

Einfach märchenhaft: Biophysik der Zelle

In der Vorlesung Biophysik der Zelle werden funktionelle und strukturelle Eigenschaften von Zellen erläutert und Methoden vorgestellt, mit denen diese untersucht werden können. Als geübter Internet-Surfer haben Sie vielleicht eine Minute benötigt, um diese Seite zu öffnen und schon müssen Sie eine schlechte Nachricht lesen. In dieser Zeit haben Sie nämlich

144 Millionen rote Blutkörperchen

verloren, ganz zu schweigen von den vielen anderen Zellen, die während dieser Zeit in Ihrem Körper abgestorben sind. Es besteht aber kein Grund zur Panik, denn genauso viele sind auch wieder dazugekommen, wenn man von den Nervenzellen absieht. Niemand ist nach dieser Vorlesung mehr derselbe, und zwar nicht nur in Bezug auf rote Blutkörperchen, sondern auch auf viele andere Zellen, ganz zu schweigen von geistigen Erfahrungen und Erinnerungen, die uns verändern. Diesen Sachverhalt hat vor etwa 2500 Jahren schon Heraklit mit seinem Ausspruch *"alles fließt, nichts besteht"* beschrieben und kein Mensch hat sich darüber zu Tode geängstigt. *"Nicht einmal in denselben Strom tauchen wir ein zweites Mal hinab: es sind dann nicht mehr die gleichen Wasser und auch wir sind nicht mehr dieselben, die wir einst waren"*. Heraklit hat seinen Ausspruch sicherlich nicht mit Studien der roten Blutkörperchen begründet, aber richtige Erkenntnisse kann man ja auf vielerlei Wegen erzielen.

Ein Mensch besteht aus etwa 100 Billionen Zellen und glücklicherweise ist das Ganze mehr als die Summe seiner Teile, sonst wären wir nur ein Zellhaufen. So komplexes Zubehör wie Geist und Seele wird aber aus dieser Vorlesung ausgeklammert. Von den 100×10^{12} Zellen sterben in einer Stunde mehrere Milliarden ab und werden durch neue ersetzt. Diese Zahl scheint sehr hoch zu sein, wenn man sie aber in Bezug zur Gesamtzahl sieht, dann wird klar, dass pro 1000 Zellen weniger als eine pro Stunde ersetzt wird und damit verliert die Zahl auch einiges von ihrem Schrecken. Dass diese ständige Produktion von Zellen mit so wenig Ausschuss gelingt, ist eine der Voraussetzungen für die Aufrechterhaltung unseres eigenen Lebens. Dass es aber immer "fehlerhafte" Reproduktionen - die Mutationen - von Zellen gegeben hat, ist andererseits aber Grundvoraussetzung für die Vielfalt der Arten, die wir heute auf unserer Welt antreffen. Mehr als 200 Zelltypen können wir im Menschen unterscheiden, und leider treten immer wieder fehlerhafte Reproduktionen - Krebszellen auf.

Betrachten wir zwei Zellen, mit denen unser Leben begann: Ei- und Samenzelle. Wenn beide sich finden, wird eine Folge von Ereignissen gestartet, die das Inhaltsverzeichnis der Vorlesung "Biophysik der Zelle" liefert. Eine Eizelle ist eine besondere Zelle, sie hebt sich schon durch ihre Größe von den anderen Zellen ab, erreicht beim Menschen etwa $150 \mu\text{m}$

Durchmesser und ist damit fast zehnmal so groß wie ein Lymphozyt und hundertmal dicker als eine Samenzelle. Sie reift über einen langen Zeitraum heran und kann nur während eines kurzen Zeitraums befruchtet werden. Eine Eizelle ist wie Dornröschen: für lange Zeit inaktiviert und unnahbar, reift sie zu voller Blüte heran. Die Dornenhecke wird zur durchlässigen Blumenhecke und wird attraktiv für viele Prinzen (Samenzellen = Spermien). Die junge Künstlerin Cora Fischer hat dies in ihrer Vorlesungsausarbeitung so dargestellt:



Abb. 1 Die Ankunft der Prinzen (© 1995 Cora Fischer)

Sobald das erste Spermium mit der Eizelle in Kontakt kommt und an den richtigen Rezeptor koppelt, kehrt sich ihr Membranpotential von negativen zu positiven Werten um, wodurch allen anderen Spermien eine weitere Annäherung verwehrt ist. Dazu müssen Membrankanäle aktiviert werden und der Fluss von Ionen, wie Kalium, Natrium, Kalzium und Protonen kann beginnen, was dazu führt, dass die Membranen der Eizelle und die des Spermiums miteinander fusionieren. Cora Fischer hat dafür wieder eine eigene Interpretation.



Abb. 2 Dornröschen und der glückliche Prinz (© 1995 Cora Fischer)

Bei einem beliebten Untersuchungsobjekt — den Seeigel-Eiern — lässt sich dieser Vorgang mit eingestochenen Glas-Mikroelektroden verfolgen.

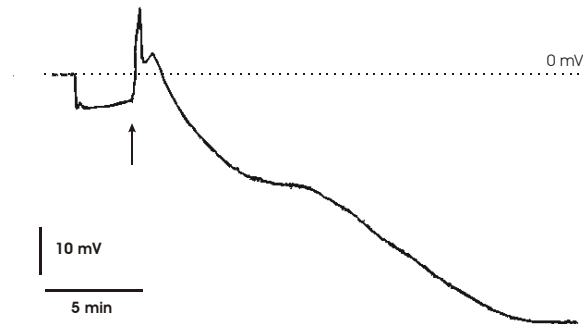


Abb. 3 Umkehr des Membranpotentials nach Befruchtung. Ei vom Seeigel *Lytechinus variegatus*. Der Pfeil markiert die Zugabe der Spermien. (© 1982 D. Hülser)

Dieses Befruchtungspotential ist ein Schutz gegen Polyspermie, welche zu einer genetischen Katastrophe im Ei führen würde. Langfristig schützt sich das Ei durch Ausbildung einer extrazellulären Hülle, die einen mechanischen Schutz gegen Polyspermie bildet und die Entwicklung des Embryos unbeeinflusst von Umwelteinflüssen ermöglicht.

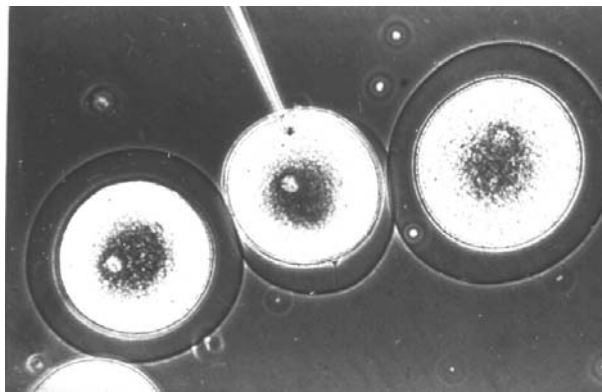


Abb. 4 Drei befruchtete Seeigel-Eier. Das mittlere ist mit einer Glasmikroelektrode angestochen, ihr gegenüber hat ein Spermium gebunden, die Membranen sind schon fusioniert und die Befruchtungshülle ist bereits zur Hälfte ausgebildet. "Überzählige" Spermien sind von der Befruchtungshülle zurückgedrängt worden. (© 1982 D. Hülser)

Cora Fischers Interpretation dieses Sachverhalts ist hier zu sehen:



Abb. 5 „OKEE, Jungs, der Rest kann geh'n.“ (© 1995 Cora Fischer)

In der Eizelle bildet sich nun ein Zytoskelett aus, so dass intrazellulärer Transport möglich wird. Die beiden Kerne verschmelzen miteinander, Zellteilung, Wachstum und Differenzierung können ihren vorprogrammierten Verlauf nehmen. Das bedeutet Stoff- und Energieaufnahme, Ausbildung von Zell-Zell-Verbindungen für mechanische Kontakte und interzelluläre Signalübertragung, Koordination der Abläufe durch Informationsaufnahme und -weiterleitung.

An diesem Beispiel der Eizelle können wir sehen, dass drei Faktoren die belebte Natur auszeichnen:

Stoffwechsel, Selbstvermehrung, Mutation.

Sie sind alle auf molekulare und damit physikalische Prozesse zurückzuführen, allerdings macht die hohe Komplexität biologischer Objekte das Erkennen von Ursache und Wirkung nicht immer einfach. Um Materie - egal ob lebend oder tot - zu untersuchen, benötigen wir zunächst unsere 5 Sinne. Mit **hören, sehen, riechen, tasten, und schmecken** lassen sich zweifelsfrei bereits eine Menge Dinge erkennen. Biophysik setzt dort an, wo unsere 5 Sinnesorgane nicht mehr ausreichen, sei es weil sie nicht fein genug sind - z.B. für bestimmte Frequenzbereiche des Lichts oder des Schalls - oder weil wir für bestimmte Vorgänge kein Sinnesorgan besitzen. Wir können z.B. keinen Strom messen und dass man Gleichstrom mit einer Hand und Wechselstrom mit zwei Händen messen soll, ist ein schlechter Scherz, der nicht zum Ausprobieren verleiten sollte.

Dort wo unsere Sinnesorgane versagen oder wo keine angelegt sind, helfen wir uns mit Sonden, um so Auskunft über ablaufende Prozesse zu erhalten. Mit solchen Sonden können wir zunächst etwas über den Aufbau der Materie, ihre Struktur, erfahren. Licht ist nur ein kleiner Ausschnitt aus dem Spektrum der elektromagnetischen Wellen, mit der Kenntnis seiner Eigenschaften und den entsprechenden Geräten, gelingt es "versteckte" Information sichtbar zu machen (Beispiel: Phasenkontrast, Polarisation). Durch den Einsatz anderer Bereiche aus dem Spektrum elektromagnetischer Wellen kann höher aufgelöst werden

(Beispiel: Elektronenmikroskopie, Röntgen-Strukturanalyse). Benutzen wir Strom als Sonde, dann lernen wir etwas über die elektrischen Eigenschaften wie Widerstand und Leitfähigkeit der untersuchten Materie oder können Moleküle über ihre Wanderungseigenschaften im elektrischen Feld charakterisieren. Erzeugen wir mit Hilfe der Ultrazentrifuge ein Gravitationsfeld, dann werden Aussagen zur Dichte der Zellen möglich.

Lebewesen und Zellen haben stets einen Energiebedarf und können über Umsatz von freier Energie durch chemischen Stoffwechsel (Metabolismus) einen Energievorrat anlegen. Viele Untersuchungen befassen sich daher mit der Wechselwirkung zwischen Energie und biologischem Material. Energie kann in vielfältiger Form zugeführt werden: Wärme, Druck, chemische Reaktion, elektrischer Strom, Strahlung, akustische Schwingungen. Vom Standpunkt der Energetik aus stellt jede lebende und sich vermehrende Zelle sowie jeder höhere Organismus ein offenes System dar. Im offenen System kann nicht nur freier Energieaustausch mit der Umgebung stattfinden, sondern auch ein Stoffaustausch, durch den natürlich auch Information übermittelt werden kann. Diese drei Merkmale

Struktur, Energie, und Information

charakterisieren jedes lebende System. Sie sind also auch Teil dieser Vorlesung