1833) beschrieben und von Oppenheim und Wacker (1919, Berliner klinische Wochenschrift) erneut aufgegriffen sowie anhand von 70 Leichen zwischen 8 und 28 Stunden post mortem (hpm) bezüglich des Einflusses von Ernährungszustand und dem Einsetzen der Totenstarre untersucht. Oppenheim und Wacker beschreiben dabei eine verminderte Totenstarrebildung bei kachektischen Verstorbenen.

Es folgt die chronologische Aufführung der rechtsmedizinisch anerkannten Hypothesen verschiedener wichtiger Autoren, die das Phänomen des Wiedereintritts der Leichenstarre nach mechanischem Lösen studierten.

2.1. Karl Meixner (1922)

Drei Jahre nach Oppenheim und Wacker knüpfte Meixner an deren Untersuchungen an und postulierte 1922 in einem Referat in Leipzig die These, dass ein Wiedereintreten der Leichenstarre zwar möglich sei, jedoch nur wenn die Starre zuvor nicht vollständig ausgeprägt war. Zusätzlich stellte er in diesem Zusammenhang die Hypothese auf, dass eine neu eingetretene Starre „niemals mehr jene Festigkeit“ aufweisen würde, wie sie an

unberührten Leichen bestünde. K. Meixner publizierte damit 1922 aufgrund seiner „bei der Untersuchung überaus zahlreicher menschlicher Leichen gewonnenen Erfahrungen“ folgende These über eine Rückkehr der Leichenstarre nach mechanischem Lösen: „Zwar kehrt, wenn die Starre noch nicht vollständig ausgebildet war und durch Kraft überwunden wird, ein Teil davon zurück, erreicht aber niemals mehr jene Festigkeit wie an unberührten Leichen“ (Meixner, 1922, S. 401). Gleichzeitig zog K. Meixner in Betracht, dass durch manuelles Lösen der Starre nicht nur eine Muskellockerung vollzogen wird, sondern auch periartikuläre Strukturen verletzt werden und damit die differente Neubildung der Leichenstarre partiell erklärt werden kann. Eine ausreichende Klärung wäre jedoch noch nicht erfolgt. Meixners Erkenntnisgrundlage ist nicht nachvollziehbar und scheint nur auf seinen „überaus zahlreichen Erfahrungen“ (Meixner, 1922), jedoch nicht auf entsprechend experimentellen Untersuchungen zu basieren.

2.2. Hermann Merkel (1937)

Weitere 15 Jahre später, somit 1937, führte Merkel erste, zum Teil nachvollziehbare Untersuchungen bezüglich des Verhaltens der Starre bei gewaltsamem Lösen durch und untersuchte die Ausprägungsgrade der Totenstarre hinsichtlich ihres Wiedereintritts nach gewaltsamem Lösen in Bezug auf die Zeit post mortem (Henßge/Madea, 1988: S. 112). Merkel wies dabei ein Wiedereintreten der Leichenstarre nach gewaltsamem Lösen nach, sofern sich die Starre noch in Bildung befindet. Er bestätigte die Thesen von Meixner und eröffnete zusätzlich die These, dass die Leichenstarre nach mechanischem Lösen jeweils in einem deutlich schwächeren Ausprägungsgrad erneut auftritt, als sie vor dem Lösen bestand [Merkel, 1937, S. 1-54]. Merkel publizierte 1937 anhand seiner Studien ein Zeitintervall von maximal 8 Stunden postmortal, in dem das Phänomen des Wiedereintritts der Leichenstarre nach mechanischem Lösen möglich sei. In der folgenden Abb. ist graphisch dargestellt, wie sich die Totenstarre in Bezug auf das mechanische Lösen zu definierten Zeitpunkten verhält. Die nach senkrecht unten gerichteten Pfeile zeigen dabei auf das mechanische Lösen der Totenstarre. Die gestrichelten Geraden beschreiben eine Neubildung der Starre. Graphisch dargestellt ist damit einerseits die potentielle Neubildung der Starre sowie andererseits der Ausprägungsgrad der Neubildung im Vergleich zum Starreverhalten und zur Starreintensität ohne Manipulation. Es ist erkennbar, dass Merkel ein Wiedereintreten der Totenstarre verzeichnet, sich diese dann

mit jeweils schwächerem Ausprägungsgrad als vor Lösung der Totenstarre darstellt, somit grundlegend schwächer wiedereinsetzt. Zudem ist Merkels Abb. zu entnehmen, dass eine Neubildung der Totenstarre bei mechanischem Lösen zehn Stunden postmortal nicht erneut auftritt. Damit ist erstmals eine obere Grenzmarke im Postmortalintervall von zehn Stunden publiziert worden, in dem eine Neubildung der Starre nach mechanischem Lösen nicht mehr möglich sei. Jedoch fehlt in diesem Zusammenhang die genaue Untersuchung des Intervalls zwischen dem letzten positiven Ereignis (7 hpm) und dem ersten negativen Ereignis (10 hpm).

Ein exakte zeitliche Eingrenzung und Aussage über ein maximales Postmortalintervall, in dem eine Neubildung noch möglich ist, kann daher praktisch nicht getroffen werden.

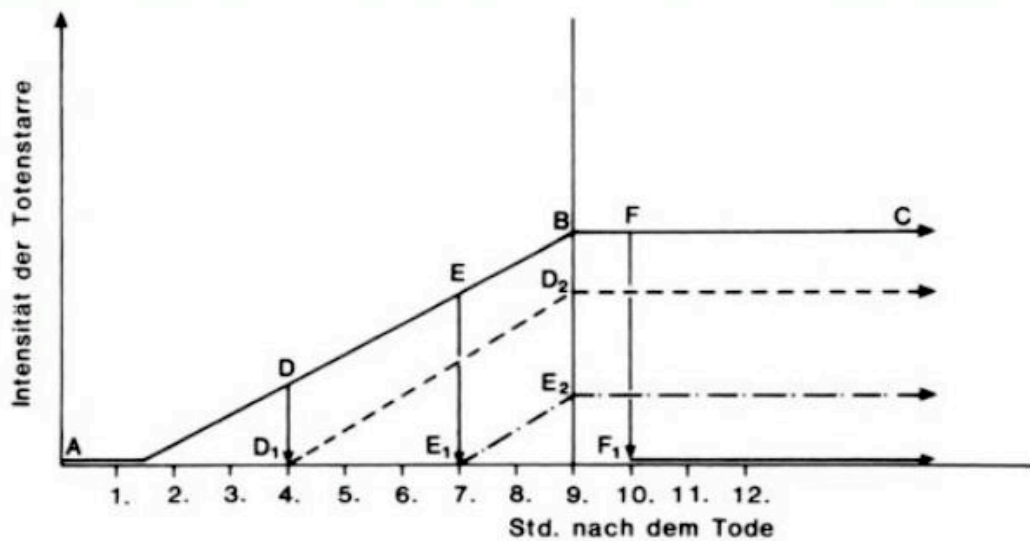


Abb. 1:

Schematische Darstellung über das Verhalten der Totenstarre bei gewaltsamer Lösung in der 4., 7., und 10. Stunde post mortem von Merkel, H. (1937). Aus: Brinkmann/Madea (2004): Handbuch Gerichtliche Medizin, Springer Verlag, S. 99

Die zugrundeliegenden Daten aus Merkels Untersuchung wie beispielsweise das Verstorbenenkollektiv, die Anzahl der untersuchten Verstorbenen oder auch die Umsetzung dieser Studie sind nicht evaluierbar. Es findet sich keine nachvollziehbare Datengrundlage.

Jedoch stellte Merkel 1929 in Heidelberg erste präzise Hypothesen über die forensische Verwertbarkeit der physiologischen und pathologischen prä- und postmortalen Veränderungen auf.

Er formulierte folgende zwei Ansatzpunkte nach dem Auffinden eines Leichnams zur Feststellung der Todeszeit:

1. Gibt es Anhaltspunkte für einen physiologischen oder pathologischen, prä-mortalen Vorgang, der auf einen Todeszeiteintritt schließen lässt?
2. In welcher postmortalen Phase der Todeszeiterscheinungen wurde der Leichnam aufgefunden und kann man daraus Rückschlüsse auf die Todeszeit geben? (Merkel: Über die Todeszeitbestimmung an menschlichen Leichen, Referat, 1929).

2.3. Hans-Joachim Mallach (1964, 1971)

Auch Mallach studierte in den 1960er und 1970er Jahren das Verhalten der Totenstarre und das Phänomen der Neubildung der Starre nach mechanischem Lösen. In „Rigor mortis and livores“ (Mallach, 1971, S. 70-78) sowie in „Zur Frage der Todeszeitbestimmung“ (Mallach, 1964, S. 577-582) verweist er unter anderem auf Kußmaul, der schon 1856 die Starre im Tierexperiment mit Kaninchen innerhalb einer Stunde nach mechanischem Lösen dreimal erneut eintreten sah. Nach Beobachtungen am Menschen beschreibt Mallach durchschnittlich fünf Stunden, in denen ein Wiedereintritt der Starre nach Lösen erfolgt; damit sei eine Variationsbreite von zwei bis acht Stunden anzunehmen. Mallach beschreibt zudem den Ausprägungsgrad des Wiedereintretens nach gewaltsamem Lösen als schwächer, verglichen mit dem Zustand vor der Manipulation. Die Methodik des Vorgehens sowie detaillierte Ergebnisse seiner Studien sind nicht nachvollziehbar.

Mallach publizierte 1964 im Zusammenhang mit der Totenstarre eine Zusammenfassung der Auswertung von Literaturrecherchen der damalig letzten 50 Jahre. Diese basieren jedoch auf keinen eigens durchgeführten Untersuchungen. Er fasst dabei in seiner Arbeit „Zur Frage der Todeszeitbestimmung“ (Mallach, 1964, 577-582) folgende Inhalte zusammen:

Starrestadium	Durchschnitt in Stunden nach dem Tode und Standardabweichung	Streuung in h (2 s)		Anzahl der ausgewerteten Literaturquellen
		untere Grenze	obere Grenze	
Auftreten	3 ± 2	-	7	26
Wiederbildung nach Brechen	bis 5	2	8	-
volle Ausprägung	8 ± 1	6	10	28
Dauer	57 ± 14	29	85	27
vollständige Lösung	76 ± 32	12	140	27

Tabelle 2:

Zeitlicher Durchschnitt mit mittlerer quadratischer Abweichung für die einzelnen Starrestadien, berechnet nach Zeitangaben aus dem Schrifttum der Jahre 1811-1960, von Mallach, H. J. (1964).

Aus: Brinkmann/Madea (2004): Handbuch Gerichtliche Medizin, Springer Verlag, S. 99

Henßge und Madea werten die Daten Mallachs kritisch und empfehlen, diese Werte nicht als absolute Grenzen zu sehen (Henßge/Madea 1988, S. 108-109, 116-117), da Mallach keine Datengrundlage bezüglich des Wiedereintritts der Totenstarre nach Lösen vorweisen kann.

2.4. Peter Zink (1972)

An die bisherigen Erkenntnisse anknüpfend veröffentlichte Zink 1972 seine Arbeit über „Das mechanische Verhalten menschlicher Skelettmuskulatur während des Verlaufs der Totenstarre“. Zink publizierte in diesem Zusammenhang erstmals partiell nachvollziehbare Ergebnisse auf der Grundlage einer experimentellen Datengewinnung. Dabei teilt er die Zeitspanne zwischen Eintritt des Todes und Lösung der Totenstarre in die Vorphase, auch Erschlaffungsphase (zwischen Todeszeitpunkt bis 20 Stunden pm), gefolgt von der Erstarrungsphase (mit Beginn der Totenstarrenausbildung bis zu deren Ende) und dem Zustand der völligen Versteifung bis letztlich dem physiologischen Lösen der Totenstarre ein. Bei manuellem Lösen ergeben sich laut Zink eine Verlängerung der Muskulatur und eine Abnahme der Steifheit, um folgend -bei erneutem Auftreten der Leichenstarre - wieder in eine Verkürzung und Versteifung der Muskulatur überzugehen. Im Anschluss daran zeigt sich die physiologische Lösung der Totenstarre erneut durch Verlängerung der Muskulatur und Erhöhung der Plastizität. Zink beschreibt ein Lösen der Starre als eine Verlängerung der Muskulatur. Erfolge diese bei vollständiger Leichenstarre, so sei die Verlängerung irreversibel, ein Wiedereinsetzen der Starre somit ausgeschlossen. Erfolge das gewaltsame Lösen jedoch bei noch nicht voll ausgeprägter Starre, so könnten zuvor noch nicht erstarrte Muskelanteile zum Wiedereintritt der Starre führen.

Zink analysierte an menschlichen Verstorbenen das Verhalten der Skelettmuskulatur während des Totenstarreverlaufs. Einerseits untersuchte er dabei das morphologische Verhalten der Muskulatur während des Eintretens der Starre, gleichzeitig aber auch dessen Veränderung bei mechanischem Lösen.

Zink konnte dabei die Änderung von Muskellänge, Steifheit und Plastizität an einem menschlichen *M. sartorius* nachweisen.

Gemäß nachfolgender Abb. kommt es nach dem Tod laut Zink zu einer Verkürzung und Versteifung der Muskulatur sowie zu der Abnahme der Plastizität. Die typischen Rigorveränderungen zeigen sich hauptsächlich zwischen 8 und 11 Stunden postmortal.

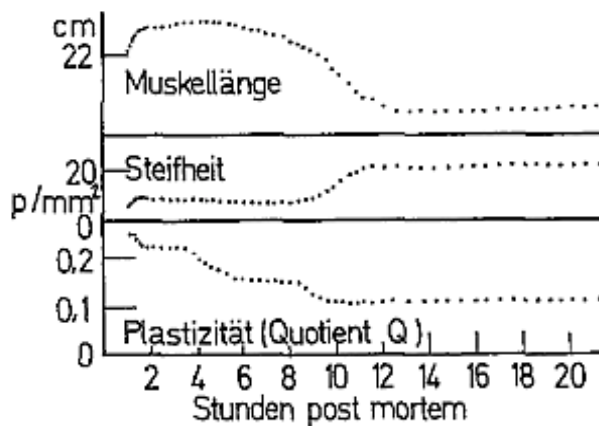


Abb. 2:

Beispiel für die Veränderung von Muskellänge, Steifheit und Plastizität eines menschlichen *M. sartorius* während des 1. Tages nach dem Tod. Jeder Punkt der Kurve entspricht einem Messwert. Aus: Zink, P. (1972): Das Verhalten menschlicher Skelettmuskulatur während des Verlaufs der Totenstarre, S. 53

In der folgenden Abb. ist Zinks Untersuchung an einem menschlichen *M. sartorius* während der ersten 10 Tage nach dem Tod im Hinblick auf Muskellänge, Steifheit und Plastizität aufgezeigt. P. Zink analysierte hierbei explizit das Verhalten der Skelettmuskulatur nach mechanischem Lösen der Starre. Der Zeitpunkt des Lösens ist hierbei mit Pfeilen gekennzeichnet und etwa in der Mitte der Erstarrungsphase durchgeführt worden. Mit dem mechanischen Lösen kam es zu einer Verlängerung der Muskulatur mit gleichzeitiger Abnahme der Steifheit.

Daran anschließend konnte Zink einen Wiedereintritt der Starre bei mechanischem Lösen nach 10 Stunden pm verzeichnen. Dieser wies mit einer Verkürzung und Versteifung der Muskulatur die gleichen Eigenschaften auf wie bei primärem Starreeintritt. Zink gelang es damit, eine Neubildung der Leichenstarre an isolierter menschlicher Skelettmuskulatur bis 10 Stunden pm experimentell nachzuweisen.

Am 5. Tag pm begann laut Zink die physiologische Starrelösung mit Verlängerung des Muskels und gleichzeitiger Erhöhung der Plastizität.

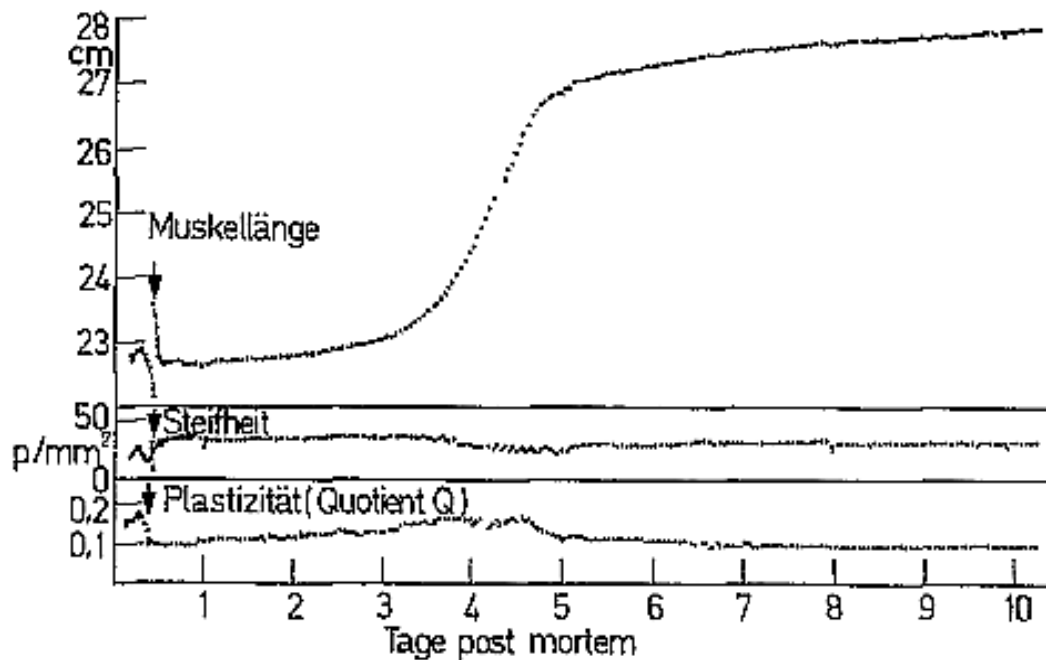


Abb. 3:

Beispiel für die Veränderung von Muskellänge, Steifheit und Plastizität eines menschlichen M. sartorius während der ersten 10 Tage nach dem Tod. Jeder Punkt der Kurve entspricht einem Messwert. Etwa in der Mitte der Erstarrungsphase, die an einer beginnenden Verkürzung, Versteifung und Abnahme der Plastizität zu erkennen ist (nach etwa 10 Std.), wurde die Starre gewaltsam gelöst (Pfeile). Dabei kam es zu einer Verlängerung und Abnahme der Steifheit, anschließend wieder zu einer Verkürzung und Versteifung (Wiedereintritt der Starre). Aus: Zink, P. (1972): Das Verhalten menschlicher Skelettmuskulatur während des Verlaufs der Totenstarre, S. 54

P. Zink konnte damit erste verlässliche, experimentell fundierte Aussagen zum Wiedereintritt der Totenstarre nach mechanischem Lösen veröffentlichen. Seine Untersuchungen wurden an isolierten menschlichen Muskeln durchgeführt, jedoch ohne nähere Angaben über Umgebungsbedingungen, Untersuchungsmethoden, Größe des Untersuchungskollektivs und etwaige andere Einflüsse. Eine Generalisierbarkeit seiner Erkenntnisse ist somit eingeschränkt.

2.5. Claus Henßge und Burkhard Madea (1980er Jahre)

In Anlehnung an Merkels Studie (1937) bestätigten Mallach 1964, Henßge et al. 1995 sowie Saukko und Knight 2004 das Zeitintervall für eine Neubildung der Starre nach mechanischem Lösen mit maximal 8 Stunden pm. Einzelne Quellen, so Zink (1972), Tacqui (2000) und Pounder (2005), sehen die Möglichkeit einer Starreneubildung nach mechanischem Lösen in einem Zeitintervall zwischen 8 bis 12 Stunden pm.

1985 beanstandeten Madea und Henßge („Historisches zur Todeszeitbestimmung“, Rechtsmedizin Münster; Z. Rechtsmed. 1985, 95, pp. 19-25) sowie in Kooperation mit Gallenkemper („Death time estimation in case work. II. Integration of different methods“, Forensic Science International, 39, 1988, 77-87) in diesem Zusammenhang die fehlende nachvollziehbare experimentelle Grundlage der Daten. Zudem berichteten Henßge et al. 2000 über einen beobachteten Kasus, der einen Wiedereintritt der Leichenstarre nach mechanischem Lösen auch nach einem Zeitintervall von mehr als 8 Stunden bestätigte.

2.6. Thomas Krompecher (2007)

Mehr als 30 Jahre nach den letzten Untersuchungen überprüften Krompecher et al. anhand einer tierexperimentellen Studie an 72 Ratten die Thesen von Meixner, Merkel und Zink über eine Neubildung der Starre nach mechanischem Lösen. Krompecher et al. bestätigten die Hypothesen des Wiedereintritts der Starre, sofern das Lösen in dem Zeitraum vor vollständiger Rigorausprägung durchgeführt wird. Zudem erhärtete Krompecher im Besonderen auch die Ausführungen von Merkel darüber, dass sich die erneut einsetzende Starre jeweils schwächer als vor dem Lösen ausprägte. Krompecher et al. sehen jedoch keinen Unterschied in der Starreintensität zwischen den Ratten, deren Leichenstarre mechanisch gelöst wurde, und unberührten Ratten. Auch der zeitliche Verlauf von Beginn und physiologischem Lösen der Starre ergebe keine Unterschiede. So zeigte die Gruppe, deren Leichenstarre mechanisch gelöst wurde, keine Differenzen zu der Kontrollgruppe ohne Manipulation, weder im Beginn der Neubildung noch im Phänomen der physiologischen Starrelösung. Zu Zeitgrenzen der Neubildung des Rigor liefern die Darstellungen jedoch keine Informationen. Ob die tierexperimentellen Studienergebnisse auch auf humanes Verhalten anzuwenden sind, wurde von Krompecher nicht analysiert.

Basierend auf seiner tierexperimentellen Studie beschreibt er folgende Phänomene:

- ♣ Die Leichenstarre kann nach mechanischem Lösen wieder eintreten.
- ♣ Ein starker Wiedereintritt der Starre kann stattfinden, sofern das mechanische Lösen vor vollständiger Ausprägung der Leichenstarre erfolgt.
- ♣ Nach Lösen der Starre kommt es zu einem Wiedereintritt, stets mit schwächerem Ausprägungsgrad.
- ♣ Ein Wiedereintreten der Leichenstarre erfolgt umgehend nach deren mechanischem Lösen.
- ♣ Die maximale Intensität der erneut eingetretenen Starre ereignet sich zeitgleich mit der Kontrollgruppe.
- ♣ Auch der Prozess des physiologischen Lösens der Starre unterscheidet sich nicht von dem der Kontrollgruppe.

(T. Krompecher, A. Gilles, 2007: Experimental evaluation of rigor mortis: IX. The influence of the breaking (mechanical solution) on the development of rigor mortis, S. 157-162).

T. Krompecher erklärt seine Erkenntnisse einerseits mit der Hypothese des langsam-progessiven Einsetzens der Leichenstarre und somit das Wiedereintreten mit der Erstarrung der zur Zeit des gewaltsamem Lösens noch nicht erstarrten Myofibrillen. Andererseits sieht er den Grund des Wiedereintretens nicht nur auf muskulärer Ebene, sondern artikuliert in diesem Zusammenhang die Einflüsse periartikulärer Erscheinungen postmortal, die den Eindruck eines Rigor mortis der großen Gelenke erwecken könnten.

Krompecher bestätigt somit die Hypothesen von Merkel (1937) und Zink (1972). Jedoch erlauben seine Erkenntnisse keine direkten Rückschlüsse auf das Verhalten von menschlicher Muskulatur im postmortalen Intervall.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich nur sehr wenige Untersuchungen explizit auf das Thema des Wiedereintritts der Totenstarre nach mechanischem Lösen beziehen.

Nachvollziehbare experimentelle Durchführungen sind in diesem Zusammenhang sowie entsprechende Untersuchungen an menschlichen Verstorbenen sind kaum dokumentiert. Dennoch findet die Methode breite Anwendung und Darstellung in der rechtsmedizinischen Standardliteratur.

Die unzureichende Literatur sowie die Kritik an der vorhandenen Datenlage bedarf einer Neuevaluation des Phänomens des Wiedereintritts der Leichenstarre, um eine verlässliche Methode im Konstrukt der Todeszeiteingrenzung liefern zu können.

2.7. Kritische Diskussion der historischen Grundlagen

Während des Beginns der Recherche fiel schnell die geringe Datenlage zum Thema der Starreneubildung nach mechanischem Lösen auf. Es fanden sich bezüglich dieses Themas weder Untersuchungen mit der Angabe von definitiven Zeiten, Ein- und Ausschlusskriterien sowie Umgebungsbedingungen noch vergleichbare Grundlagen. Die Daten und Hypothesen, an die in unregelmäßigen Publikationen angeknüpft wurde, resultieren aus Untersuchungen von Meixner (1922) und Merkel (1937). Doch auch hierzu fand sich keine Datenlage mit experimentell nachvollziehbarer Basis. Weder die Methodenwahl noch Angaben über Alter, Geschlecht, Untersuchungszeitraum und -bedingungen sind wiedergegeben. 1964 fasste Mallach neben den Erkenntnissen von Merkel auch die anderer Autoren der damalig letzten 50 Jahre zusammen und veröffentlichte diese in tabellarischer Form. Auch diese Auswertung geschah ohne experimentelle Prüfung.

Erst Zink publizierte 1972 die erste partiell nachvollziehbare wissenschaftliche Untersuchung an menschlicher Skelettmuskulatur während der Totenstarre. Dabei bezog er auch das mechanische Lösen der Starre in seine Untersuchungen ein. Krompecher hingegen untersuchte das Verhalten der Muskulatur im Tierexperiment, ohne Rückschlüsse auf humanes Verhalten bezüglich des Starreverlaufes und seiner Eigenschaften nach mechanischem Lösen ziehen zu können.

Zusammenfassend muss man deutliche Kritik an der Datenlage äußern. Die forensisch anerkannten Daten basieren auf fehlenden experimentellen Grundlagen, fehlenden ausführlichen Darstellungen von Untersuchungen und der mangelnden Nachvollziehbarkeit der Erkenntnisse.

3. Aufgabe und Zielsetzung der Arbeit

In der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit sollen die zeitlichen Verhältnisse der Neubildung der Totenstarre nach manuellem Lösen untersucht werden.

Die folgenden zwei Hypothesen sollen dabei überprüft werden:

1. Nach derzeitigen Darstellungen in rechtsmedizinischen Lehr- und Handbüchern soll eine Neubildung der Totenstarre nach manuellem Lösen in einem zeitlichen Intervall bis maximal 8 Stunden postmortal möglich sein. Jedes Lösen nach diesem Intervall sei in der Regel irreversibel und führe somit zu keinem Wiedereintritt der Leichenstarre. Hierbei wird regelhaft auf die Darstellung von Meixner (1922), Mallach (1964) sowie, zum Teil, Zink (1972) verwiesen.
2. Nach derzeitigen Darstellungen in rechtsmedizinischen Lehr- und Handbüchern soll eine Neubildung der Totenstarre nach Lösen stets mit einem schwächeren Ausprägungsgrad einhergehen. Die Totenstarre stelle sich umso schwächer ein, je später sie innerhalb des Zeitintervalls von 8 Stunden nach dem Tode gelöst wurde. Diesbezüglich wird regelhaft auf die Darstellungen von Meixner (1922) und Merkel (1937) verwiesen.

4. Material und Methoden

4.1. Datenerfassung

Der experimentelle Teil dieser Untersuchung wurde im rechtsmedizinischen Institut des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf durchgeführt. Es handelt sich um eine prospektive Studie.

Dabei wurden 79 Patienten (43 Männer, 36 Frauen) untersucht, die zwischen Juli 2007 und April 2009 im Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf verstarben. Die Studiengrundlage bildeten Verstorbene im Alter zwischen 25 und 93 Jahren.

Im Vorwege der Untersuchung wurden die folgenden Ein- und Ausschlusskriterien definiert:

4.2. Einschlusskriterien

- ♣ Feststehen eines definierten Todeszeitpunktes.
- ♣ Verstorbene im Alter über 16 Jahren.

4.3. Ausschlusskriterien

- ♣ Alter unter 16 Jahre.
- ♣ Längere Bettlägerigkeit (> 3 Wochen).
- ♣ Todeseintritt während eines operativen Eingriffes sowie innerhalb der folgenden 24 Stunden.
- ♣ vollständige Bekleidung, da ohne Manipulation an den Gelenken ein Entkleiden nicht möglich ist.
- ♣ Kühlung des Leichnams.

4.4. Studienaufbau und Versuchsdurchführung

Nach der Aufnahme der Verstorbenen im rechtsmedizinischen Institut des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf wurden folgende Daten protokolliert: Alter, Geschlecht, Körpergewicht (in kg), Körpergröße (in cm), Rektaltemperatur (in °C), Vorerkrankungen, klinische Todesursache/n, Konstitution, Stellung des Ellenbogengelenks bei Eintritt der Totenstarre (Flexion oder Extension) und Stellung des Kniegelenks bei Eintritt der Totenstarre (Flexion oder Extension).

Die Aufbewahrung der Verstorbenen im entkleideten Zustand erfolgte bei 20 – 21 °C Umgebungstemperatur. Die Verstorbenen lagen auf einer mit einem Tuch bedeckten Metallwanne. Ein weiteres Tuch bedeckte den Körper der Verstorbenen.

An den Verstorbenen wurden keine weiteren körperlichen Manipulationen durchgeführt. Die Untersuchung erfolgte zudem ausschließlich an Extremitäten ohne pathologischen Befund.

Zunächst wurde die primär eingetretene Leichenstarre geprüft, um im Folgenden die Starre manuell zu lösen und eine Neubildung der Starre prüfen zu können. Die Leichenstarre der Ellenbogen- und Kniegelenke wurde nun zu definierten Zeitpunkten zwischen 7,5 und 21 Stunden postmortal gelöst. Hierfür wurde das Gelenk mehrfach in seinem gesamten Bewegungsumfang bis zur vollständigen freien Beweglichkeit der Extremität bewegt. Dies geschah durch wiederholtes Beugen und Strecken der großen Gelenke. Nach dem Lösen der Leichenstarre ruhten die Gliedmaßen in Extensionsstellung.

Nach weiteren zwei Stunden fand die Kontrolle des potentiellen Wiedereintritts statt. Dies geschah durch erneutes Bewegen der entsprechenden Gliedmaßen aus Extension. Die Einschätzung der Leichenstarre erfolgte subjektiv durch manuelle Prüfung. Die Protokollierung wurde demnach anhand der subjektiv eingeschätzten Ausprägungsgrade in keine Leichenstarre, leichtgradige, mittelgradige oder starke Leichenstarre durchgeführt.

Zu Beginn der Studie wurde die Prüfung der Neubildung nach mechanischem Lösen von dem unteren Grenzbereich aus vorgenommen. So erfolgten die ersten Untersuchungen 7,5 Stunden postmortal. Im weiteren Verlauf wurde das Zeitintervall zwischen Todeseintritt

und Lösen der Starre erweitert. Dabei wurde die Leichenstarre bis 10,5 Stunden postmortal gelöst und die Neubildung kontrolliert.

Um im Folgenden auch den oberen Grenzbereich abschätzen zu können, wurden die weiteren Untersuchungen 21 Stunden postmortal ausgeführt, daran anschließend in jeweils kürzer werdendem Intervall, um sich wieder dem unteren Grenzbereich zu nähern.

Aufgrund pathologischer Befunde konnte je 1 Gelenk von zwei Verstorbenen nicht in die Untersuchung einbezogen werden. Für die vorliegende Studie ergab sich somit eine Gesamtzahl von 314 untersuchten Gelenken an 79 Verstorbenen.

Darüber hinaus wurde zu Ende der Studie durch einen zweiten unabhängigen Untersucher eine identische Zusatzuntersuchung durchgeführt. Der wesentliche Unterschied liegt darin, Verstorbene mit beobachtetem plötzlichen Todeseintritt außerhalb des Krankenhauses als Studiengrundlage zu wählen. Methodengetreu wurde an vier männlichen und einer weiblichen Person die Leichenstarre in einem Postmortalintervall von 12 – 18,5 Stunden gelöst, um im Verlauf diese auf einen potentiellen Wiedereintritt der Starre zu prüfen.

4.5. Statistische Methoden

Als beschreibende Statistik wurden absolute (n) und relative (%) Häufigkeit, Konfidenzintervall (CI), Minimum (Min) und Maximum (Max) verwendet.

Die Wahrscheinlichkeit der Neubildung der Leichenstarre wurde mit Hilfe der Maximum-Likelihood-Methode berechnet.

5. Ergebnisse

5.1. Die Neubildung der Totenstarre

Die Gesamtuntersuchung beläuft sich auf die Analyse von 314 Gelenken bei 79 Verstorbenen im Alter zwischen 25 und 93 Jahren. Der arithmetische Mittelwert beträgt 70,09 Jahre.

Von den im Gesamtkollektiv untersuchten 314 Gelenken gehören 54,46 % (n=171) zu männlichen und 45,54 % (n=143) zu weiblichen Verstorbenen.

Die folgende Grafik soll dies veranschaulichen.

Geschlechtsverhältnis in der Gesamtuntersuchung

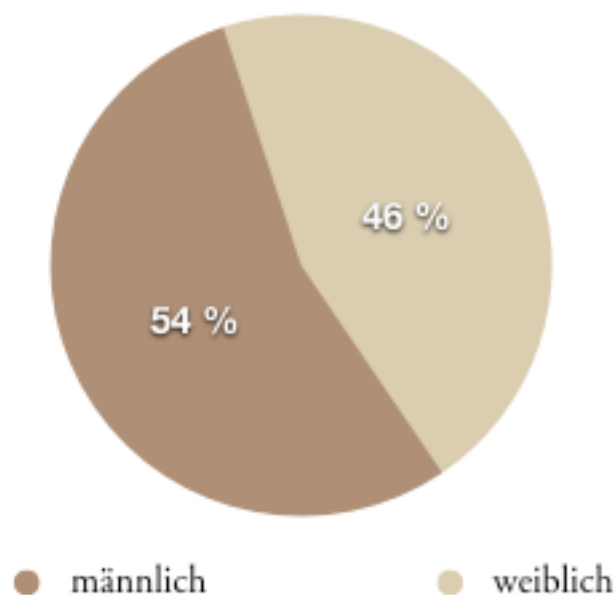


Abb. 4:

Geschlechtsverteilung der Gesamtuntersuchung.

Die Ergebnisse der Untersuchung bezüglich der Neubildung der Totenstarre nach dem mechanischen Lösen zu verschiedenen Zeiten pm sind in Tab. 3 und Abb. 5 zusammengefasst wiedergegeben.

Lösen der Leichenstarre nach X Stunden post mortem	Anzahl der insgesamt gelösten Gelenke	Anzahl der Gelenke, bei denen ein Wiedereintritt der Leichenstarre erfolgte		Anzahl der Gelenke, bei denen kein Wiedereintritt der Leichenstarre erfolgte	
		(n)	(%)	(n)	(%)
7,5	6	4	66,67	2	33,33
8	24	13	54,17	11	45,83
9	20	8	40	12	60
10	70	38	54,29	32	45,71
10,5	54	30	55,56	24	44,44
15	32	8	25	24	75
18	68	16	23,53	52	76,47
19	20	4	20	16	80
20	12	0	0	12	100
21	8	0	0	8	100
Gesamt	314	121	38,54 %	193	61,46 %

Tabelle 3:

Wiedereintritt der Leichenstarre nach mechanischem Lösen zu verschiedenen postmortalen Zeitpunkten.

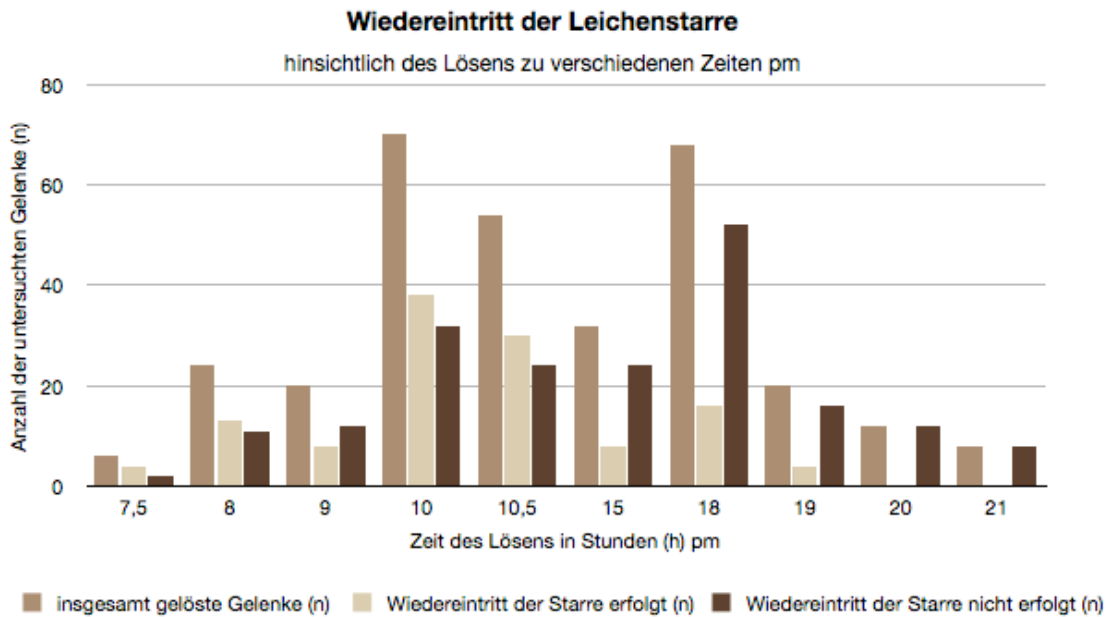


Abb. 5:

Wiedereintritt der Leichenstarre nach mechanischem Lösen zu verschiedenen postmortalen Zeitpunkten

Von den 314 untersuchten Gelenken wiesen 38,54 % einen Wiedereintritt auf, bei 61,46 % blieb ein Wiedereintreten aus.

Der Abb. 5 ist zu entnehmen, dass eine Neubildung der Starre nach manuellem Lösen in einem Postmortalintervall bis 19 Stunden nachgewiesen wurde.

Ferner zeigt sich, dass mit zunehmendem zeitlichen Intervall zwischen Todeseintritt und mechanischem Lösen die Wahrscheinlichkeit eines Wiedereintritts geringer zu werden scheint.

In Abb. 6 ist das Ergebnis mittels der Maximum-Likelihood-Methode wiedergegeben. Dabei ist die Rückkehr der Totenstarre (in %) gegen den Zeitpunkt des LöSENS der Leichenstarre aufgetragen. Es zeigt sich eine Abnahme der Wahrscheinlichkeit für das Wiedereintreten der Leichenstarre mit steigender Postmortalzeit.

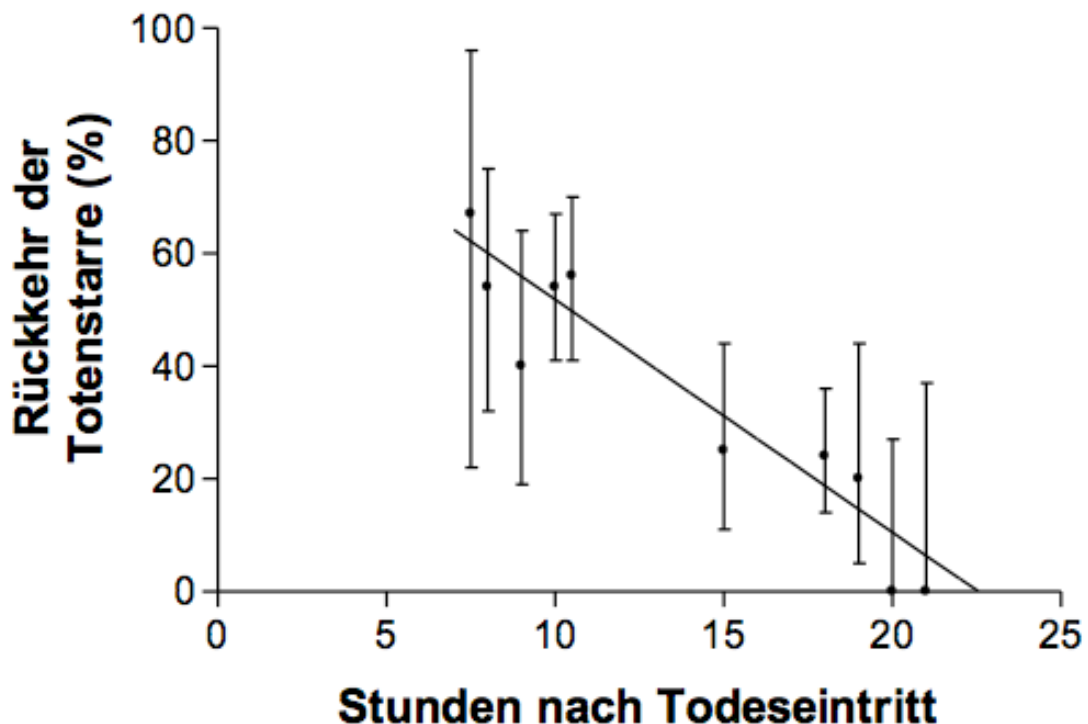


Abb. 6:

Rückkehr der Totenstarre (%) nach mechanischem Lösen bei zunehmenden PMI.

Die Fehlerbalken zeigen das 95%-Konfidenzintervall. Die Daten wurden linear mit Hilfe der Maximum-Likelihood-Methode approximiert. Die Wahrscheinlichkeit für die Rückkehr der Totenstarre nimmt um etwa 4,1 % pro Stunde ab (95 % CI: 2,6 % – 5,3 %). Sie beträgt bei 12 Stunden post mortem etwa 44 % und bei 18 Stunden post mortem etwa 19 %.

5.2. Geschlechtsspezifische Ergebnisse

	Summe der gelösten Gelenke (n) und in Prozent (%)	Wiedereintritt erfolgt (n) und in Prozent (%)	Wiedereintritt nicht erfolgt (n) und in Prozent (%)
gesamt	314 100 %	121 38,54 %	193 61,46 %
männlich	171 54,45 %	70 40,94 %	101 59,06 %
weiblich	143 45,54 %	51 35,66 %	92 64,34 %

Tabelle 4: Starreneubildung in geschlechtsspezifischer Analyse.

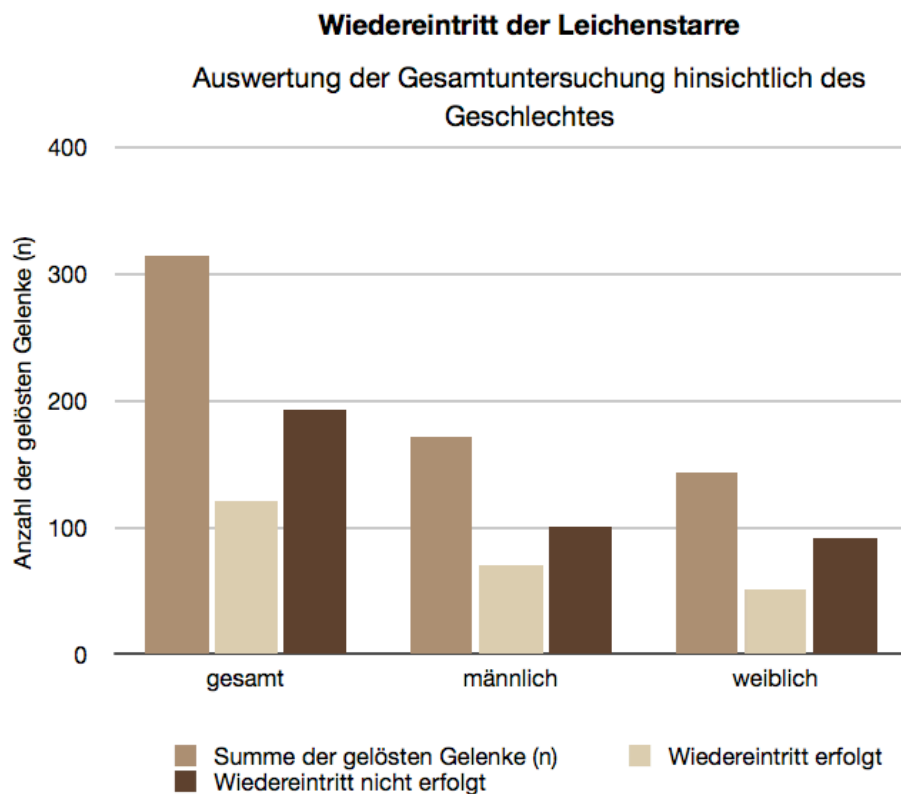


Abb. 7:

Ergebnisse des Wiedereintritts der Totenstarre, bezogen auf das Geschlecht der untersuchten Verstorbenen.

Die Auswertung lässt keine Hinweise auf geschlechtsspezifische Unterschiede erkennen.

Die folgenden Grafiken geben die Ergebnisse der geschlechtsbezogenen Auswertung der Maximum-Likelihood-Methode wieder.

5.2.1. Wiedereintritt der Totenstarre nach mechanischem Lösen, bezogen auf das männliche Untersuchungskollektiv

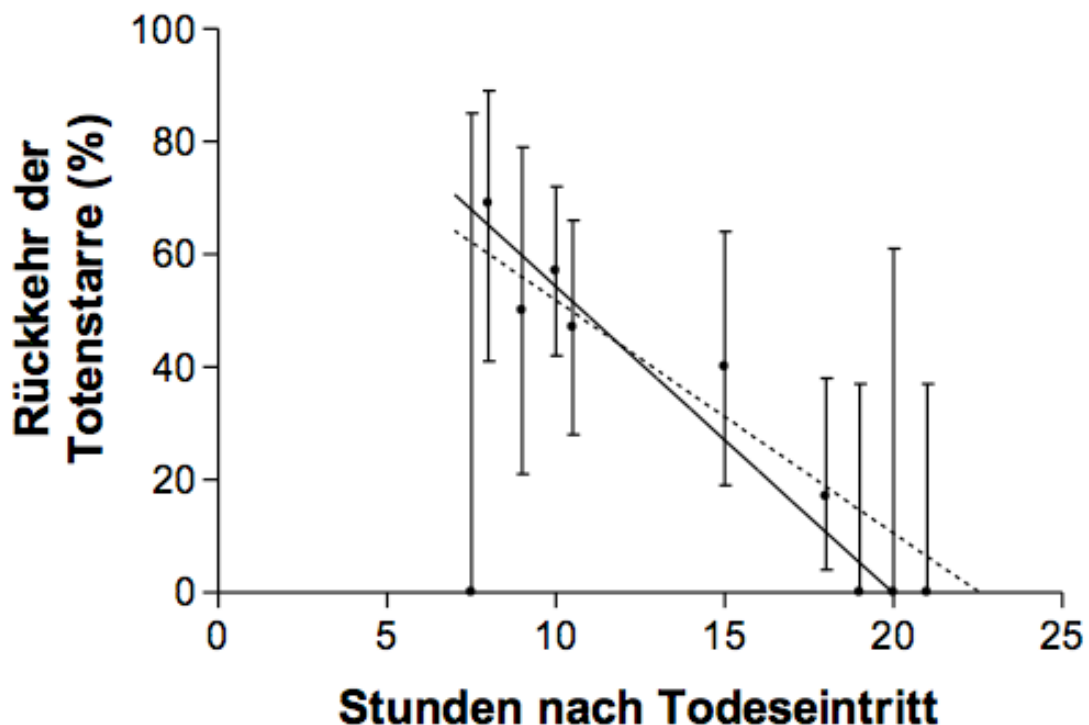


Abb. 8:

Wiedereintritt der Totenstarre der männlichen Kohorte, bezogen auf die Gesamtstudie.

Für das männliche Kollektiv unterscheidet sich die Kurve nicht nennenswert von der Gesamtkurve (gestrichelt). Auch hier ist mit zunehmenden PMI zwischen Todeseintritt und Zeitpunkt des mechanischen Lösens eine Abnahme der Wahrscheinlichkeit für den Wiedereintritt der Starre zu verzeichnen.

Die Wahrscheinlichkeit für die Rückkehr der Totenstarre nahm bei den Männern um etwa 5,5 % pro Stunde ab (95 % CI: 3,7% - 6,9 %). Sie beträgt bei 12 Stunden post mortem etwa 43 % und bei 18 Stunden post mortem etwa 11 %.

5.2.2. Wiedereintritt der Leichenstarre nach mechanischem Lösen, bezogen auf das weibliche Verstorbenenkollektiv

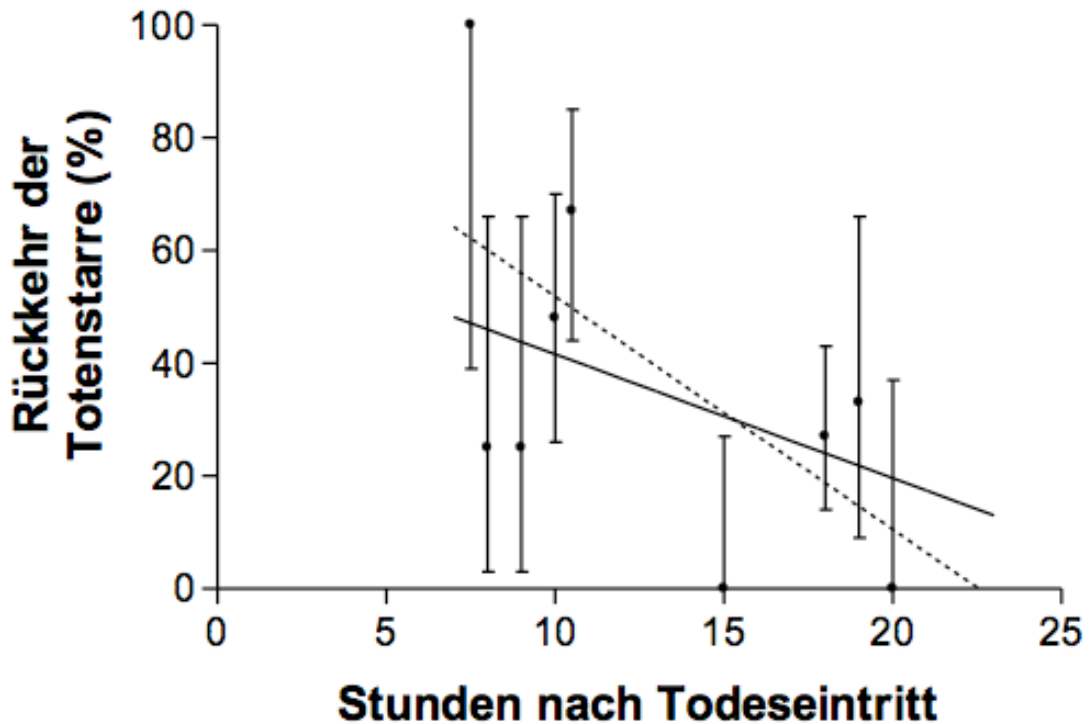


Abb. 9:

Wiedereintritt der Totenstarre der weiblichen Kohorte, bezogen auf die Gesamtstudie.

Abb. 9 zeigt den Verlauf der Wahrscheinlichkeit eines erneuten Starreeintritts in der Gruppe der untersuchten Frauen in Relation zur Gesamtstudie.

Die Wahrscheinlichkeit für die Rückkehr der Totenstarre nahm bei den Frauen um etwa 2,2 % pro Stunde ab (95 % CI: 0,3 % - 4,0 %). Sie beträgt bei 12 Stunden post mortem etwa 37 % und bei 18 Stunden post mortem etwa 24 %. Die Kurve der weiblichen Untersuchungskohorte zeigt zwar einen flacheren Verlauf, beginnt jedoch auch bei einem deutlich geringeren Wert.

5.3. Die Rückkehr der Totenstarre in Abhängigkeit vom Ausprägungsgrad und Geschlecht

	Gesamtzahl der Gelenke (n)	Ausprägung der Starreintensität		
		leichtgradig	mittelgradig	stark
Gesamtzahl der Gelenke mit neu eingetretener Leichenstarre	121	27	59	35
männlich	70	9	34	27
weiblich	51	18	25	8

Tabelle 5:

Wiedereintritt der Leichenstarre nach mechanischem Lösen mit Ausprägung der Starreintensitäten (tab. Darstellung) bezogen auf das Geschlecht.

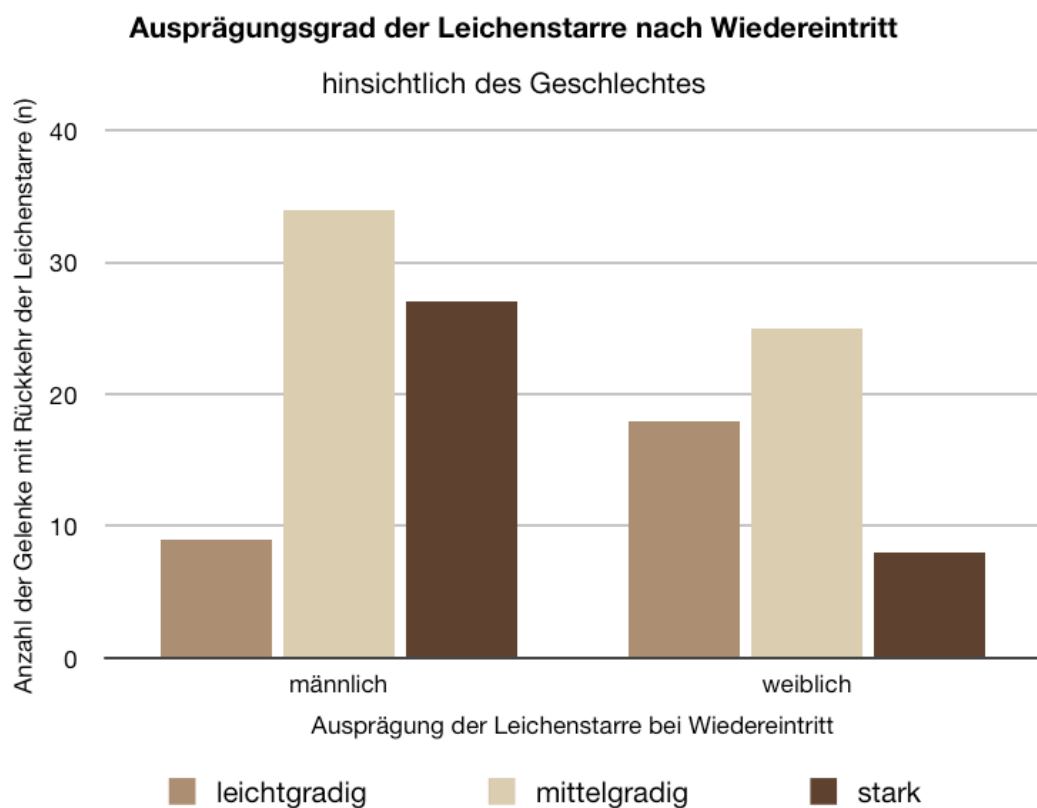


Abb. 10:

Wiedereintritt der Leichenstarre nach mechanischem Lösen mit Ausprägung der Starreintensitäten (graph. Darstellung) bezogen auf das Geschlecht.

In Tab. 5 sowie Abb. 10 ist die geschlechtsabhängige Ausprägung der wiedereingetretenen Leichenstarre dargestellt. Die Einteilung der Intensität erfolgte semiquantitativ in leichtgradig, mittelgradig und stark.

Von den insgesamt 121 Gelenken, die nach mechanischem Lösen eine erneute Leichenstarre aufwiesen, sind 70 bei männlichen (57,85 %) und 51 bei weiblichen (42,15 %) Verstorbenen festgestellt worden.

Sowohl bei Männern als auch bei Frauen zeigt sich ein Wiedereintreten der Starre nach mechanischem Lösen vor allem im mittelgradigen und starken Bereich.

Eine eindeutige Abhängigkeit der erneut eintretenden Starre vom Geschlecht ist hier nicht zu bestätigen. Zudem kann keine Abhängigkeit der erneuten Starreentwicklung von der vor Manipulation bestehenden Starreintensität aufgezeigt werden.

5.4. Wiedereintritt der Leichenstarre im zeitlichen Verlauf, bezogen auf den Ausprägungsgrad

Lösen der Leichenstarre nach X Stunden (in h) pm	Anzahl der insgesamt gelösten Gelenke	Anzahl der Gelenke, bei denen ein Wiedereintritt der Leichenstarre erfolgte		Ausprägung der Starreintensität		
		(n)	(%)	leichtgradig	mittelgradig	stark
7,5	6	4	66,67	0	0	4
8	24	13	54,17	2	8	3
9	20	8	40	0	6	2
10	70	38	54,29	9	17	12
10,5	54	30	55,56	4	16	10
15	32	8	25	0	4	4
18	68	16	23,53	12	4	0
19	20	4	20	0	4	0
20	12	0	0	0	0	0
21	8	0	0	0	0	0
Gesamt	314	121	38,54 %	27	59	35

Tabelle 6:

Differenzierung der Starreintensität nach Wiedereintritt im zeitlichen Verlauf (tab. Darstellung).

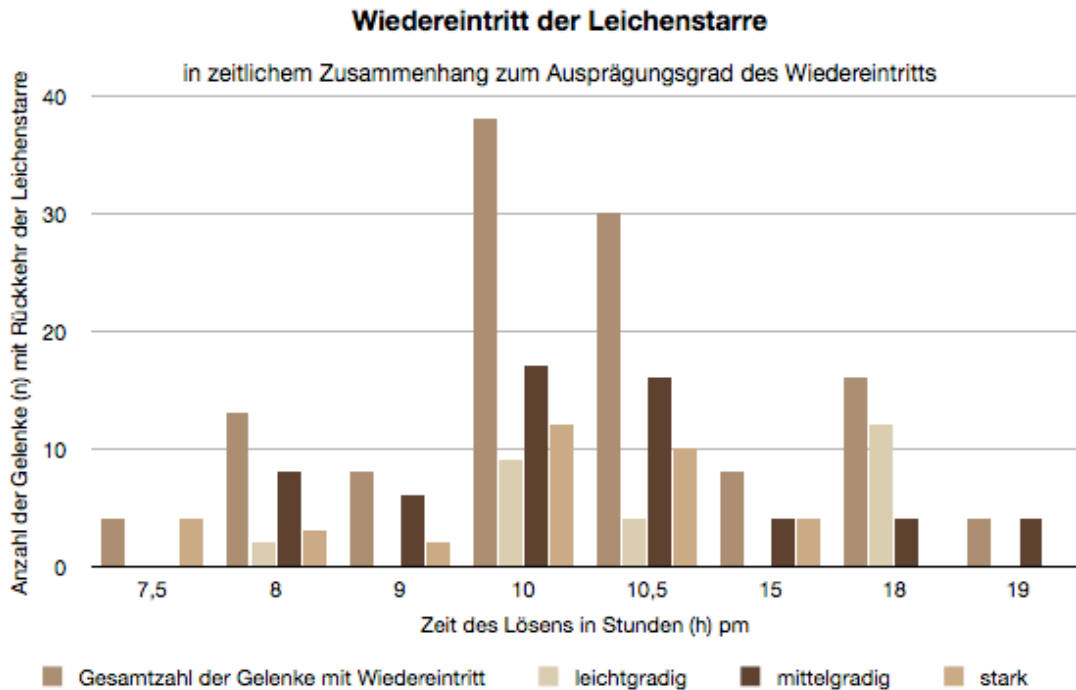


Abb. 11:

Differenzierung der Starreintensität nach Wiedereintritt im zeitlichen Verlauf (graph. Darstellung).

In Abb. 11 ist die Totenstarre hinsichtlich der Postmortalzeit des Lösens und des Ausprägungsgrades der Neubildung aufgetragen. In der Gesamtheit zeigt sich dabei eine gleichmäßige Verteilung der Starreintensität bei Neubildung von leichtgradig, mittelgradig und stark.

5.5. Die Neubildung der Totenstarre in Abhängigkeit vom Körpergewicht

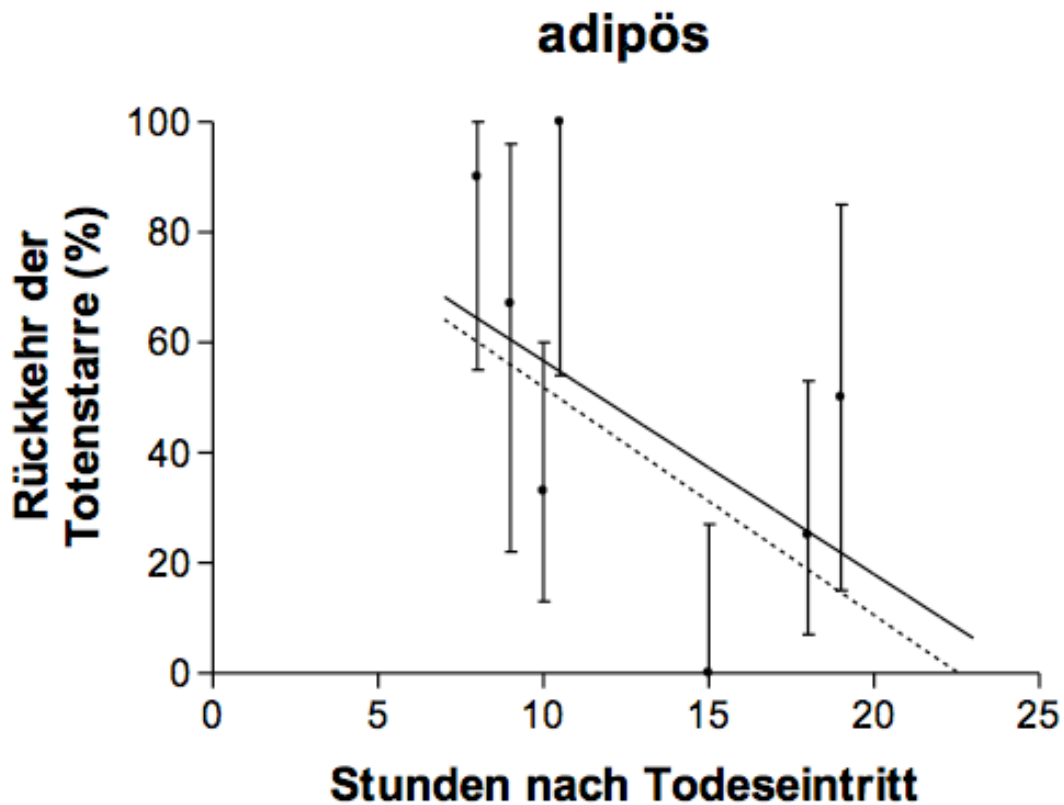


Abb. 12:

Neubildung der Totenstarre bei adipösen Verstorbenen.

In Abb. 12 ist explizit die Neubildung der Totenstarre in Bezug auf das Verstorbenenkollektiv mit einem BMI (Body-Mass-Index) $> 30 \text{ kg/m}^2$ vorgenommen worden.

Die Wahrscheinlichkeit für die Rückkehr der Totenstarre bei adipösen Personen nahm um etwa 3,9 % pro Stunde ab (95 % CI: 2,1 % - 6,1 %). Unter Berücksichtigung der Kollektivgröße kann hieraus kein direkter Zusammenhang abgeleitet werden.

5.6. Wiedereintritt der Leichenstarre in Abhängigkeit vom Alter

Betrachtet man die Altersverteilung in der Gesamtheit, so zeigt sich ein deutliches Überwiegen der Verstorbenen im Alter über 60 Jahren. Das durchschnittliche Alter der vorliegenden Studie beläuft sich auf 70,09 Jahre. Dabei nimmt die Altersgruppe zwischen 60 und 99 Jahren 82,28 % des Gesamtkollektives ein.

5.6.1. Grafik über die Altersverteilung der Verstorbenen

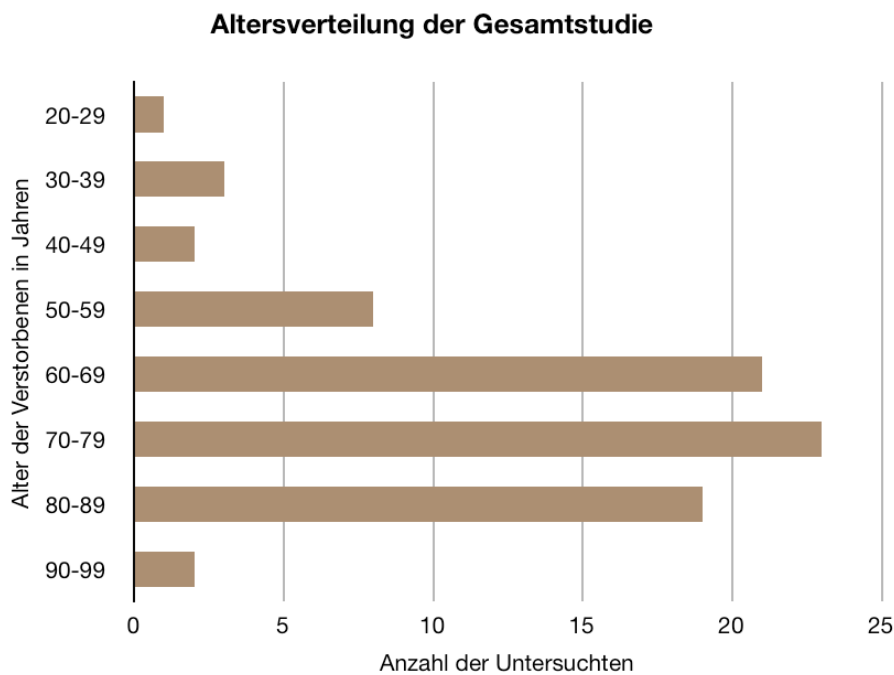


Abb. 13:

Altersverteilung des untersuchten Verstorbenenkollektivs.

Im Folgenden wird speziell die männliche Kohorte der weiblichen Kohorte gegenübergestellt.

5.6.2. Aufteilung der Altersgrafik in Männer und Frauen

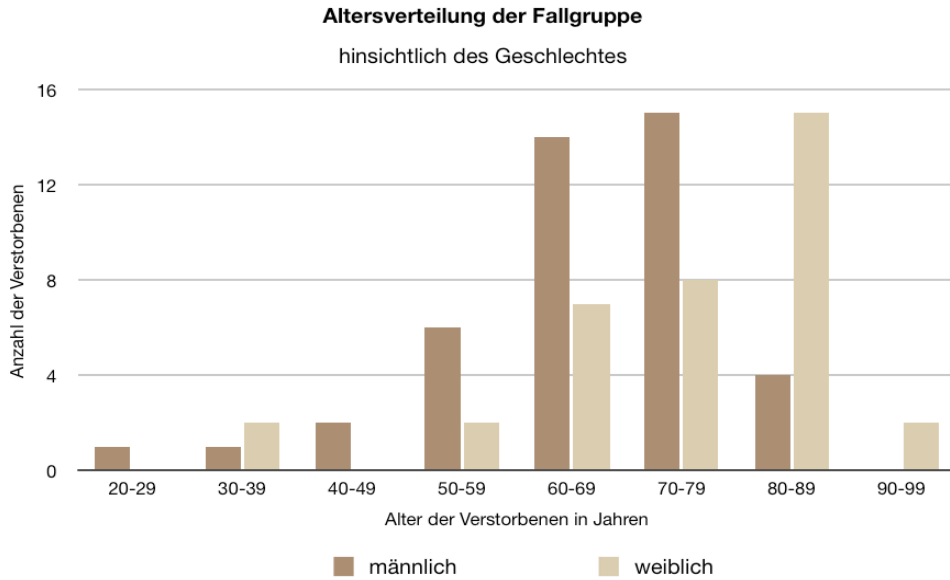


Abb. 14:

Abb. 14 zeigt die geschlechtsbezogene Altersverteilung.

5.6.3. Wiedereintritt der Leichenstarre in Abhängigkeit vom Lebensalter

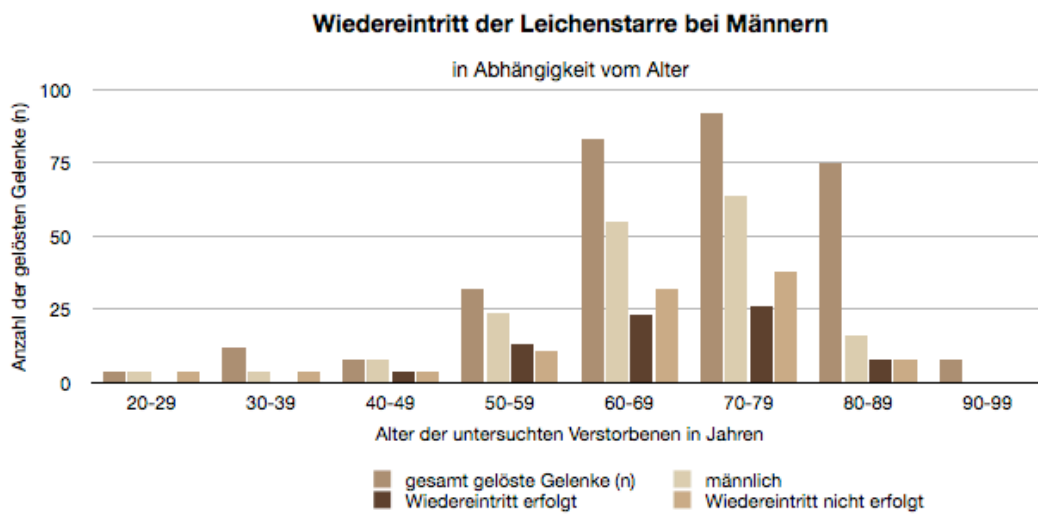


Abb. 15:

Wiedereintritt der Leichenstarre bei Männern, bezogen auf das Alter.

Die Auswertung des Wiedereintritts in Abhängigkeit vom Alter ist hierbei speziell auf die männliche Fallgruppe ausgerichtet. Wie schon erwähnt, zeigt sich die größte männliche Fallzahl im Alter zwischen 70 und 79 Jahren.

Stellt man nun einen Vergleich der unterschiedlichen Altersgruppen an, so ergibt sich ein heterogenes Verteilungsmuster hinsichtlich des Wiedereintritts der Starre bei Männern. Mit zunehmendem Alter zeigt sich, dies jedoch unabhängig von der Zeit des Lösens postmortal betrachtet, eine abnehmende Häufigkeit des erneuten Starreeintritts. Dies wird insbesondere durch den Vergleich der 50- bis 59-Jährigen mit den 70- bis 79-Jährigen deutlich.

Bedeutet dies ein prinzipielles Abnehmen der Wiederbildungsrate im zunehmenden Alter?

Dahingehend wird im Folgenden die Fallgruppe der Frauen analysiert.

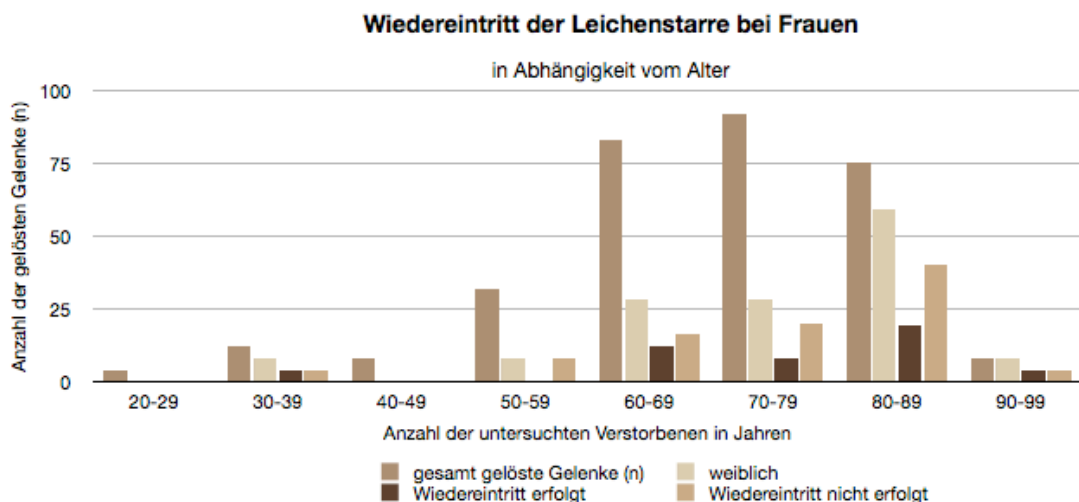


Abb. 16:

Wiedereintritt der Leichenstarre bei Frauen, bezogen auf das Alter.

Bei der weiblichen Untersuchungskohorte finden sich die größten Fallzahlen im Alter zwischen 80 und 89 Jahren.

Das grafisch dargestellte Verteilungsmuster lässt keine stichhaltigen Rückschlüsse hinsichtlich des Wiedereintretens oder Ausbleibens der erneuten Totenstarre nach Lösen zu.

Betrachtet man die Grafik des Wiedereintritts bei Frauen in Bezug auf das Alter, so zeigt sich hier eher ein homogenes Verteilungsmuster.

Dies bedeutet, dass aufgrund der fehlenden statistischen Signifikanz weder Frauen noch Männer altersspezifische Unterschiede bezüglich des Wiedereintritts der Leichenstarre nach mechanischem Lösen aufweisen.

5.6.4. Zusammenfassung des Wiedereintritts der Leichenstarre in Abhängigkeit vom Lebensalter und Geschlecht

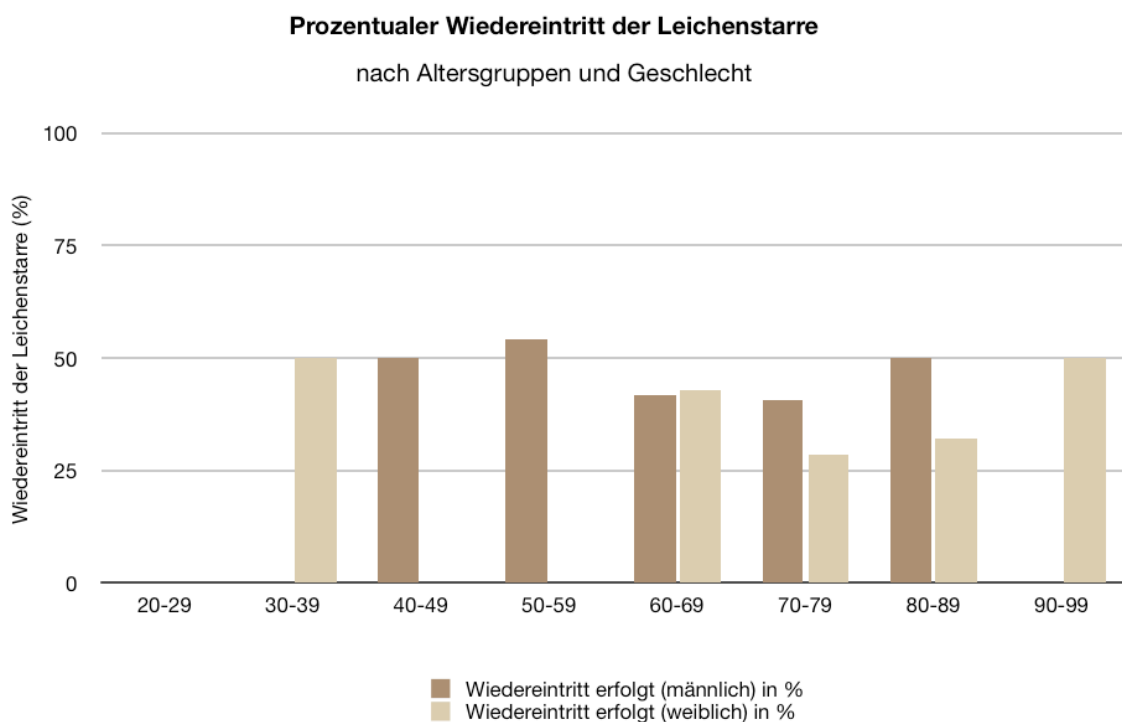


Abb. 17:

Prozentualer Wiedereintritt der Leichenstarre nach Altersgruppen und Geschlecht.

Die Abb. 17 gibt eine Zusammenfassung der Verteilung des Wiedereintritts der Leichenstarre nach mechanischem Lösen in Abhängigkeit vom Alter und Geschlecht wieder. Dabei kann weder eine Alters- noch eine Geschlechtsabhängigkeit nachvollzogen werden.

5.7. Wiedereintritt der Starre bei Verstorbenen mit beobachtetem plötzlichem Todeszeitpunkt

Bei der Untersuchung der Patienten mit beobachtetem plötzlichem Todeszeitpunkt ergibt sich in einem Postmortalzeitraum von 12 – 18,5 Stunden in vier von fünf Fällen ein Wiedereintritt der Leichenstarre. Dabei liegt das maximal beobachtete Postmortalintervall für eine Neubildung nach mechanischem Lösen bei 18,5 Stunden.

Geschlecht	Alter (Jahren)	Zeit des Lösens pm in Std.	Neubildung des Rigor mortis	Intensität der Starreneubildung
weiblich	87	12 hpm	Ja	+++ (stark)
männlich	82	14 hpm	Ja	++ (mittelgradig)
männlich	55	14 hpm	Ja	+++ (stark)
männlich	62	16 hpm	Nein	-
männlich	73	18,5 hpm	Ja	+ (leicht)

Tabelle 7:

Wiedereintritt der Starre bei Verstorbenen mit beobachtetem plötzlichem Todeszeitpunkt.

6. Diskussion

6.1. Hauptaussage

Die retrospektive Todeszeitbestimmung ist eine gerichtsärztliche Aufgabe bei der Auffindung einer Leiche unter verdächtigen Umständen (aus: Henßge, C.: Methoden zur Bestimmung der Todeszeit – Leichenabkühlung und Todeszeitbestimmung, Dissertation Berlin, 1982). Daraus leiten sich die ersten forensischen Informationen für die Kriminalpolizei und somit entsprechende kriminalistische Konsequenzen ab. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass die Aussagen eines Rechtsmediziners bezüglich des Zeitpunktes des Todes so präzise, aber gleichzeitig so zeitnah wie möglich erfolgen. Bedenkt man vor allem den kriminalistischen Hintergrund, so wird die Wichtigkeit einer frühen Informationsgewinnung deutlich.

Studien bezüglich des rechtsmedizinischen Aspektes der Todeszeitbestimmung und dabei im Besonderen die Untersuchung hinsichtlich der Neubildung der Leichenstarre wurden von diversen Autoren in den letzten beiden Jahrhunderten durchgeführt. So erarbeiteten vor allem Meixner, Merkel, Mallach, Zink sowie Henßge und Madea sowohl theoretische als auch zum Teil experimentell-basierte Erkenntnisse, im Besonderen bezüglich der Totenstarre und des Wiedereintritts der Starre nach mechanischem Lösen. Durch Krompecher et al. konnte 2007 erstmals der nachvollziehbare tierexperimentelle Versuch bezüglich des Wiedereintritts der Leichenstarre nach manuellem Lösen angestellt werden.

Ziel der vorliegenden Studie im Speziellen war die experimentelle Untersuchung folgender rechtsmedizinischen Hypothesen bezüglich der Leichenstarre und deren Neubildung nach mechanischem Lösen:

1. Nach aktuell gültigen Darstellungen in rechtsmedizinischen Lehr- und Handbüchern soll eine Neubildung der Totenstarre nach manuellem Lösen in einem zeitlichen Intervall bis maximal 8 Stunden postmortal möglich sein. Jedes Lösen darüber hinaus sei in der Regel irreversibel und führe somit zu keinem Wiedereintritt der Leichenstarre. Hierbei wird regelhaft auf die Darstellung von Meixner (1922), Mallach (1964) sowie, zum Teil, Zink (1972) verwiesen.

2. Nach derzeitigen Darstellungen in rechtsmedizinischen Lehr- und Handbüchern soll eine Neubildung der Totenstarre nach Lösen stets mit einem schwächeren Ausprägungsgrad einhergehen. Die Totenstarre stelle sich umso schwächer ein, je später sie innerhalb des Zeitintervalls von 8 Stunden nach dem Tode gelöst wurde. Diesbezüglich wird regelhaft auf die Darstellungen von Meixner (1922) und Merkel (1937) verwiesen.

Diese Hypothesen bilden bis heute die Grundlage rechtsmedizinischer Auswertungen bezüglich der Todeszeiteingrenzung.

Die hier vorliegende Studie bezüglich der Untersuchung von 79 Patienten, die zwischen Juli 2007 und April 2009 im Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf verstarben, ergab zusammengefasst folgende Ergebnisse:

1. Eine Neubildung der Leichenstarre nach mechanischem Lösen kann nach einem Postmortalintervall von mehr als 10 Stunden erfolgen.
2. Eine potentielle Neubildung der Starre ist, verglichen mit bisher bekannten Daten, in einem etwa zweifach längeren Zeitraum pm möglich. So konnte eine Starreneubildung nach mechanischem Lösen in einem Postmortalintervall bis zu 19 Stunden nachgewiesen werden.
3. Der Ausprägungsgrad der erneuten Starre ist nicht streng abhängig von dem Ausprägungsgrad der Starre zum Zeitpunkt des mechanischen Lösens.

6.2. Methodenkritik

Bei der Durchführung der vorliegenden Untersuchung wurde Wert auf realitätsnahe und fundortpraktikable Untersuchungsbedingungen gelegt.

Die Umsetzung der Prüfung des Wiedereintritts der Leichenstarre sollte hierbei dem praktischen Alltag eines Rechtsmediziners entsprechen. Die Datenerhebung orientiert sich an Informationen, die beispielsweise am Fundort oder bei der ersten äußeren Leichenschau ohne Hilfsmittel einfach zu eruieren sind und so die Umsetzung des mechanischen Lösens sowie die Beurteilung der Neubildung praktikabel machen.

Die vorliegende Studie ist die erste Untersuchung, die an menschlichen Verstorbenen mit gesichertem Todeszeitpunkt, fundierter Datengrundlage sowie standardisierten Untersuchungsmethoden durchgeführt wurde.

In ihrer Gesamtheit ist die vorliegende Studie mit 79 Fällen als Untersuchungsgrundlage eher schmal konzipiert, soll jedoch einen ersten Überblick darüber liefern, inwieweit die historischen Standardangaben bezüglich des Phänomens des Wiedereintritts der Totenstarre nachvollziehbar sind. Die Umgebungstemperatur wurde in der gegenständlichen Untersuchung mit 21 °C gewählt, um realitätsnahe Bedingungen zu schaffen. Bate-Smith und Bendall stellten 1949 die Behauptung auf, dass unterschiedliche Temperaturen einen unterschiedlichen Verlauf der Totenstarre bedingen. So wurden damals erste Untersuchungen des Verhaltens des Rigor mortis zwischen 17 °C und 37 °C angestellt. Forster stellte 1962 weitere experimentelle Untersuchungen an und konnte 1974 eine deutliche Temperaturabhängigkeit in der Dauer des Rigor mortis nachweisen („Tierexperimentelle und an menschlichen Leichen gewonnene Daten zur Frage der Dauer der Totenstarre“). 1980 griff Krompecher dies erneut auf und konnte tierexperimentell nachweisen, dass die Temperatur erheblichen Einfluss auf die Entwicklung der Totenstarre nimmt („Einfluss der Temperatur auf die Entwicklung des Rigor mortis“). Dabei zeigte er an 30 Ratten, dass eine Erhöhung der Temperatur ein schnelleres und intensiveres Einsetzen der Starre bedingt. Das physiologische Lösen der Starre setze demnach auch unverzüglich wieder ein. Er beschreibt dabei einerseits, dass bei 6 °C die Leichenstarre ihre volle Intensität zwischen 48 und 60 Stunden pm erreicht und nach 168 Stunden pm vollständig gelöst ist. Im Vergleich dazu ist bei 24 °C die volle Intensität schon nach 5 Stunden pm erreicht und das Lösen der Starre hat schon nach 16 Stunden pm eingesetzt. Mit einer Umgebungstemperatur von etwa 20-21 °C wurden auch hier realitätsnahe Bedingungen gewählt.

Brinkmann et al. beschrieben 2004 eine vermeintliche Unsicherheit, wenn bei der Prüfung auf Wiedereintritt der Leichenstarre ein geringer Widerstand wahrgenommen wird, dieser jedoch nicht eindeutig entweder der potentiellen Neubildung oder dem unvollständigen mechanischen Lösen der Starre zugerechnet werden muss. Daher erfolgte das Lösen der Starre in den untersuchten Extremitäten durch mehrfache Bewegung der Gelenkstrukturen in dem entsprechend vollen Bewegungsumfang. Damit wurde sichergestellt, die bereits eingetretene Leichenstarre gelöst zu haben.

Ein Vorteil der Studie ist in der Entscheidung zu sehen, im Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf verstorbene Patienten zu untersuchen. So war vor allem gewährleistet, dass eine als Grundlage dienende exakte Todeszeit feststand sowie einzelne Hintergrundinformationen durch Gespräche mit dem Krankenhauspersonal problemlos zu eruieren waren.

Um erste Anhaltspunkte für die Generalisierbarkeit der Ergebnisse der vorliegenden Studie zu erhalten sowie die Beeinflussung durch die Variable „Todeszeitpunkt“ weitgehend ausschließen zu können, wurde eine weitere, methodisch identische Studie durch einen zweiten unabhängigen Untersucher durchgeführt. So wurde an 5 Verstorbenen mit beobachtetem plötzlichem Tod außerhalb des Krankenhauses die vorliegende Studie methodengetreu reproduziert. Auch diese Ergebnisse bestätigen die aktuelle Lehrmeinung nicht. In einem Postmortalintervall zwischen 12 und 18,5 Stunden konnte bei vier von fünf Fällen ein Wiedereintritt der Starre nach mechanischem Lösen nachgewiesen werden. Damit können die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigt werden. Zudem kann von einer allgemeinen Anwendbarkeit auf Todesgeschehen außerhalb des Krankenhauses ausgegangen werden.

Einschränkungen bezüglich der Generalisierbarkeit der Studie sind in der Größe des Untersuchungskollektivs einzuräumen. So kann keine abschließende Aussage über die maximale Postmortalzeit getroffen werden, in der ein Wiedereintritt nach mechanischem Lösen der Starre erfolgt. Dazu wäre eine größere Anzahl von Untersuchungen im Grenzbereich von 19-20 Stunden pm nötig. Des Weiteren inkludiert die vorliegende Studie keine Fälle einer nicht-natürlichen Todesursache.

Trotz der Praxisnähe basiert die Untersuchung auf der subjektiven Beurteilung der Leichenstarre. Dabei ist es immer wieder ein Problem, dass die Ausprägung der Starre subjektiv schwierig einzuschätzen ist. Objektive Messmethoden der Starre konnten sich jedoch in der alltäglichen Praxis der Rechtsmedizin nicht durchsetzen. Eine subjektive Differenzierung ist besonders im Bereich der höheren Starregrade nicht mehr möglich. So beschrieb Henßge 1988, dass der Eindruck der maximalen Ausprägung meist viel früher entstehe, als es tatsächlich der Fall sei. Der subjektive Eindruck des Beginns der Starrelösung entstehe hingegen viel später.

Abgesehen von der Einbeziehung weiterer Teilmethoden in Bezug auf das Konstrukt der Todeszeitbestimmung sollten das mechanische Lösen der Starre stets mit gebotener Sorgfalt und die entsprechende Auswertung der Ergebnisse immer im großen Zusammenhang erfolgen. Die Umsetzung dieser Studie erwies sich als praktikabel, insbesondere der geringe Zeitaufwand am Fundort und die einfache Durchführbarkeit ohne Zuhilfenahme weiterer Messinstrumente zeigen sich für die rechtsmedizinische Praxis als vorteilhaft.

6.3. Alters- und Geschlechtsabhängigkeit

Für die vorliegende Studie bildeten 43 Männer und 36 Frauen im Alter zwischen 25 und 93 Jahren die Grundlage der Untersuchung.

In der ausgewerteten Literatur konnten sich bezüglich des Wiedereintritts der Leichenstarre nach manuellem Lösen der Leichenstarre keine Thesen über eine Alters- oder Geschlechtsspezifität finden. Eine solche wurde bisher weder angenommen noch experimentell untersucht.

Aus den vorliegenden Daten ergeben sich ebenfalls keine Anhaltspunkte dafür, dass eine Alters- oder Geschlechtsabhängigkeit anzunehmen wäre.

6.4. Neubildung der Totenstarre, bezogen auf das Körpergewicht

In der vorliegenden Arbeit wurde die Abhängigkeit der Leichenstarreneubildung nach manuellem Lösen in Relation zum Körpergewicht und Body-Mass-Index untersucht. Dabei wurde angenommen, dass ein hohes Körpergewicht die Neubildung der Starre beeinflusst, da einerseits eine relativ große Muskelmasse vorhanden sein kann, andererseits bei hohem Fettanteil am Fundort eine verlangsamte Auskühlung des Leichnams Einfluss nehmen könnte.

Die Auswertung unserer Ergebnisse bezüglich des Wiedereintritts der Leichenstarre in Relation zum Körpergewicht zeigt jedoch keinen relevanten Unterschied im Vergleich zum Gesamtkollektiv.

Die Hypothese von Oppenheim und Wacker (1919) sowie von Brinkmann und Madea (aus B. Brinkmann, B. Madea, „Handbuch gerichtliche Medizin“, Teil 1, 2004, Kapitel 2), die Marasmus als Ursache für eine schwächer ausgeprägte und kürzer andauernde Leichenstarre sahen, konnte aufgrund der Größe des hier vorliegenden Verstorbenenkollektivs weder bestätigt noch widerlegt werden.

6.5. Die Intensität der erneut eingetretenen Leichenstarre

Die Daten der vorliegenden Arbeit können die bisher vorherrschende Lehrmeinung darüber, dass eine erneut eintretende Leichenstarre nach mechanischem Lösen eine Abhängigkeit von der Postmortalzeit aufweist sowie jeweils in einem schwächeren Ausprägungsgrad eintritt, als sie vor dem Lösen bestand, nicht bestätigen (vgl. Zink, 1972; Brinkmann/Madea 2004; Pounder, 2005; Krompecher et al. 2007). Es ließen sich unterschiedliche, erneut eintretende Starreintensitäten zu vergleichbaren Postmortalzeiten nachweisen. Dies könnte die Theorie von Krompecher (2007) bestätigen, dass verschiedene Faktoren in die Entwicklung der Starre und deren Ausprägungsverhalten im Verlauf, so beispielsweise der Zeitpunkt der Starrebildung, der ATP-Gehalt, die prämortale Muskelaktivität oder die Umgebungstemperatur, involviert sind.

6.6. Schlussfolgerung für Forschung und Praxis - forensisch-medizinische Verwertbarkeit

Die vorliegende Arbeit ist die erste Untersuchung der Neubildung der Starre nach mechanischem Lösen an menschlichen Verstorbenen mit definitivem Todeszeitpunkt.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, entgegen den Thesen des 19., 20. und 21. Jahrhunderts, dass ein Wiedereintreten der Leichenstarre nach mechanischem Lösen bis zu 19 Stunden nach Todeseintritt beobachtet werden kann.

Jedoch muss dieser neuen Erkenntnis eine klare Beschränkung ihrer Bedeutung beigemessen werden. So ist die Neubildung der Starre nach mechanischem Lösen nur ein Teilgebiet in dem großen Komplex der Todeszeitbestimmung. Demnach ergibt sich zwar keine grundlegende Neuerung in der Methodik der Todeszeitbestimmung, jedoch kann nun, speziell bezogen auf das Kriterium der Starrerneubildung nach mechanischem Lösen, eine experimentell basierte und korrigierte Aussage bezüglich der Leichenliegezeit gegeben werden.

Um eine gesamtheitlich präzisere Eingrenzung der Todeszeit treffen zu können, müssten die einzelnen Teilmethoden im Komplex der Todeszeitbestimmung kritisch untersucht und neu bewertet werden. Denn je sicherer die einzelnen Parameter zu bewerten sind, desto sicherer können Aussagen bezüglich der Todeszeitbestimmung erfolgen.

7. Zusammenfassung

Die retrospektive Todeszeitbestimmung – ein bedeutender Aspekt der forensischen Medizin.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Neubildung der Totenstarre nach mechanischem Lösen an 79 menschlichen Verstorbenen untersucht. Die Methode des mechanischen Lösens stellt einen Teilaspekt der derzeit praktizierten forensischen Todeszeiteingrenzung dar, jedoch ist die nachvollziehbare Datengrundlage in der Literatur gering beziehungsweise nicht nachvollziehbar. Dennoch wird in den gegenwärtigen Anwendungen von einer Neubildung der Leichenstarre nach mechanischem Lösen bis zu einem Postmortalintervall von maximal 8 Stunden ausgegangen (gelegentlich wird in der Literatur von 8-12 Stunden berichtet).

Ziel dieser Studie war die Prüfung, ob eine Starreneubildung nach mechanischem Lösen auch nach mehr als 8 Stunden post mortem (hpm) möglich ist und falls ja, ob Erkenntnisse über das maximal anzunehmende Postmortalintervall gewonnen werden können.

Diese Untersuchung wurde an 79 Verstorbenen (36 weiblich, 43 männlich) mit bekanntem Todeszeitpunkt durchgeführt. Das Alter des Verstorbenenkollektivs lag zwischen 25 und 93 Jahren. Insgesamt wurde die Leichenstarre in 314 Knie- und Ellenbogengelenken zwischen 7,5 und 21 hpm entsprechend der rechtsmedizinischen Praxis mechanisch gelöst und im Verlauf manuell auf eine Neubildung der Leichenstarre untersucht. Dabei konnte ein Wiedereintritt der Leichenstarre in 121 von 314 Fällen (38,5 %) zwischen 7,5 und 19 Stunden verzeichnet werden. Somit ließ sich eine Neubildung der Leichenstarre nach mechanischem Lösen in einem 2,5-fach längeren Postmortalintervall beobachten als bisher angenommen.

Zudem zeigte sich eine geringere Frequenz des Phänomens mit zunehmendem postmortalen Intervall (66,6 % bei 7,5 hpm, 20 % bei 19 hpm). Entsprechend war eine abnehmende Wahrscheinlichkeit für die Neubildung der Leichenstarre nach mechanischem Lösen von 4,1 % pro hpm zu beobachten.

Meixner und Merkel vertraten die Hypothese, dass die Neubildung der Starre in einem schwächeren Ausprägungsgrad als vor der Manipulation auftritt. Dies ließ sich nur partiell beobachten.

Zusammenfassend ergibt die vorliegende Studie Folgendes:

1. Eine Neubildung der Totenstarre nach mechanischem Lösen ist auch nach einem Postmortalintervall von mehr als 8 Stunden zu beobachten.
2. In der vorliegenden Untersuchung ergaben sich Anhaltspunkte für ein Maximalintervall von wenigstens 19 Stunden, in dem eine Neubildung der Totenstarre nach mechanischem Lösen festgestellt werden konnte. Dies entspricht einem ca. 2,5-fach längeren Zeitraum, als in der bisherigen Literatur angegeben wurde.
3. Entgegen früheren Thesen konnte ein regelhaft schwächerer Grad der Leichenstarre bei Wiedereintritt nicht beobachtet werden.

Die Neubildung der Leichenstarre nach mechanischem Lösen stellt nur einen Teilaspekt in dem Komplex der Todeszeiteingrenzung dar, wird jedoch als Element der sogenannten Komplexmethode zur weiteren Eingrenzung der temperaturbasierten Todeszeitermittlung genutzt. Die vorliegenden Ergebnisse legen nahe, dass die bisherigen Annahmen zum postmortalen Maximalintervall der Neubildung der Leichenstarre einer Anpassung und Neubewertung bedürfen, um möglicherweise schwerwiegende negative Konsequenzen im forensisch-medizinischen Arbeitsalltag zu vermeiden.

8. Literaturverzeichnis

- [1] Bierfreund, M. (1888). Untersuchungen über die Totenstarre, Pflügers Arch. Ges. Physiol. 43, S. 195-216.
- [2] Bendall, J. R. (1951). The shortening of rabbit muscles during rigor mortis: its relation to the breakdown of adenosine triphosphate and creatininphosphate and to muscular contraction, Journal Physiol. 114, S. 71-88.
- [3] Bendall, J. R. (1973). Postmortem changes in Muscle. In Bourne G.H.: The Structure and Function of Muscle, Vol. II, Academic Press, New York, Stucture Part 2, S. 244-309.
- [4] Brinkmann, B. und Madea, B. (2004). Handbuch gerichtliche Medizin, Teil 1, Kapitel 2, Springer Verlag, Berlin, S. 79-150.
- [5] Döhring, G. (1963). Untersuchung über die Beziehung des postmortalen Stoffwechsels zur Totenstarre des Herzmuskels, Dt. Zeitschrift für gerichtliche Medizin 53, S. 163-174.
- [6] Dotzauer, G. (1958). Idiomuskulärer Wulst und postmortale Blutung, Dt. Zeitschrift für gerichtliche Medizin 46, S. 761–771.
- [7] Fechner G., Koops E. und Henßge, C. (1984). Zur Abblassung der Livores unter definierten Druckbedingungen. Z. Rechtsmed. 93, S. 283–287.
- [8] Forster, B., Ropohl, D., Prokop, O. und Riemer, K. (1974). Tierexperimentelle und an menschlichen Leichen gewonnene Daten zur Frage der Dauer der Totenstarre. Krim. Forensische Wissenschaft, Bd. 13, S. 35-45.
- [9] Forster, B., Ropohl, D. und Raule, P. (1977). Eine neue Formel zur Beurteilung der Totenstarre: Die Feststellung des FFR-Index (Freiburger-Rigor-Index). Freiburg, Z. Rechtsmed. 80, S. 51-54.
- [10] Forster, B. und Ropohl, D. (1983). Medizinische Kriminalistik am Tatort, Thieme Verlag Stuttgart.

- [11] Forster, B. (1986). Praxis der Rechtsmedizin für Mediziner und Juristen, Kapitel Forensische Pathologie - Thanatologie von Forster, B. und Ropohl, D., Thieme Verlag Stuttgart, New York, S. 10-47.
- [12] Henßge, C. (1988). Methoden zur Bestimmung der Todeszeit – Leichenabkühlung und Todeszeitbestimmung, Dissertation, Berlin.
- [13] Henßge, C., Madea, B. und Gallenkemper, E. (1985). Death time estimation in case work. II. Integration of different methods. *Forensic Sci. Int.*, 39, S. 77-87.
- [14] Henßge, C. und Madea, B. (1988). Methoden zur Bestimmung der Todeszeit an der Leiche, Schmidt-Römhild, Lübeck.
- [15] Henßge, C., Knight, B., Krompecher, T., Madea, B. und Nokes, L. (1995). Estimation of the time since death in the early postmortem period, Edward Arnold, London, Boston, Melbourne, Auckland.
- [16] Henßge, C. et al. (2000). Experiences with a compound method for estimating the time since death. II. Integration of non-temperature-based methods. *Int. J. Legal Med.* 113, S. 320-331.
- [17] Henßge, C. (2002). Todeszeitbestimmung an Leichen. *Z. Rechtsmed.* 12, S. 112–128.
- [18] Hofmann, E. v. (1867/77). Die forensisch wichtigsten Leichenerscheinungen, *Gerichtliche Med.* 26, S. 17-40.
- [19] Honjyo, K., Yonemitsu, K. und Tsunerari, S. (2005). Estimation of early postmortem intervals by a multiple regression analysis using rectal temperature and non-temperature based postmortem changes, *J. Clin. Forensic Med., Japan*, 12 (5) S. 249-253.
- [20] Joachim, H. (1976). Probleme der frühen Todeszeitbestimmung und die sogenannten supravitalen Reaktionen des Muskels im Tierversuch, Habilitationsschrift, Freiburg.
- [21] Kobayashi, M., Takatori, T., Nakajima, M., Sakurada, K., Hatanaka, K., Ikegaya, H., Matsuda, Y. und Iwase, H. (1999/2000). Onset of rigor mortis is earlier in red

- muscle than in white muscle, *Int. J. Legal Med.*, Springer Verlag, 113, S. 240-243.
- [22] Krompecher, T. (1980). Experimental evaluation of rigor mortis: V. Effect of various temperatures on the evolution of rigor mortis. Geneva (Switzerland).
- [23] Krompecher, T., Bergerioux, C., Brand-Casadevall, C. und Gujer, C. (1983). Experimental evaluation of rigor mortis: VI. Effect of various causes of death on the evolution of rigor mortis, Institute of Forensic Med., Lausanne, Switzerland, Elsevier Publisher Ireland, *Forensic Sci. Int.* 22, S. 1-9.
- [24] Krompecher, T. und Gilles, A. (2007). Experimental evaluation of rigor mortis: IX. The influence of the breaking (mechanical solution) on the development of rigor mortis. Institute of Forensic Med., University of Lausanne, Switzerland, *Forensic Sci. Int.* 176 (2), S. 157-162,
- [25] Lawrie, R. A. (1953). The onset of rigor mortis in various muscles of draught horse, *Journal Physiol.* 121, S. 275
- [26] Madea, B. und Henßge, C. (1985). Historisches zur Todeszeitbestimmung. *Rechtsmedizin Münster, Z. Rechtsmed.* 95, S. 19-25.
- [27] Madea, B. (1989). Supravitale elektrische Erregbarkeit der Skelettmuskulatur – Längsschnittuntersuchungen zur Objektivierung der muskulären Reaktion an 70 Leichen. Habilitation, Universität Köln.
- [28] Madea, B. (2003). *Praxis Rechtsmedizin*, 2. Auflage, Kapitel 2, Thanatologie, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 32-45.
- [29] Madea, B. (2006). *Die Ärztliche Leichenschau: Rechtsgrundlagen, praktische Durchführung, Problemlösung*, Auflage 2, Springer Verlag, S. 79-82.
- [30] Mallach, H. J. (1964). Zur Frage der Todeszeitbestimmung, *Berl. Med.* 18, S. 577-582.
- [31] Mallach, H. J. und Mittmeyer, H.-J. (1971). Rigor mortis and Livores. *Z. Rechtsmed.* 69, S. 70-78.
- [32] Mallach, H. J. und Mittmeyer, H. J. (1971). Totenstarre und Totenflecke,

- Methodische Auswertung der Todeszeit mit Hilfe maschineller Datenverarbeitung. Z. Rechtsmed. 69, S. 70-78.
- [33] Meixner, K. (1922). Referat auf der XII. Tagung der Deutschen Gesellschaft für gerichtliche und soziale Medizin in Leipzig, Die Totenstarre beim Menschen, Dt. Zeitschrift für gerichtliche Medizin 2, S. 398-411.
- [34] Merkel, H. (1929). Über die Todeszeitbestimmung an menschlichen Leichen, Referat, gehalten auf der 18. Tagung der Deutschen Gesellschaft für Gerichtliche und Soziale Medizin in Heidelberg.
- [35] Merkel, H. (1937). Leichen- und Fäulniserscheinungen, Erg. Allg. Path., Band 1, S. 1-54.
- [36] Naeve, W. (1978). Gerichtliche Medizin für Polizeibeamte, Kriminalistik Verlag, Heidelberg.
- [37] Niderkorn, P. F. (1872). Zitiert nach Tidy CM (1882): The period of cadaveric rigidity (rigor mortis), Legal Medicine, Part I Smith Elder, London S. 62-69.
- [38] Oppenheim, F. und Wacker, L. (1919). Das Ausbleiben der postmortalen Säurebildung im Muskel als Ursache der verschiedenen Intensität der Totenstarre menschlicher Leichen. Berl. klin. Wochenschr. 42, S. 980-994.
- [39] Patel, Z. und Parikh, S. (1997). Absence of rigor mortis in Indian childhood cirrhosis. Lancet 349, S. 100-101.
- [40] Penning, R. (2005). Rechtsmedizin systematisch, Auflage 2, Uni-Med, Bremen.
- [41] Pounder, D. J. (2005). Postmortem Interval, In: Payne-James, J., Byard, R. W., Corey, T. S., Hendersen, C., Encyclopedia of forensic and legal medicine, Vol. 3, Elsevier, Oxford, S. 482 ff.
- [42] Prokop, O. (1975). Supravitale Erscheinungen, In: Prokop, O., Göhler, W., Forensische Med., Volk und Gesundheit Verlag, Berlin, S. 16–27.
- [43] Prokop, O. und Göhler, W. (1976). Die Totenstarre, Forensische Med., Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, S. 35-43.

- [44] Schäfer, A. Th. (1997). „Kann die Totenstarre nach gewissen Krankheiten fehlen?“, Z. Rechtsmed. 7, S. 165-166.
- [45] Schleyer, F. und Müller, B. (1975). Leichenveränderungen. Todeszeitbestimmung im frühen postmortalen Intervall. Leichenzersetzung und –zerstörung, Gerichtliche Medizin von B. Müller, Band 1 (1975), S. 45-55.
- [46] Saukko, P. und Knight, B. (2004). Forensic pathology, Edward Arnold, London, S. 62.
- [47] Sommer, A. (1833). Dissertationis de signis, mortem hominis absolutam ante putredinis accessum indicantibus particula prior et posterior, Hauniae, zitiert aus Zink (1972) und Madea/Henßge (1985).
- [48] Tacqui, A. (2000). Time since death, In: Siegel, J. A., Saukko, P. J., Knupfer, G. C. (Editors), Encyclopedia of forensic sciences, Volume 3, Academic Press, London, San Diego, S. 1357-1363.
- [49] Zink, P. (1972). Das Verhalten menschlicher Skelettmuskulatur während des Verlaufs der Totenstarre, Z. Rechtsmed. 71, Uni Nürnberg-Erlangen, Springer Verlag, S. 47-63.
- [50] Zimmer, G. (2006). Prüfungsvorbereitung Rechtsmedizin, 1.3.2 Todeszeitbestimmung, Thieme Verlag, Stuttgart, S. 10.

9. Eigene Publikation

Teile dieser Dissertation wurden in folgender Publikation veröffentlicht:

Anders, S., Kunz, M., Gehl, A., Sehner S., Raupach T. und Beck-Bornholdt, H.-P. (2011). Estimation of the time since death - reconsidering the re-establishment of rigor mortis, Int. J. Legal Med. DOI 10.1007, Springer-Verlag 2011

10. Abbildungsverzeichnis

Tabelle 1:	Merkmale der Leichenflecke in Bezug auf den zeitlichen Verlauf.
Tabelle 2:	Zeitlicher Durchschnitt mit mittlerer quadratischer Abweichung für die einzelnen Starrestadien, berechnet nach Zeitangaben aus dem Schrifttum der Jahre 1811-1960.
Tabelle 3:	Wiedereintritt der Leichenstarre nach mechanischem Lösen zu verschiedenen postmortalen Zeitpunkten.
Tabelle 4:	Starreneubildung in geschlechtsspezifischer Analyse.
Tabelle 5:	Wiedereintritt der Leichenstarre nach mechanischem Lösen mit Ausprägung der Starreintensitäten (tab. Darstellung) bezogen auf das Geschlecht.
Tabelle 6:	Differenzierung der Starreintensität nach Wiedereintritt im zeitlichen Verlauf (tab. Darstellung).
Tabelle 7:	Wiedereintritt der Starre bei Verstorbenen mit beobachtetem plötzlichen Todeszeitpunkt.
Abb. 1:	Schematische Darstellung über das Verhalten der Totenstarre bei gewaltsamer Lösung.
Abb. 2:	Beispiel für die Veränderung von Muskellänge, Steifheit und Plastizität eines menschlichen M. sartorius während des 1. Tages nach dem Tod. Jeder Punkt der Kurve entspricht einem Messwert. Aus: Zink, P. (1972): Das Verhalten menschlicher Skelettmuskulatur während des Verlaufs der Totenstarre, S. 53

Abb. 3:	Beispiel für die Veränderung von Muskellänge, Steifheit und Plastizität eines menschlichen M. sartorius, aus: Zink, P. (1972): Das Verhalten menschlicher Skelettmuskulatur während des Verlaufs der Totenstarre.
Abb. 4:	Geschlechtsverteilung der Gesamtuntersuchung .
Abb. 5:	Wiedereintritt der Leichenstarre nach mechanischem Lösen zu verschiedenen postmortalen Zeitpunkten.
Abb. 6:	Rückkehr der Totenstarre (%) nach mechanischem Lösen bei zunehmenden PMI.
Abb. 7:	zeigt die Ergebnisse des Wiedereintritts der Totenstarre, bezogen auf das Geschlecht der untersuchten Verstorbenen.
Abb. 8:	Wiedereintritt der Totenstarre der männlichen Kohorte, bezogen auf die Gesamtstudie.
Abb. 9:	Wiedereintritt der Totenstarre der weiblichen Kohorte, bezogen auf die Gesamtstudie.
Abb. 10:	Wiedereintritt der Leichenstarre nach mechanischem Lösen mit Ausprägung der Starreintensitäten (graph. Darstellung) bezogen auf das Geschlecht.
Abb. 11:	Differenzierung der Starreintensität nach Wiedereintritt im zeitlichen Verlauf (graph. Darstellung).
Abb. 12:	Neubildung der Totenstarre bei adipösen Verstorbenen.
Abb. 13:	Altersverteilung des untersuchten Verstorbenenkollektivs.
Abb. 14:	Geschlechtsbezogene Altersverteilung.
Abb. 15:	Wiedereintritt der Leichenstarre bei Männern, bezogen auf das Alter.
Abb. 16:	Wiedereintritt der Leichenstarre bei Frauen, bezogen auf das Alter.
Abb. 17:	Prozentualer Wiedereintritt der Leichenstarre nach Altersgruppen und Geschlecht.

11. Danksagung

Besonders möchte ich mich bei den Herren Dr. med. Sven Anders und Dr. med. Axel Gehl für die Vergabe der Promotionsarbeit bedanken. Ganz herzlich bedanke ich mich darüber hinaus bei Herrn Dr. Sven Anders für die wissenschaftliche Betreuung, die Hilfestellung bei der praktischen Durchführung der Arbeit sowie die hilfreiche Kritik und Beantwortung meiner vielen Fragen.

Herrn Prof. Dr. K. Püschel, Direktor des Instituts für Rechtsmedizin der Universität Hamburg-Eppendorf, danke ich sehr für die Überlassung des Themas und die finale Korrektur.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. H.-P. Beck-Bornholdt, der mir half, die richtigen Entscheidungen zu treffen und nicht aufzugeben.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Christian Thiem für die kontinuierliche Betreuung, Geduld und die hilfreiche Motivation bei der Umsetzung der Arbeit. Meiner Familie, Freunden und Kollegen danke ich für die vielen Aufmunterungen und Anregungen.

12. Lebenslauf

13. Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe. Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

.....

Michaela Kunz

Hamburg, 2012