erhöht an den Extremitäten der operierten Seite, dem entsprechend, was Dr. Russel beobachtet hatte. So stehen denn auch in dieser Frage der Spinalreflexe meine Beobachtungen im Gegensatz zu denen Ferrier's und stimmen zum Teil zu den Beobachtungen Russel's. Ich wage aber nicht mich definitiv darüber auszusprechen, bevor ich nicht eine größere Reihe methodischer Untersuchungen in dieser Hinsicht ausgeführt habe.

Indess frage ich: Was hat denn diese Frage der Sehnenreflexe mit der neuro-muskulären Atonie zu thun, die nach Kleinhirnverstümmelungen eintritt? Ferrier's Behauptung, die gebräuchliche Methode den Muskeltonus zu erforschen bestehe darin, dass man nachsieht, wie die Patellarsehne auf mechanische Schläge reagiert, ist wenigstens seltsam. Niemals hat ein Physiologe erklärt, dass der Muskeltonus in irgend einer Beziehung zu den Reflexen stehe, die durch mechanische Reizung der Sehnen hervorgerufen werden. Ich begreife nicht, warum ein gewisser Grad von Atonie der Muskeln den Sehnenreflex schwächen oder beseitigen soll; es scheint mir im Gegenteil, sie müsse ihn steigern, wenn nicht intensiv, so doch extensiv. Es ist Thatsache, dass die Steigerung des Knie-Phänomens oder Patellarreflexes von den Klinikern gewöhnlich bei Hemiplegie nach Cerebralapoplexie, auch unabhängig von der Kontraktur des paralytischen Gliedes, beobachtet wird. Da Ferrier andererseits behauptet hat, er habe bei seinen enthirnten Affen beobachtet, dass die Patellarreflexe nach einigen Monaten sich offenbar steigern, so wäre es logisch gewesen daraus zu schließen, dass die Sehnenreflexe entweder in keiner Beziehung zu dem Höhegrad des Muskeltonus stehen, oder dass der Mangel des Kleinhirns anstatt Atonie, wie ich behaupte, vielmehr Hypertonie, Steigerung des Muskeltonus, bewirke.

(Schluss folgt.)

Kann ein zu einem Eisklumpen gefrorenes Tier wieder lebendig werden?

Von Prof. Dr. **W. Kochs.**

Ob und inwieweit das Wasser tierischer Gewebe gefrieren kann, ohne dass diese, beziehungsweise das ganze Tier, absterben, ist trotz vielfacher Beobachtungen und Erörterungen noch immer nicht sicher entschieden. Für die Wiederbelebung ganz oder teilweise erfrorener Menschen und Tiere ist eine genaue Kenntnis der bei starker Abkühlung in den Geweben stattfindenden Vorgänge von großer praktischer Bedeutung, weil nur hierdurch die einzig richtigen Maßnahmen zur Wiederbelebung erkannt werden können. Es dürfte auch lehrreich sein, schließlich zu erfahren, welche physikalischen Gesetze speziell

beim Hartfrieren eines lebenden Gewebes zur Geltung kommen und wie die vielfach sich widersprechenden Beobachtungen zu erklären sind.

In früheren Arbeiten[1]) habe ich durch Versuche und Erläuterung der betreffenden physikalischen Vorgänge dargethan, dass Tiere, bei denen durch Abkühlung alles in ihrer Leibessubstanz enthaltene Wasser auskrystallisiert ist, niemals mehr lebendig werden können.

Völliges Ausfrieren des Wassers aus den Körpergeweben bedeutet völlige Eintrocknung, Abscheidung sämtlicher gelöster und locker chemisch gebundener Gase, sowie Auskrystallisieren der Salze. Hierdurch wird aber notwendig die Struktur des Protoplasmas sowie sein chemisches und physikalisches Gefüge zerstört.

Der Tod erfolgt durch diese Trennung der Bestandteile der lebendigen Substanz und nicht durch die große Abkühlung. Es ist mir mehrfach gelungen, Wasser, in dem sich einige Blutegel befanden, auf — 4,5° abzukühlen, ohne dass Eisbildung erfolgte. Die Tiere blieben alsdann lebendig. Nur wenn Krystallisation des Wassers um die Tiere herum eintrat, und sich in ihre wasserreichen Gewebe fortsetzte, starben die Tiere.

Nun wird aber von ausgezeichneten Beobachtern berichtet, dass zu einem festen Eisklumpen gefrorene Tiere beim Auftauen wieder lebendig geworden wären. So sagt Pflüger[2]): „Eine große Zahl von Thatsachen beweist, dass alle Lebensprozesse in den Organen der Tiere und Pflanzen durch Abkühlung an Energie abnehmen und bei hinreichend niedriger Temperatur zum Stillstande kommen. Das gilt selbst dann, wenn ein Tier zu einem festen Eisklumpen gefroren ist“.

Zahlreiche Versuche, welche ich gelegentlich immer wieder anstellte, überzeugten mich, dass die Möglichkeit des Wiederlebendigwerdens eines zu einem Eisklumpen gefrorenen Frosches nicht mehr bestreitbar ist. Für das Gelingen des Experimentes schreiben manche Beobachter langsames Abkühlen und langsames Auftauen vor. Trotz aller Vorsichtsmaßregeln scheint der Versuch übrigens sehr selten gut gelungen zu sein.

Wie ist aber diese Thatsache mit den oben ausgesprochenen zweifellos richtigen Sätzen über die Vorgänge beim Einfrieren eines Tieres zu vereinigen?

---

1) W. Kochs, Kann die Kontinuität der Lebensvorgänge zeitweilig völlig unterbrochen werden? Biol. Centralblatt, 1890, X, Nr. 22.

Derselbe, Ueber die Ursachen der Schädigung der Fischbestände im strengen Winter. Biol. Centralblatt, 1891, XI, Nr. 15 u. 16.

Derselbe, Ueber die Vorgänge beim Einfrieren und Austrocknen von Tieren und Pflanzensamen. Biol. Centralblatt, 1892, XII, Nr. 11 u. 12.

2) C. F. W. Pflüger, Die allgemeinen Lebenserscheinungen. Bonn 1889. Seite 24.

Unerwartet habe ich jetzt bei Versuchen über Krystallbildung in wässerigen Lösungen die Aufklärung gefunden.

Wenn man eine konzentrierte Kochsalzlösung auf — 10° abkühlt, wird man weder bemerkenswerte Ausscheidung von Kochsalz noch Eisbildung bemerken. Wenn man aber eine bei Stubentemperatur gesättigte Kupfersulfat- oder Magnesiasulfatlösung auf — 10° abkühlt, bilden sich je nach der Schnelligkeit der Abkühlung einige mehr oder minder große Krystalle, die ganze Masse erstarrt aber zu hellblauem oder grauem trüben Eise. Eine genauere Betrachtung zeigt, dass dieses Eis sehr schön strahlig gewachsen ist und sich von gefrorenem reinen Wasser auf den ersten Blick unterscheidet. Dreht man das Gefäß um so läuft keine Flüssigkelt aus, erst wenn man den blauen oder den grauen Eisklumpen verletzt, läuft in der Kälte alsbald konzentrierte Kupfersulfat- bezw. Magnesiasulfatlösung langsam aus und man behält ein schwammähnliches Gerippe von reinen weißen Eisnadeln, welche nach sorgfältigem Abtropfen der Salzlösungen in der Kälte beim Auftauen reines Wasser ergeben. Für gewöhnlich sehen wir aus einer gesättigten Salzlösung, bei Abkühlung, Krystalle des betreffenden Salzes sich abscheiden oder ausfrieren. Dann kommt bei weiterer Abkühlung ein Punkt, wo das Salz aufhört auszukrystallisieren und nun der größte Teil des Wassers sich krystallinisch abscheidet. Eine konzentrierte Kochsalzlösung und eine konzentrierte Kupfersulfatlösung verhalten sich beim Ausfrieren bei mäßiger Kälte bis — 15° grundverschieden. Aus der Kupfersulfatlösung friert der größte Teil des Wassers aus, so dass alles eine feste Masse wird, aus der Kochsalzlösung friert kein Eis aus, sie bleibt ganz flüssig.

Folgender leicht anzustellende Versuch zeigt die inbetracht kommenden Verhältnisse deutlich und übersichtlich. Man füllt ein größeres Reagenzglas etwa $^1/_3$ mit konzentrierter Kochsalzlösung und schichtet darüber destilliertes Wasser, so dass möglichst geringe Vermischung eintritt. Schon bei einer Temperatur von — 5° sieht man in den obersten Schichten sehr bald Eiskrystalle, welche in langen Spießen in die Tiefe vordringen. Aber selbst bei — 15° wird eine gewisse Grenze nicht überschritten. Die unteren konzentrierten Schichten bleiben ganz eisfrei, selbst bei — 20°, wie ich mich mehrfach überzeugen konnte. Von der geschichteten Kochsalzlösung kann man das Eis abheben und abtropfen lassen. Beim Auftauen dieses Eises erhält man süßes Wasser. Das Ausfrieren des Wassers findet aus Lösungen fast aller anderen Salze viel leichter statt wie aus Kochsalz oder gar Chlorcalciumlösungen.

Aus Eiweißlösungen, wie sie sich bei lebenden Wesen finden, friert das Wasser ebenfalls sehr schwer und nur bei hohen Kältegraden aus. Den Inhalt eines Hühnereies habe ich, ohne den Dotter zu zerreißen, in einem Becherglase mit destilliertem Wasser überschichtet, 3 Stunden

einer Temperatur von — 10° ausgesetzt. Das Wasser war schnell von den Wänden aus strahlig gefroren. Die ausgeschiedene Luft war in nach dem Inneren zeigenden röhrenförmigen Räumen im Eise sichtbar. Das Eiweiß befand sich, wie die flottierenden Chalazen zeigten, völlig flüssig, in einem paraboliden Raume scharf abgegrenzt, ganz von durchsichtigem Eise umschlossen. Nach 10 Stunden bei schließlich — 16° war das ganze Ei eine solide von klarem Eise umschlossene Masse. Mit einem starken Messer spaltete ich den Klumpen durch und nun zeigte sich, dass der Eidotter und das Eiweiß leicht schneidbar waren, während das umgebende reine Eis höchstens spaltbar war. Schon die Betrachtung mit der Lupe ergab, dass zwischen dem Gewirre kleiner Eisnadeln sowohl Eiweiß wie Eigelb als zähe Flüssigkeit vorhanden waren. Nur eine sehr stark mit Wasser versetzte Eiweißlösung friert steinhart, weil die Masse des Eises eben überwiegt.

Aus dem Angeführten ergibt sich zunächst als allgemein giltig, dass je wasserreicher die Gewebe eines Tieres oder einer Pflanze sind um so leichter Eisbildung im Inneren derselben bezw. Hartfrieren eintritt. Ein sehr wasserreiches Tier kann zu einem steinharten Klumpen gefrieren ohne, dass seinen Geweben soviel Wasser entzogen wird, dass die oben beschriebene tötliche Zersetzung eintreten muss. Wenn man ein solches steinhart gefrorenes Tier zerschneidet, sieht man makroskopisch und noch deutlicher mikroskopisch zwischen den die Gewebe durchsetzenden Eisnadeln träge bewegliche Flüssigkeit. Ob ein solches Tier nach dem Auftauen noch weiter leben kann, hängt offenbar davon ab, wie langsam das Auftauen stattfindet und eine wie große Menge des im Tierkörper enthaltenen Wassers zu Eis geworden war.

An dünnen Schnitten durch die Gewebe sieht man unter dem Mikroskop beim Auftauen die Eisnadeln sich in Tröpfchen destillierten Wassers verwandeln. Zwischen diesen und der konzentrierten Eiweißlösung des Blutes und des Gewebesaftes entstehen sofort heftige Diffusionsströme, welche solche Zerstörungen der feineren Strukturen bewirken, dass eine Lebensthätigkeit nicht mehr stattfinden kann. Wegen dieses heftigen bei Berührung mit tierischen und pflanzlichen Geweben bewirkten Diffusionsstromes wirkt destilliertes Wasser auf lebende Gewebe in kurzer Zeit tötlich. Wie viel mehr muss dieses in unserem Falle statthaben, wo das Gewebe mit Eiskrystallen durchsetzt ist, welche ziemlich gleichzeitig zu unzähligen Tröpfchen reinen Wassers werden und aller Orten ihre zerstörende Thätigkeit gleichzeitig beginnen.

Auftauen erfrorener Tiere und Pflanzen sowie erfrorener Glieder bei Menschen hat daher so langsam, wie nur irgend möglich, zu geschehen. Hat das Erfrieren bei — 5° z. B. stattgefunden, so kann ein Aufenthalt bei — 2° den Zustand nicht mehr verschlimmern, im

Gegenteil, es werden schon Auftauungen einzelner Eiskrystalle beginnen, wie weiter unten noch näher begründet wird. Auch nur sehr allmählich darf die Umgebungstemperatur auf 0° gebracht werden, weil sonst schnelles sicher tötliches Auftauen aller Eiskrystalle stattfindet.

Die alte Regel, erfrorene Glieder in Schnee einzupacken und den Erfrorenen nicht sogleich in einen geheizten Raum zu bringen ist also durchaus richtig und ohne ihre Befolgung eine Rettung nur in seltensten Fällen bei geringen Erfrierungsgraden möglich. Aus dem gleichen Grunde werden die Pflanzen oft weniger durch den starken Frost als die unmittelbar hernach wirkenden Sonnenstrahlen zerstört. Sehr trockene pflanzliche Gewebe werden erst bei größerer Kälte Eis in den Geweben bilden, während im Frühjahre, wenn der Saft bereits zu steigen begonnen hat, ein gelinder Frost bereits große Zerstörungen anrichten kann.

Betrachten wir nun die bei den beschriebenen Versuchen obwaltenden Verhältnisse in rein physikalisch-chemischer Hinsicht.

Wenn aus einem flüssigen Gemische eine Substanz in festem Zustande ausscheidet, so wird allgemein sich die Zusammensetzung ändern und zwar muss diese Aenderung immer in dem Sinne erfolgen, dass der Erstarrungspunkt der zurückbleibenden Flüssigkeit sinkt[1]). Dieser Satz bildet ein Analogon zu dem, dass der Siedepunkt eines Gemisches während der Destillation steigt. Die Beschaffenheit des ausfrierenden festen Teiles ist hierfür ohne Belang. Durch fortgesetztes Ausfrieren einer oder mehrerer Substanzen aus einem flüssigen Gemisch erhält man schließlich eine Flüssigkeit von niedrigstem Gefrierpunkte. Diese Flüssigkeit erstarrt dann ganz bei konstant bleibender Temperatur. Besteht ein flüssiges Gemisch nur aus 2 Stoffen, wovon einer fest ausfällt, so liegt der Gefrierpunkt der flüssigen Mischung stets niedriger als derjenige der flüssigen Komponente. Der Gefrierpunkt jeder wässerigen Lösung liegt daher tiefer als der des reinen Wassers.

Beim Ausfrieren des Wassers aus tierischen Geweben findet vor allem eine Konzentration des Eiweißgehaltes der Gewebesäfte statt. Kann hierdurch der Gefrierpunkt wesentlich sinken? Kolloidale Lösungen haben im Einklang mit der außerordentlichen Kleinheit des bei ihnen beobachteten osmotischen Druckes einen von dem des reinen Wassers nur sehr wenig verschiedenen Gefrier- und Siedepunkt. So gibt Sabanejew und Alexandrow[3]) folgende mit Eieralbumin erhaltene Zahlen:

---

1) W. Nerust, Theoretische Chemie. Stuttgart 1893. S. 110.
2) W. Nernst, l. c. S. 327.
3) Zeitschrift f. physik. Chemie, A. 88 (1892).

Menge des Eiweiß in 100 g Wasser	Gefrierpunkterniedrigung
14,5	0,020
26,1	0,037
44,5	0,060.

Der Eiweißgehalt der Körpersäfte ist demnach kaum im Stande eine wesentliche Gefrierpunktserniedrigung herbeizuführen.

Der Salzgehalt des menschlichen Blutes ist 0,85 %, vornehmlich Kochsalz und Natriumkarbonat. Kochsalz ist 4,92 per Mille im Menschenblutserum enthalten, also fast 0,5 %. Ueber den Salzgehalt des Froschblutes habe ich keine Angabe finden können. Bekannt ist, dass Meerwasser, welches rund 3 % Salze enthält, wovon 2,5 % Kochsalz, erst bei — 3° anfängt zu frieren. Hierbei ist jedoch zu bedenken, dass durch das Ausfrieren süßen Eises die Konzentration des darunter befindlichen Meerwassers nicht merklich größer wird infolge der großen Masse. Bildet sich aber in Körperflüssigkeiten Eis, steigt die Konzentration der Salzlösung gleich erheblich und mit ihr sinkt der Gefrierpunkt so, dass bald die weitere Eisbildung aufhört. Trotz eingehender Studien speziell von Rüdorff (1861) und Coppet (1871) haben sich keine einfachen allgemein giltigen Gesetzmäßigkeiten für die Gefrierpunktserniedrigung, welche Wasser durch Auflösen von Salzen erfährt, ergeben, weil durch die elektrolytische Dissoziation der Salze in wässeriger Lösung komplizierte Verhältnisse geschaffen werden. Raoult hat dann dieselben Studien mit Körpern der organischen Chemie gemacht und folgenden merkwürdigen Satz erweisen können: Löst man in einem beliebigen Lösungsmittel äquimolekulare Mengen beliebiger Substanzen auf, so wird der Gefrierpunkt um gleich viel erniedrigt.

Physikalisch-chemische Ursachen sind es also, welche das Auskrystallisieren des Wassers im tierischen Körper bei mäßigen Kältegraden längere Zeit verhindern, und wenn dieses doch eingetreten, bald eine Grenze setzen, die nur durch sehr viel größere Kältegrade weiter verschoben werden kann.

Für die Erhaltung des Lebens ist offenbar das langsame Einfrieren weniger gefährlich als das plötzliche Auftauen. Mit Recht sollen daher erfrorene Glieder in einem kalten Raume durch Reiben mit Schnee aufgetaut werden, mit Recht schützen die Gärtner die Pflanzen mehr gegen die Strahlen der winterlichen Sonne als gegen die kalte Luft der Nächte.

Wenn nun nach obigen Auseinandersetzungen die Möglichkeit der Wiederbelebung eines zu einem Eisklumpen gefrorenen Tieres zweifellos ist, so dürfte sich dieses doch nur äußerst selten bei glücklichem Zusammentreffen aller Bedingungen und kurzer Dauer des gefrorenen Zustandes ereignen.

Bonn, 12. Februar 1895.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Biologisches Zentralblatt

Jahr/Year: 1895

Band/Volume: 15

Autor(en)/Author(s): Kochs W.

Artikel/Article: Kann ein zu einem Eisklumpen gefrorenes Tier wieder lebendig werden? 372-377