

Die Rolle von Wasser bei der Tieftemperatur-Konservierung

Bericht PRO SCIENTIA-Treffen vom 18.05.2021, Jakob Vorlauffer

Unter Konservierung beziehungsweise Fixierung biologischer Proben versteht man das Anhalten chemischer Reaktionen beziehungsweise von Bewegungen. In anderen Worten, die Struktur erstarrt in der Form, in der sie sich zur Zeitpunkt der Konservierung befindet. Fixierung ist etwa in der Mikroskopie weit verbreitet, da sich eine Probe während der Aufnahme nicht weiter als die gewünschte Auflösung bewegen sollte. (Ansonsten kommt es zu Bewegungsartefakten, die mit Sicherheit jeder Hobby-Fotograph kennt.) Darüber hinaus ist es nötig, Proben zu fixieren beziehungsweise konservieren, wenn biologische Zerfallsprozesse aufgehalten werden müssen, etwa bei der Obduktion von Leichen.

Im einfachsten Fall kann eine Probe durch Einklemmen fixiert werden, etwa das zu untersuchende Körperteil bei Magnetresonanz-Aufnahmen. Ist ein höherer Grad von Fixierung nötig, kommen oft Chemikalien zum Einsatz, die starre Bindungen mit der Probe eingehen, und sie so an ihrem Platz halten. Allerdings sind diese Chemikalien oft giftig und können Strukturen verändern oder zerstören. Die Variante, die Proben möglichst nahe am Ausgangszustand erhält, ist die Tieftemperatur-Konservierung. Bei tiefen Temperaturen (je nach Anwendung bis zu -200 °C) laufen chemische Reaktionen so langsam ab, dass sie für einen menschlich fassbaren Zeitraum als eingefroren betrachtet werden können. Dies machen sich in der Natur etwa Bärentierchen und bestimmte Froscharten zunutze, um im gefrorenen Zustand zu überwintern. Darüber hinaus werden etwa in der modernen Fortpflanzungsmedizin Ei- oder Samenzellen eingefroren und bei Bedarf wieder aufgetaut.

Was passiert aber beim Einfrieren biologischen Materials auf mikroskopischer Ebene? Biologische Systeme bestehen für gewöhnlich zu rund zwei Dritteln aus Wasser, in dem Biomoleküle entweder gelöst sind oder sich zu komplexeren Gebilden, den Organellen, zusammenfinden. Unter der Gefriertemperatur bilden sich ausgehend von sogenannten Kristallisationskeimen Eiskristalle, wie sie unter anderem von Schneeflocken bekannt sind. Das passiert zuerst in Zellzwischenräumen, weil die biologischen Zellen selbst einen gewissen Schutz vor der Kälte bieten. Bei der Ausbreitung verdrängen die wachsenden Eiskristalle gelöste Strukturen, was zu toxischen Schäden führen kann: Einerseits sind manche Biomoleküle in hohen Konzentrationen giftig, andererseits strömt Wasser aus den Zellen, um das entstandene Konzentrationsgefälle zu verringern („osmotischer Druck“). Des Weiterem benötigt Eis mehr Platz als die gleiche Menge Wasser. Somit üben die Eiskristalle in den Zellzwischenräumen eine mechanische Kraft auf die Zellen aus, analog zu einem gefrierenden Getränk, das eine Flasche in der Tiefkühltruhe zum Platzen bringt. Überspitzt formuliert sind

biologische Zellen nach einem konventionellen Gefrierprozess also vergiftet, dehydriert und zerquetscht.

Wegen der genannten potentiellen Schäden wird in der Tieftemperatur-Konservierung statt einfachem Einfrieren oft ein Verfahren namens Vitrifizierung verwendet. Vitrifizierung bedeutet wörtlich „Verglasung“. Die Idee hinter dem Konzept ist, dass Strukturen beim Einfrieren exakt in ihrem „natürlichen“ Zustand erhalten bleiben, und sich keine Eiskristalle bilden. Bei sehr kleinen Strukturen wie einzelnen Zellen kann das durch schnelles Eintauchen in bestimmte -200 °C kalte Flüssigkeiten erreicht werden. Etwas größere Proben, etwa Gewebe-Schichten, werden beim Hochdruck-Frieren unter so großen Druck gesetzt, dass sich keine Eiskristalle ausdehnen können. Diese Art der Vitrifizierung funktioniert allerdings nur für Proben mit einer Dicke von deutlich unter 1 mm. Um etwa ganze Organe oder Körper zu vitrifizieren, sind chemische Zusätze („Cryoprotectants“) notwendig. Diese sind allerdings in hohen Konzentrationen oft giftig. Deshalb ist es extrem schwierig, größere Strukturen so zu vitrifizieren, dass die biologische Funktionalität nicht beeinträchtigt wird. Die größte Probe, die erfolgreich vitrifiziert und transplantiert wurde und danach noch funktionstüchtig war, ist gegenwärtig eine Haseniere.

Von diesen enormen Herausforderungen lassen sich die Anhänger der Kryonik nicht abschrecken. Die Vision dieser Sinnesgemeinschaft ist, ganze menschliche Gehirne oder Körper nach dem Tod zu vitrifizieren, um sie in einem technisch fortgeschrittenen Zeitalter wieder aufzutauen. Mit neuen Möglichkeiten der Medizin und Technik sollen einerseits die Todesursache beziehungsweise etwaige Krankheiten geheilt werden, andererseits müssen aber auch die Schäden durch Einfrieren und Auftauen repariert werden. Um die Bildung von Eiskristallen zumindest einzuschränken, sind nämlich hohe Konzentrationen an Cryoprotectants notwendig; da für jeden Körperteil eine andere Prozedur ideal wäre, muss ein Kompromiss für den ganzen Körper gefunden werden. Verfechter der Kryonik wenden ein, dass nicht notwendigerweise der ganze Körper aufgetaut werden muss, um eine Person wiederzubeleben. Unter der Annahme, dass das Bewusstsein in den Nervenverbindungen in unserem Gehirn gespeichert ist, würde es ausreichen, diese Verbindungen zu rekonstruieren. Aufgrund der enormen Komplexität des menschlichen Gehirns ist allerdings auch dieses Unternehmen extrem schwierig. Gegenwärtig ist es möglich, rund 0.0000001 % (ein Milliardstel) der menschlichen Nervenverbindungen zu rekonstruieren.

Für Kryonik-Patienten zieht der Prozess hohe Kosten von bis zu 200000 € sowie ein hohes Risiko nach sich. Manche Annahmen der Anhänger der Kryonik hochspekulativ und keineswegs wissenschaftlich fundiert. Abgesehen von wissenschaftlichen Bedenken besteht die Gefahr, dass während der Lagerung Zwischenfälle auftreten können, etwa durch technische Probleme, Umweltkatastrophen oder den Konkurs von Kryonik-Anbietern. Trotzdem haben sich bis dato rund 400 Menschen dafür entschieden, ihre Körper einfrieren zu lassen, und mehr als 1500 lebende Personen sind dafür angemeldet. Der Großteil der Kryonik-Patienten befindet sich zurzeit in den USA, aber auch in Europa fielen in den letzten Jahren einige Gerichtsurteile zugunsten von Kryonik-Anwärtern aus, oft mit dem Hinweis auf das Recht auf Selbstbestimmung über den eigenen Körper über den Tod hinaus. Der Philosoph

David Shaw sieht in der Kryonik eine Analogie zur Pascalschen Wette der Theologie: Selbst wenn die Chance auf eine erfolgreiche Wiederbelebung nach dem Einfrieren verschwindend gering sein sollte, sei der potentielle Gewinn – ein um vieles verlängertes Leben – so hoch, dass es sich lohne, diese Wette einzugehen. Ob diese Aussicht alle Kosten und Risiken wert ist, muss jedeR für sich entscheiden. Unabhängig davon wird es aber unheimlich faszinierend sein, den Fortschritt von Wissenschaft und Technologie noch zu unseren eigenen Lebzeiten zu verfolgen.