

Erfahrungen an gefrorenen Leichen¹⁾.

Von

Prof. Karl Reuter, Hamburg.

Mit 13 Textabbildungen.

Bekanntlich besitzen wir keinen einzigen sicheren Anhaltspunkt, aus dem wir auf Grund des Sektionsbefundes allein die Diagnose auf Tod durch Erfrieren ableiten könnten. — Alle Befunde, welche an gefrorenen Leichen erhoben werden, müssen von diesem Gesichtspunkt aus beurteilt werden. Beim Vergleich mit demjenigen, was uns der Verbrennungstod an äußeren und inneren Veränderungen vor Augen zu führen pflegt, müssen sie recht dürftig erscheinen. Und noch neuerdings hat *Gerlach* in *Lochtes Handbuch*⁶⁾ durchaus zutreffend bemerkt, daß es irgend einen für den Erfrierungstod charakteristischen Obduktionsbefund nicht gibt. *Liman*¹⁾ hält es sogar für nötig zu betonen, daß der Umstand des Gefrorenenseins einer Leiche keine Rückschlüsse auf die Todesart zuläßt. Angesichts dieser Schwierigkeiten dürfen wir uns aber doch nicht abhalten lassen, bei der Sektion gefroren gewesener Leichen nach Merkmalen zu suchen, aus denen wir Schlüsse auf die Lokalisation, Intensität und Dauer der Kältewirkung zu ziehen imstande sind, um damit zu einer möglichst klaren Beurteilung des jeweiligen Sachverhalts zu gelangen.

Leider sind die bisherigen Erfahrungen in dieser Hinsicht nur sehr gering, da in unseren Breitengraden verhältnismäßig selten gefrorene Leichen zur Sektion kommen.

Allerdings haben wohl die russischen Gerichtsärzte nach *Limans* Darstellung häufiger zu einschlägigen Beobachtungen Gelegenheit gehabt. Bei ihnen kamen früher auf 100 gewaltsame Todesfälle durchschnittlich 10 Leichen Erfrorener zur Sektion, während das Berliner Material kaum 2% davon aufwies.

Im allgemeinen sind die in der Literatur niedergelegten Beobachtungen nicht immer ganz eindeutig und in ihrer Gesamtheit dürftig, so daß ich es vielleicht wagen darf, Ihr Interesse auf einige Erfahrungen zu lenken, welche an einem künstlich eingefrorenen Material gewonnen, also experimentell erzeugt sind.

¹⁾ Vorgetragen auf der Tagung der Deutschen Gesellschaft f. gerichtl. u. soz. Medizin in Erlangen, September 1921.

Allgemein bekannt ist die regelmäßig an gefrorenen Leichen zu bemerkende hellrote Färbung der Totenflecke. Sie hat nicht allein ihren Grund in der durch die Abkühlung bewirkten Aufhebung der Sauerstoffzehrung durch die Körpergewebe, sondern sie tritt auch nach bereits erfolgter Reduktion des Blutes und Bildung dunkler Totenflecke auf, wenn man hinterher die Leichen gefrieren läßt.

Jedenfalls läßt sie sich dann nur erklären durch eine Diffusion des Sauerstoffs der Luft durch die gefrorene Hautoberfläche hindurch.

Auf die Möglichkeit ihrer Verwechslung mit Kohlenoxydvergiftung ist bereits in der Literatur von verschiedenen Seiten hingewiesen worden. Ich möchte hier nur darauf aufmerksam machen, daß die *rosige Färbung der Fingernägel* aber doch meistens ganz deutlich die Kohlenoxydvergiftung kennzeichnet, während an dieser Stelle Rötung durch Oxydation kaum zustande kommt.

Es kann meiner Ansicht nach keinem Zweifel unterliegen, daß der Gasaustausch zwischen dem Inneren gefrorener Leichen und der Außenluft unter Umständen viel lebhafter ist als in nicht gefrorenem Zustande.

Darauf ist vielleicht auch eine Wahrnehmung zurückzuführen, die sich bei längerer Aufbewahrung solcher hartgefrorener Objekte sehr angenehm bemerkbar macht. Dieselben werden nämlich schon nach verhältnismäßig kurzer Zeit vollkommen geruchlos.

Wir können diese Beobachtung in der Anatomie des Hafenkrankenhauses besonders in der heißen Sommerszeit machen, wenn unsere in vollem Betrieb befindliche Kühlanlage gestattet die zahlreich ankommenden grünfaulen Wasserleichen bei -20°C schnell einzufrieren. Ein solches Vorgehen ist besonders in denjenigen Fällen angebracht, in denen das Ermittlungsverfahren geraume Zeit beansprucht. Der auf diese Weise erzielten Geruchlosigkeit der Lagerungsobjekte ist es zu verdanken, daß der Aufenthalt im Hause überhaupt erträglich bleibt.

Natürlich tritt nach dem Wiederauftauen der Fäulnisgeruch von neuem auf, aber dann läßt ja die Beerdigung nach schnell vorgenommener Sektion nicht mehr auf sich warten.

Eine zweite Begleiterscheinung des Lagerns gefrorener Leichen, welche ebenfalls die Lebhaftigkeit des Gasaustausches verdeutlicht, ist ihre Gewichtsabnahme durch Verdunstung.

Trotzdem solche Leichen nicht weiterfaulen und Fäulnisflüssigkeit durch Diffusion nach außen nicht mehr verlieren können, nimmt ihr Gewicht langsam aber stetig durch Austrocknung ab.

Dieser Verdunstungsvorgang ist natürlich abhängig von der Oberflächengröße, dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft und deren Zirkulationsgeschwindigkeit. Die letztere wird in unseren Kühlzellen durch eine regulierbare Ventilationseinrichtung allerdings erhöht.

Ebenso wie der Gasaustausch an der Körperoberfläche wirkt, müssen wir uns vorstellen, daß er auch auf die respiratorische Oberfläche der gefrorenen Lungen seinen Einfluß ausübt.

Dieser Umstand dürfte geeignet sein, auf die von *Richter*⁷⁾ erhobenen Befunde über den Unterschied der Blutfarbe des rechten und linken Herzens einiges Licht zu verbreiten. Er fand bekanntlich das Blut im linken Herzen auffallend hellrot, im rechten dunkelrot und erklärt diese Erscheinung als einen agonalen Vorgang.

Wenn wir indessen die hohe Wahrscheinlichkeit eines postmortalen Oxydationsvorganges in den Lungen der bereits gefrorenen Leiche voraussetzen müssen, so verliert der von *Richter* erhobene Befund den Wert, welchen man ihm sonst wohl für Beurteilung der Art des Todes resp. des Erfrierens beizumessen geneigt sein könnte. Denn daß nach erfolgtem Auftauen der Leiche bei der Sektion durch die Eröffnung der Brusthöhle Lungenblut ins linke Herz getrieben werden kann, eine solche Annahme dürfte wohl im Bereiche der Wahrscheinlichkeit liegen.

Bei langem Lagern und mit fortschreitender Austrocknung erhält nun weiterhin die äußere Haut stellenweise ein teils pergamentartiges, teils kroidig geflecktes Aussehen. Schließlich kann eine Leiche auf diese Weise vollkommen mumifiziert werden.

Es ist mir gelungen, ganze Thoraxquerschnitte und Organe, wie Lungen, Lebern, Herzen, Milzen durch Lagern in den Kühlzellen in einigen Monaten auszutrocknen und in Organe von papiermachéartiger Beschaffenheit zu verwandeln.

Wir sehen also, daß zur Entstehung von Mumien nicht nur Trockenheit und Wärme, sondern auch die Lagerung in gefrorenem Zustande Veranlassung geben kann.

Ich glaube des weiteren beobachtet zu haben, daß bei in frischem Zustande eingefrorenen Leichen im Laufe monatelanger Lagerung eine fast an Ikterus erinnernde gelbliche Hautverfärbung eintritt. Auch die Farbe des Blutes im Innern erhält einen Stich ins Bräunliche. Ich halte es nicht für ausgeschlossen, daß für diese Erscheinung eine beginnende Methämoglobinbildung anzuschuldigen ist.

Das dürfte einleuchtend sein, wenn man bedenkt, daß andere als Licht- und Sauerstoffeinwirkungen für eine etwaige chemische Umwandlung des Blutfarbstoffes in solchen Fällen nicht in Betracht kommen können.

Die wichtigste Veränderung am Leichenblut ist ferner die Gefrierhämolyse und die im Anschluß daran beim Auftauen schnell eintretende Diffusionsfärbung der blutreichen inneren Organe. Sie hat mit der Fäulnisimbibition eine zum Verwechseln große Ähnlichkeit.

Für Leichen, die in bereits faulem Zustande gefroren werden, spielt natürlich die Gefrierhämolyse für den Sektionsbefund eine unbedeutende

Rolle, aber bei frisch gefrorenen Leichen kann sie natürlich zu Mißdeutungen bei der Bestimmung des Leichenalters Veranlassung geben. Selbst ein lebensfrisch eingefrorener Tierkadaver kann nach dem Auftauen mißfarbige innere Organe aufweisen. Auf diese Weise erklärt sich auch wohl die vielverbreitete aber unbegründete Geringschätzung des Gefrierfleisches als Nahrungsmittel.

Bei der gerichtlichen Sektion aufgetauter Leichen wird man jedenfalls genötigt sein, die Erscheinungen der Hämolyse besonders vorsichtig zu beurteilen und mit Fleiß nach anderen Kriterien der Fäulnis zu suchen. Gelegentlich wird erst die histologische Untersuchung über den Erhaltungszustand der Organe Aufklärung herbeischaffen.

Somit stellt die Hämolyse eine wichtige und unter Umständen störende Begleiterscheinung des Gefrierprozesses dar.

Ihr Auftreten verbietet die Anwendung des Gefrierverfahrens zur Leichenkonservierung vor Eintritt der Fäulnis für die Zwecke der pathologischen Anatomie. Wir müssen aus diesem Grunde unentwegt darauf hinarbeiten, in allen frischen Fällen möglichst frühzeitig die Sektionserlaubnis zu erhalten, da kein Leichenkonservierungsverfahren imstande ist, den ungetrübten Befund frischer Organe zu erhalten.

Aber bei faulen Leichen ist natürlich die Gefriermethode die beste Art der Konservierung, denn bei ihrer Anwendung kommen alle im Fortschreiten befindlichen Fäulnisvorgänge sofort zum Stillstand.

Diese Tatsache rechtfertigt meines Erachtens die gelegentliche Anwendung des Gefrierverfahrens in derartigen gerichtlichen Fällen, in denen man die zur Aufklärung des Tatbestandes notwendigen zeitraubenden Ermittlungen dann unbedenklich abwarten kann.

Wenn wir nach den morphologischen Veränderungen fragen, welche der Gefrierprozeß verursacht, so können dieselben makroskopischer und mikroskopischer Natur sein.

Bekanntlich dehnt sich das Wasser beim Gefrieren fast um $\frac{1}{10}$ seines Volumens aus. Leichen mit einem Wassergehalt von etwa 80% müßten demnach bei ungehinderter Ausdehnung eine Volumenzunahme von 8% aufweisen, vorausgesetzt, daß tatsächlich alles Wasser in den festen Aggregatzustand übergeführt wird, was nur unter besonderen Bedingungen der Fall zu sein pflegt.

Da die Ausdehnung bei gleichmäßiger Abkühlung alle Teile des Körpers in derselben Weise betrifft und da sie verhältnismäßig nicht besonders groß ist, so dürfen wir erwarten, daß die Störungen der grobanatomischen Verhältnisse, die auf diese Weise in Erscheinung treten können, überall da gering und kaum bemerkbar sein werden, wo es sich um Körperteile handelt, welche in ihren gegebenen Grenzen genügende Dehnbarkeit besitzen. Das trifft wohl im allgemeinen für alle Weichteile des Körpers zu.

In der Tat habe ich auch bei den zahlreichen gefrorenen gewesenen Leichen, die ich zu sezieren Gelegenheit gehabt habe, niemals in die Augen fallende Verlagerungen der Weichteile, Rupturen mit Flüssigkeit gefüllter weicher Hohlorgane, wie Blase, Magen, Gallenblase, schwangerer Uterus usw., bei der Sektion beobachtet.

Bemerkenswerte Folgezustände ergeben sich aber in denjenigen Fällen, wo flüssigkeithaltige oder weichteilhaltige Hohlräume von festen Wänden, Knochenkapseln usw. umgeben sind, deren geringe Dehnungsfähigkeit das Ausweichen des gefrierenden Weichteil- und Flüssigkeitsinhaltes nicht oder nur in beschränktem Maße gestattet.

In erster Linie kommt hier die Schädelhöhle, in gewissem Sinne der Beckenring und die markhaltigen Röhrenknochen in Betracht.

Schon 1861 hat *Krajewski*²⁾ die auf solche Weise entstandene Lockerung und Sprengung der Schädelnähte beschrieben und später hat der Tübinger Anatom *Froriep*³⁾ Versuche in dieser Richtung angestellt. Er hat gezeigt, daß das beim Gefrieren in Ausdehnung begriffene Gehirn sich nicht nur durch die verschiedenen natürlichen Öffnungen, z. B. das Hinterhauptsloch einen Weg bahnen kann, sondern daß auch das Dach der Nasenhöhle, der Sinus frontalis und sphenoidalis von ihm gelegentlich gesprengt werden. Ich kann auf Grund eigener Erfahrungen diese Beobachtungen nur in vollem Umfange bestätigen. Die Erkennung und richtige Beurteilung solcher Befunde ist natürlich bei gerichtlichen Sektionen beachtenswert. Ihre Unterscheidung von vitalen Verletzungen ist sehr leicht, wenn man neben der vollzähligen Abwesenheit vitaler Reaktionen den typischen Sitz, die Ausdehnung und den Entstehungsmechanismus solcher Rupturen in Betracht zieht.

Andere Zerstörungen können leicht durch mechanische Inanspruchnahme der Leichen z. B. beim Transport während des Auftauens entstehen. Dann wirken die noch im Innern befindlichen, aber schon gegeneinander beweglichen Eiskristalle gleichsam wie Kugelmöhlen zertrümmernd auf ihre Umgebung und führen oft zu ausgedehnten Zerreißungen der Muskulatur und übrigen Weichteile. Aus diesem Grunde ist die wörtliche Befolgung der bekannten Bestimmungen des Regulativs über die Behandlung gefrorener Leichen als durchaus zweckmäßig zu bezeichnen.

Darüber, daß der Gefrierprozeß an sich imstande ist, auch mikroskopische Veränderungen zu erzeugen, war in der älteren Literatur bisher wenig bekannt. Man faßte sie ihrem Wesen nach als durch die Eiskristallbildung hervorgerufene Verdrängungserscheinungen auf und betonte ihren mechanischen Charakter und ihre regellose Form.

Erst neuere, zum Teil während der Kriegszeit ausgeführte Untersuchungen haben gezeigt, daß das Studium der Gefrierhistologie Gesetzmäßigkeiten erkennen läßt und uns Bilder vor Augen führt, aus denen

man über den Verlauf des Einfrierens unter Umständen wertvolle Schlüsse ziehen kann.

Die ersten Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Gefrierdauer und dem Wechsel der bei ihrer Änderung auftretenden verschiedenen histologischen Bilder wurden von mir gemeinschaftlich mit dem Danziger Physiker Prof. *R. Plank* und dem Hamburger Fischereibiologen Prof. *Ehrenbaum* während des Krieges angestellt⁴⁾. Es handelte sich damals um Prüfung des Gefrierverfahrens zu Fischkonservierungszwecken. Später habe ich die Untersuchungen auch auf unser gefrorenes Leichenmaterial ausgedehnt und überall die gleichen Gesetzmäßigkeiten feststellen können.

Zum Verständnis der beigegebenen Abbildungen wollen wir zunächst vorbereitend durch rein theoretische Überlegung den Entstehungsbedingungen der histologischen Gefrieränderungen im allgemeinen näherzukommen versuchen.

Wir müssen dabei naturgemäß von der Gewebszelle als der histologischen Einheit des Organismus ausgehen.

Die Zelle besteht physikalisch betrachtet unter anderem aus einem halbflüssigen Gemisch von Eiweißstoffen kolloidaler Natur, welche durchtränkt sind von einer dünnen Salzlösung, der Zellflüssigkeit.

Diese beiden Substanzen verhalten sich nach bekannten physikalischen Gesichtspunkten dem Gefrierprozeß gegenüber ganz verschieden, so daß es zweckmäßig erscheint, beide Vorgänge gesondert zu betrachten.

Fassen wir der Einfachheit halber zuerst den Gefrierprozeß einer Kochsalzlösung von gegebener, etwa dem Zellsaft entsprechender Konzentration ins Auge, so wissen wir, daß eine solche Lösung unter 0° abgekühlt werden kann, ohne zu gefrieren, und daß erst allmählich im Laufe weiterer Abkühlung der Gefrierpunkt der Lösung erreicht wird. Das zeigt sich daran, daß Eiskristalle in derselben auftreten.

Dieselben bestehen natürlich aus reinem Wasser und ihre Zahl nimmt zu, wenn wir die Abkühlung weiter fortsetzen. Dabei bemerken wir, daß die Temperatur trotzdem immer die gleiche bleibt und erklären uns diese Tatsache damit, daß die fortschreitende Krystallbildung Wärme erzeugt.

Dadurch, daß wir nun auf diese Weise immer mehr Eiskristalle erhalten, der Lösung also immer mehr Wasser entziehen, wird dieselbe immer weniger und konzentrierter und schließlich so, daß sie mit Kochsalz gesättigt ist. Die Stetigkeit dieses ganzen Vorganges kann durch eine Kurve, die sog. Eiskurve, dargestellt werden.

Für verschiedene Salzlösungen ist natürlich die Sättigungskonzentration verschieden.

Verschieden ist aber die Sättigungskonzentration auch in ein und derselben Salzlösung bei verschiedenen Temperaturen, denn je niedriger

die Temperatur ist, desto schlechter löst sich bekanntlich das Salz und einer jeden Temperatur entspricht eine bestimmte Sättigungskonzentration. So lösen sich z. B. von Kochsalz bei 0°C im Wasser 35,63%. Beim Sinken der Temperatur scheidet sich dann Kochsalz aus und die Konzentration der Lösung nimmt ab. Wir können also auch der Eiskurve analog eine sog. Sättigungskurve konstruieren und beide, sowohl die Eiskurve wie die Sättigungskurve, repräsentieren physikalische Gleichgewichtslagen zwischen einer flüssigen und einer festen Phase bei verschiedenen Temperaturen unter 0. (Abb. 1).

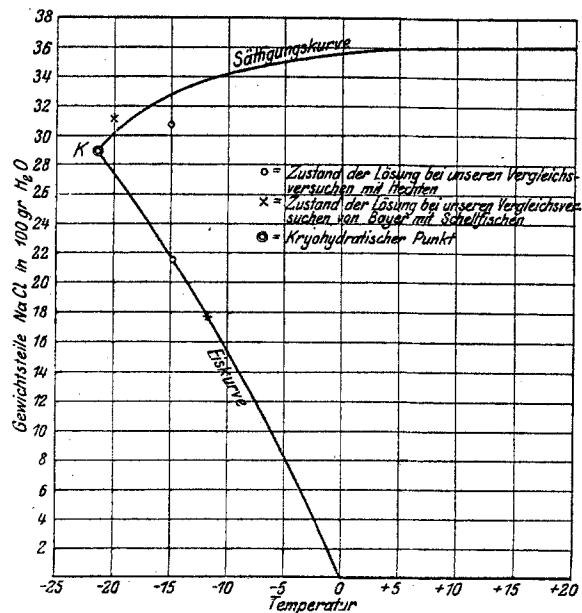


Abb. 1. Sättigungskurve und Eiskurve von Kochsalzlösungen
[vgl. „Die Konserv. v. Fischen“ usw. 4)].

Da, wo nun die Sättigungskurve die Eiskurve schneidet, muß die Ausscheidung sowohl von Eis wie von Kochsalz ihr Maximum erreicht haben, und bei der Temperatur des Schnittpunktes gerät denn auch wirklich jede Kochsalzlösung in Erstarrung, d. h. sie gefriert. Man bezeichnet diesen Erstarrungspunkt als den kryohydratischen Punkt, und wir können uns vorstellen, daß er unter allen Umständen erreicht werden muß, wenn eine Salzlösung wirklich fest gefrieren soll. Für Kochsalzlösungen liegt der kryohydratische Punkt bei $-21,2^{\circ}\text{C}$ und einer Sättigungskonzentration von 28,9%.

Im Zellsaft der Körperzelle würde der Gefrierprozeß natürlich genau so wie in einer Salzlösung verlaufen, wenn nicht außer den Krystalloiden, den Salzen, noch Kolloide (Eiweißstoffe usw.) vorhanden wären.

Diese verhalten sich nun je nach ihrer Art sehr verschieden. Viele erleiden dabei irreversible Zustandsänderungen, so daß sie nach dem Auftauen nicht mehr als Kolloidlösungen fortbestehen, sondern als fädige Gallerte, feines Pulver oder in Form von Blättchen sich ausscheiden.

Es sind demnach zwei wichtige mechanische Vorgänge, welche das Zellprotoplasma beim Gefrieren angreifen, einmal die Krystallisation des Wassers und zweitens die Ausflockung der Kolloide. Diese beiden

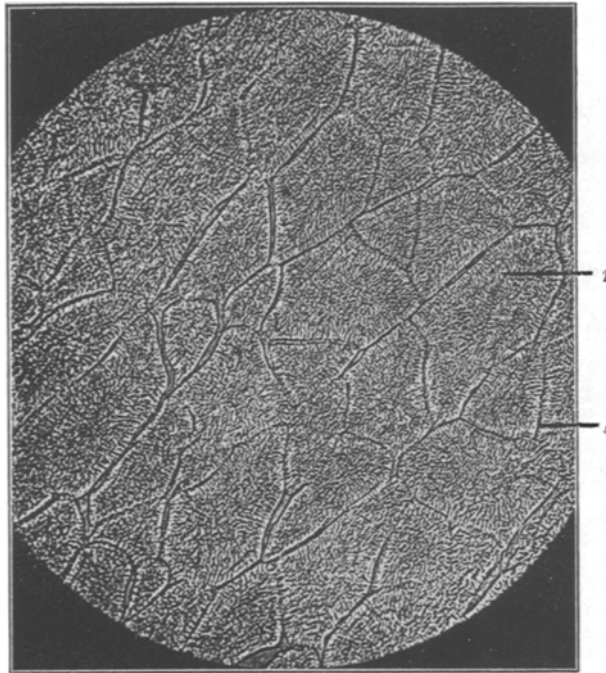


Abb. 2. Phase I. Frischer, sehr dünner Querschnitt eines mit flüssiger Kohlensäure in wenigen Sekunden gefrorenen Muskels vom Schellfisch, welcher infolge der kurzen Gefrierdauer *überhaupt keine* Gefrieränderungen zeigt und als normaler Muskelquerschnitt gelten kann. Präparat in physiologischer Kochsalzlösung frisch und ungefärbt photographiert, bei einer Vergrößerung von 1 : 180. *p* = Muskelplasma; *s* = Sarkolemma.

Erscheinungen gehen parallel nebeneinander her und sind im Prinzip nichts anderes als eine besondere Form der Wasserentziehung, welche das Zellprotoplasma erleidet.

Dieselbe tritt natürlich in ihren ersten Anfängen in molekularer Form auf und wir können uns vorstellen, daß, wenn die Abkühlung so schnell vor sich geht, daß der kryohydratische Punkt momentan erreicht wird, alle Moleküle ganz plötzlich fest werden, ohne ihren Platz

verlieren zu können. Das Zellprotoplasma muß also erstarren, bevor mit dem Mikroskop sichtbare Veränderungen eintreten.

Wird dagegen den dissoziierten Wassermolekülen Zeit gelassen, Tröpfchen zu bilden und sich zu sammeln, so wird das Wasser zuerst in den Zellen mikroskopisch sichtbar werden und durch Verdrängung der Kolloide histologische Gefrierstrukturen schaffen, welche durch den Erstarrungsvorgang in den jeweiligen Phasen ihrer Entwicklung fixiert werden müssen.

Diese einfache Überlegung zeigt also, daß die Gefriergeschwindigkeit einen bestimmenden Einfluß auf die entstehenden histologischen Strukturen haben muß.

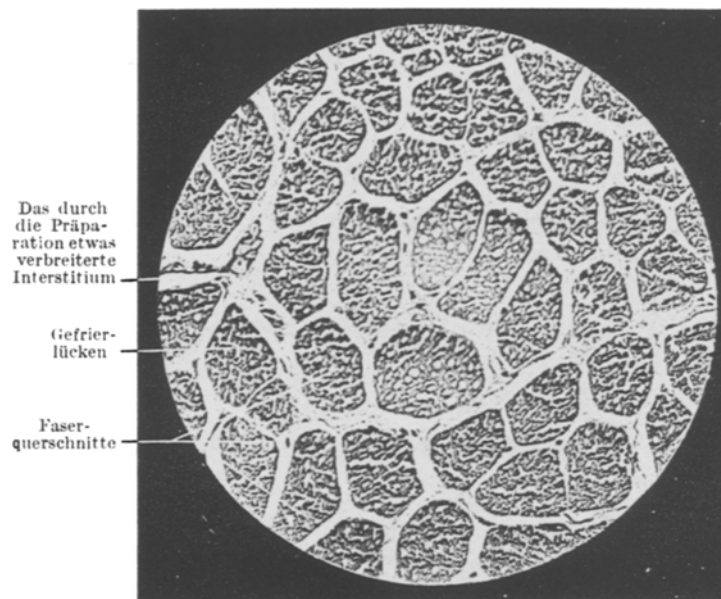


Abb. 3. Phase II. M. sartorius vom Menschen, Paraffinschnitt.

Das scheint mir von grundlegender Bedeutung, denn wir würden nun imstande sein, unter Umständen aus dem histologischen Leichenbefunde auf die Intensität der zur Wirkung gelangten Abkühlung Schlüsse zu ziehen.

Die verschiedenen Phasen der histologischen Gefrieränderungen lassen sich nun in der Tat am Muskel am deutlichsten beobachten.

I. Bei ganz schneller Abkühlung mit dem Gefriermikrotom können wir Schnitte erhalten, an denen jegliche Strukturveränderungen fehlen.

II. Bei einer geringen Verzögerung des Einfrierens aber treten schon zahlreiche Lücken im Plasma auf, welche den erwähnten Kristallbildungen entsprechen. (Abb. 3.)

III. Beansprucht der Vorgang noch längere Zeit, so konfluieren die Wassertröpfchen und bilden im Plasma zentral gelagerte Hohlräume. (Abb. 4.)

IV. Diese Hohlräume wachsen allmählich und verdrängen das umgebende Sarkoplasma immer mehr, bis sie an den zunächstgelegenen Stellen den Sarkolemm Schlauch berühren. (Abb. 5.)

V. Schließlich wird auch der Sarkolemm Schlauch gesprengt und die Flüssigkeit ergießt sich ins Zwischengewebe, wo sie dann zu größeren Krystallen erstarren kann. (Abb. 7 u. 13.) Die letzteren beginnen nun aber schon Dimensionen anzunehmen, die ein Erkennen mit unbewaffnetem Auge möglich machen und man kann unter Berücksichtigung des Ge-

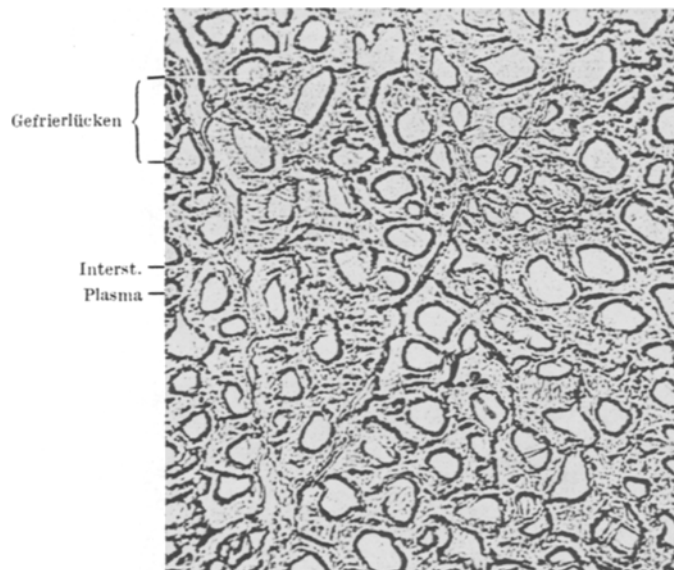


Abb. 4. Phase III. Tierischer Muskel, frisch in physiol. Kochsalzlösung.

sagten den Unterschied zwischen schnell und langsam eingefrorener Muskulatur oft schon makroskopisch wahrnehmen, wie das aus dem Vergleich der Querschnitte durch zwei auf verschiedene Weise eingefrorene Fischkörper deutlich sichtbar ist.

So zeigt Abb. 7 Querschnitte durch die Muskulatur zweier gefrorener Fischkörper, von denen der erste (*a*) in einer Kältemischung bei -21°C schnell, der zweite (*b*) in Luft bei -15°C langsam eingefroren war.

Bei *a* sind die histologischen Veränderungen so fein, daß sie mit unbewaffnetem Auge nicht erkennbar sind, während sich bei *b* bereits die feinen Eiskristalle durch die Lichtbrechung bemerkbar gemacht haben. Die Abbildung ist in verkleinertem Maßstabe wiedergegeben.

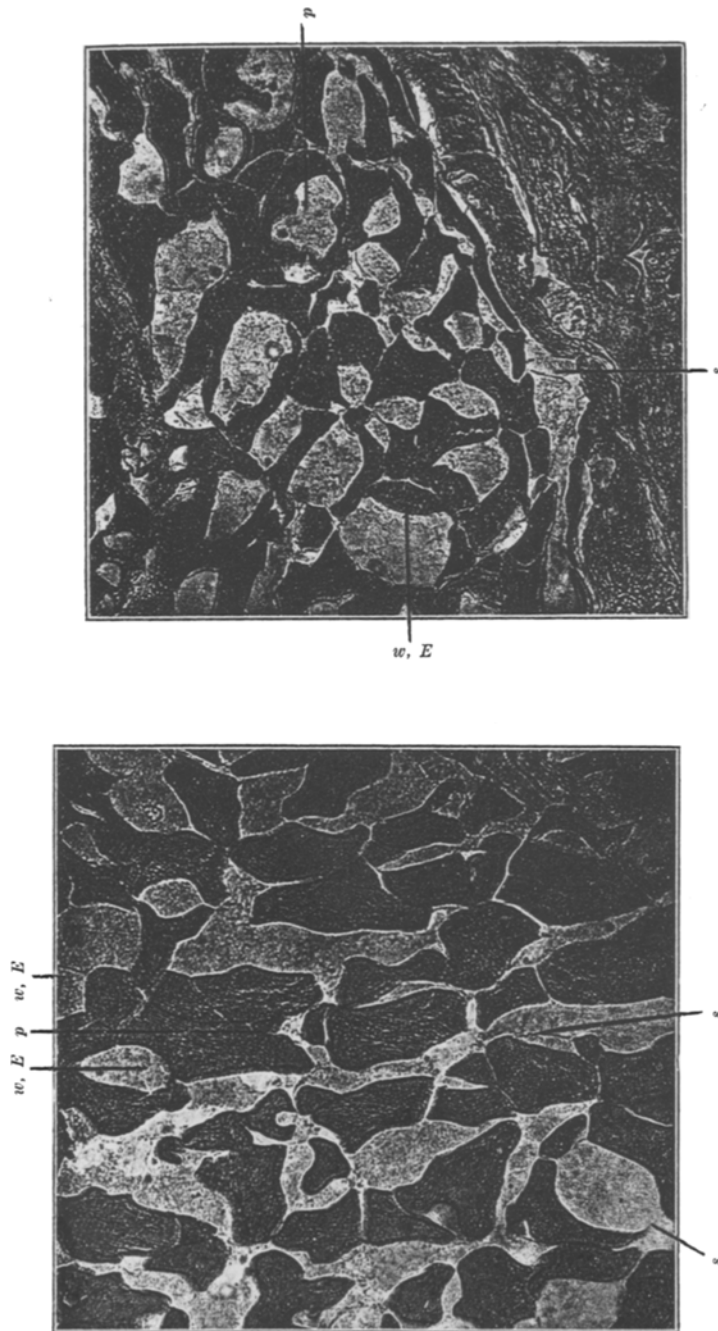


Abb. 5 und Abb. 6, Phase IV u. V zeigen die bei weit-erer Verlangsamung des Gefriervorganges eintretende Sprengung der Sarkolemm-schläuche auf Schnitten durch in Salzlösung eingefrorene Muskulatur. *s* = Sarkolemm; *w*, *E* = Wasser- resp. Eisabscheidung; *p* = Plasma; *w*, *E* = Wasser- resp. Eisabscheidung.

Alle diese einzelnen, in Abb. 2—6 und 13 wiedergegebenen Phasen histologischer Gefrierstrukturen zeigen sich an der quergestreiften Muskulatur der Wirbeltiere wie des Menschen in prinzipiell ganz gleicher Weise, wenn man die Kälte mit verschiedener Intensität auf sie einwirken läßt, oder besser gesagt, wenn man die Abkühlungs- und Gefriergeschwindigkeit entsprechend variiert.

An anderen Gewebsarten sind die Gefrierstrukturen noch nicht so eingehend untersucht. Es wäre sehr dankenswert, wenn sich jemand der Aufgabe unterziehen würde, auch hier die entsprechenden histologischen Gefrierstrukturen aufzudecken. Ich halte es nicht für ausgeschlossen, daß vergleichende Studien dabei manche interessante Gesichtspunkte zutage fördern würden.

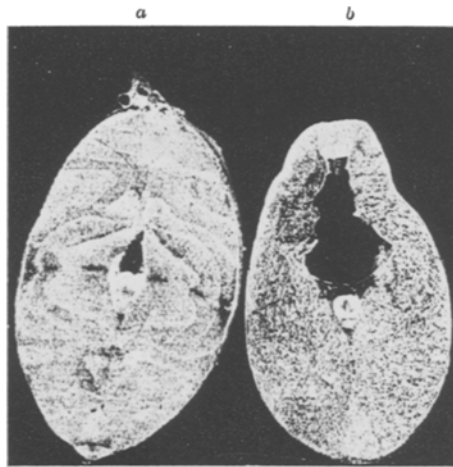


Abb. 7. (Vergl. Text Seite 339).

Immerhin gestatten die beim Studium der Gefrierhistologie des Muskels gewonnenen Ergebnisse schon eine allgemeinere Zusammenfassung der bestehenden Gesetzmäßigkeiten, die sich etwa in folgender Weise formulieren lassen:

Beim Einfrieren frischer protoplasmatischer tierischer (vermutlich auch pflanzlicher) Gewebe spielen sich bei gleichmäßiger Abkühlung die physikalisch-chemischen, in festem Abhängigkeitsverhältnis zur Gefriergeschwindigkeit stehenden Dissoziationsvorgänge (Ionenwanderungen und kolloidale Trennungerscheinungen) von vornherein isoliert im Inneren einer jeden Körperzelle ab und liefern gegebenenfalls den Dimensionen der letzteren angepasste, feine gewebliche Strukturveränderungen. Der Zellorganismus, als somit noch aktiv morphologisch bestimmender Faktor, kann bei zunehmender Verlangsamung des Ab-

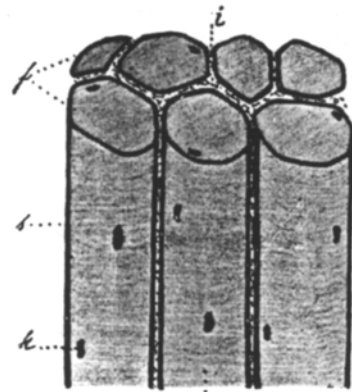


Abb. 8.

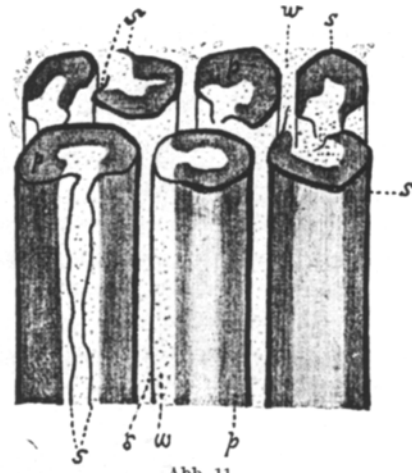


Abb. 11.

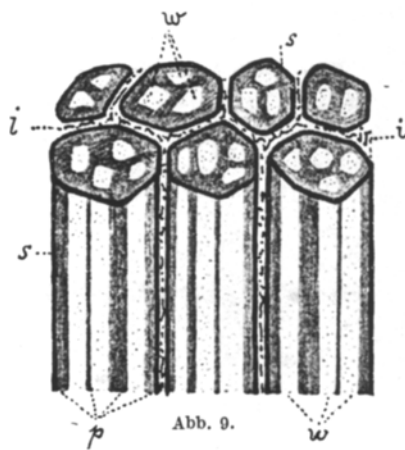


Abb. 9.

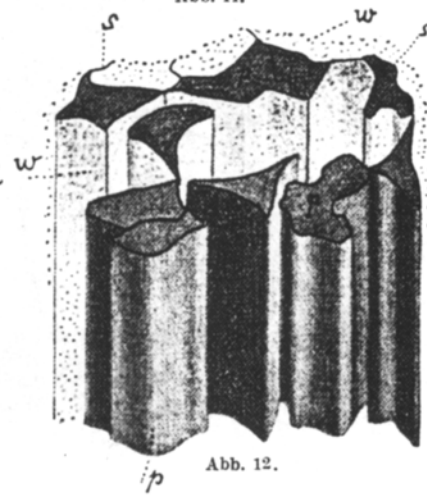


Abb. 12.

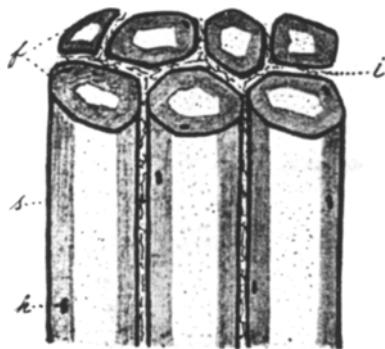


Abb. 10.

Abb. 8—12.

Schematische Darstellung der histologischen Veränderungen am Muskelgewebe bei zunehmender Gefrierungsverlangsamung (entsprechend den in Abb. 2—6 wiedergegebenen Mikrophotogrammen) f = Muskelfasern; s = Sarkoleum; p = Plasma; w = ausgeschiedene Flüssigkeit; i = interstitielles Gewebe.

kühlungsprozesses und bei Gegenwart überwiegender Flüssigkeitsmengen unter Sprengung der Zellgrenzen so vollständig ausgeschaltet und beiseite gedrängt werden, daß er morphologisch nur noch die Rolle eines passiven Fremdkörpers innerhalb der zusammenhängend abgetrennten Gewebsflüssigkeit spielt, die darauf als Ganzes den Krystallisationsgesetzen unterliegt. Die Grenze der Gefrierverlangsamung, bis zu welcher die Körperzelle das histologische Bild beherrscht, ist bei ver-

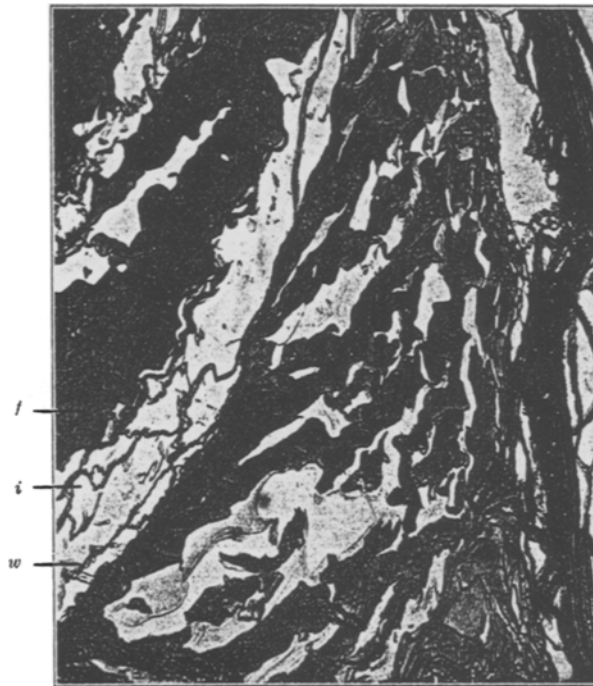


Abb. 13. Schnitt durch langsam an der Luft gefrorene Muskulatur. Zerstörung des Perimysiums und Abhebung der Fascie durch die ausgeschiedenen Eiskristalle. *f*=zusammengedrückte Muskelfasern; *i*=Perimysium; *w*=eishaltige Hohlräume.

schiedenen Geweben naturgemäß verschieden, aber beeinflusst durch den jeweiligen Wassergehalt, die Zellgröße und die Dehnbarkeit der Zellmembran.

Haben wir also die Sektion gefrorener Leichen vorzunehmen, so werden wir an der Skelettmuskulatur histologische Veränderungen zu erwarten haben, die den Endphasen der gezeigten Entwicklungsreihe entsprechen. Dieselben treten beim Einfrieren an der Luft gewöhnlich unter der Einwirkung von Temperaturen von $-15-20^{\circ}\text{C}$ auf.

An frischen Leichen, die in unseren Kühlzellen bei diesen Kältegraden eingefroren waren, konnte ich stets die entsprechende Muskelverän-

derungen feststellen. Am deutlichsten fanden sie sich in den oberflächlichen Schichten der Extremitätenmuskulatur, insbesondere an den peripheren Teilen.

Nach dem Auftauen verschwinden diese Gefrierstrukturen nicht, sie sind also irreversibel und können höchstens durch Pressung und Zerrung, sowie im Bereiche der Hypostase durch Senkungerscheinungen, undeutlich gemacht werden. Zu ihrem Nachweis eignen sich die in der Histologie üblichen Konservierungsmethoden.

Wenn wir solche Befunde an gefrorenen Leichen vorsichtig verwerten wollen, so dürfen wir aus ihnen ganz allgemein nur auf eine sehr intensive Kältewirkung schließen. Für die Frage nach der Todesursache haben sie natürlich nur eine mittelbare Bedeutung.

Sehr wichtig wäre ferner für den Gerichtsarzt zu wissen, ob und in welcher Weise die eingetretene Fäulnis die gefrierhistologischen Bilder beeinflusst. Auch für Studien in dieser Richtung würde sich ein dankbares Arbeitsfeld ergeben, weil darüber noch gar nichts bekannt ist.

Einander widersprechend sind ferner in der Literatur die Angaben darüber, ob an wiederaufgetauten Leichen die Totenstarre erhalten bleibt oder nicht. Durch gefrierhistologische Untersuchungen wird diese Frage vielleicht aufgeklärt werden können.

Ogleich ich selbst über einschlägige Beobachtungen noch nicht verfüge, so muß ich doch die Möglichkeit zugeben, daß bei sehr schnellem Einfrieren, bei dem ja die histologische Schädigung am geringsten ausfällt, die Totenstarre erhalten bleiben kann. Ist es dagegen bei langsamem Einfrieren zu einer erheblichen Verdrängung der Fasern und zu einer Sprengung der Sarkolemmschläuche gekommen, so verlieren natürlich die kontraktilen Fibrillen ihren Halt und die Starre würde dann mechanisch nicht mehr zum Ausdruck kommen können. (Vgl. Fig. 13.)

Wenn diese Schlußfolgerungen also richtig wären, so würde man das Erhaltensein der Totenstarre an wiederaufgetauten Leichen verwerten können im Sinne einer Wirkung sehr intensiver Kälte vor oder innerhalb der Starreperiode.

Jedenfalls haben zahlreiche physiologische Versuche schon seit längerer Zeit die Erkenntnis gezeitigt, daß das Gefrieren der Gewebe an sich durchaus nicht immer den Gewebstod im Gefolge hat. Das gilt nicht nur für den Kaltblüter, sondern auch für den Warmblüterorganismus. Aber die Rolle, welche die Abkühlungsgeschwindigkeit in Hinsicht auf die Wiederbelebarkeit gefrorener Organismen, die Anabiose, spielt, ist noch völlig unerforscht.

Ich halte es nicht für ausgeschlossen, daß, wenn die experimentelle Biologie gerade auf diesen Punkt in Zukunft ihre besondere Aufmerk-

samkeit richtet, wir imstande sein würden, den geheimnisvollen Schleier zu lüften, welcher gegenwärtig noch die letzte Ursache des Erfrierungstodes verdunkelt. Auch die gerichtliche Medizin würde an der Erforschung solcher Probleme nicht geringes Interesse haben.

Literatur.

- ¹⁾ *Casper-Liman*, Handbuch II. 1889. — ²⁾ *Krajewski*, Ref. in Henkes Zeitschr. **81**. 1861. — ³⁾ *Froriep, A.*, Anatom. Anz. **19**. 1901. — ⁴⁾ *Plank, Ehrenbaum, Reuter*, Die Konservierung von Fischen durch das Gefrierverfahren. Abhandl. zur Volksernährung. Verl. d. Zentral-Einkaufsges. Berlin W. 8. 1915. — ⁵⁾ *Reuter*, Über die Verwendung der Kälte in der anatomischen Technik. Zeitschr. f. angewandte Anatomie und Konstitutionslehre Bd. II, Heft 4—6 (Festschrift f. Emil Gasser). 1918. — ⁶⁾ *Lochte*, Gerichtsärztliche u. polizeiärztliche Technik. Wiesbaden. Bergmann. 1914. — ⁷⁾ *Richter*, Gerichtsärztliche Diagnostik und Technik. 1905.
-