

## Mathematische Modelle vom Herzen

Wir beschäftigen uns in meinem Institut mit innovativer Medizintechnik, und zwar insbesondere mit neuen Techniken, mit denen wir Herzkranken vielleicht in Zukunft besser helfen können. Bei unseren Arbeiten sind wir auf ein neues Fachgebiet gestoßen: Es ist die Mathematische Physiologie, *Mathematical Physiology*. Momentan sprießen auf diesem Gebiet an vielen Stellen auf der Welt bunte neue Blumen. Letztlich wollen wir mit mathematischen Methoden den Menschen – insbesondere den Patienten – vorhersagbar machen. Wir wollen die Therapie der Herzkrankheiten in Zukunft mit Methoden der Mathematik besser planbar machen.

Für die Anwendungen der mathematischen Modellierung in der Kardiologie müssen wir verstehen, was beim Schlagen des Herzens genau passiert, wie das EKG und die Kontraktion des Herzmuskels entstehen. Wenn wir diese Vorgänge quantitativ beschreiben wollen, dann stoßen wir auf Systeme von gekoppelten Differentialgleichungen, die ziemlich komplex sind und – wie die Mathematiker seit langem wissen – auch vielfältige Lösungen haben: stabile Lösungen, instabile Lösungen, oszillierende Lösungen. Wir sind also in einem faszinierenden Bereich der Mathematik gelandet. Wir können tatsächlich mit Differentialgleichungen alle Vorgänge im Herzen schon sehr genau beschreiben: bei den Ionenkanälen, also bei den Proteinen angefangen, über einzelne Herzmuskelzellen, die aufgrund einer elektrischen Depolarisation kontrahieren, bis hin zum Gesamtorgan und zum gesamten Kreislauf.

Wir haben es hier auch mit einem Multiskalensystem zu tun, so wie es Herr Müller im vorigen Beitrag vorgestellt hat. Wir müssen versuchen, mit neuen mathematischen Methoden diese vielen Skalen zu überwinden: von dem Protein im Nanometerbereich über die Zelle im Mikrometerbereich bis hin zum Organ im Zentimeterbereich und zum ganzen Körper im Meterbereich. Bei jedem Schritt zu einer größeren Skala müssen wir Größen zusammenfassen und neue Parameter wählen, mit denen die Vorgänge beschrieben werden können. Diesen Weg müssen wir gemeinsam mit Mathematikern gehen, die heute systematische Methoden zur Überbrückung stark unterschiedlicher Skalen entwickeln.

Die komplexen gekoppelten Differentialgleichungen und die Multiskalen-Problematik führen dazu, daß viele Dinge nicht mehr exakt vorhersagbar sind. Wir stoßen auf Pro-

bleme der Chaos-Theorie. Das Schlagen eines Schmetterlingsflügels in der Karibik kann das Wetter in Europa beeinflussen. Auch bei der mathematischen Beschreibung des Herzens ergeben sich Systeme, bei denen eine minimale Veränderung in den Parametern einiger Herzmuskelzellen plötzlich zu ganz anderen Lösungen, zum Beispiel zu Arrhythmien führt. Wir kommen also in Bereiche, in denen wir mit unsicherem Wissen umgehen müssen, wo mit Wahrscheinlichkeiten gerechnet werden muß.

Ich hatte beim Lesen anderer Beiträge zu diesem Thema manchmal den Eindruck, daß in dem Moment, wo wir es nicht mehr mit klassischer Logik, sondern mit „Fuzzy Logic“ zu tun haben, und in dem Moment, wo wir es nicht mehr mit exaktem Wissen, sondern mit Wahrscheinlichkeiten zu tun haben, der eine oder andere denkt, das wäre dann keine Mathematik mehr. Ich glaube, ich spreche den Mathematikern aus der Seele, wenn ich sage, daß gerade „Fuzzy Logic“ und der Umgang mit unsicherem Wissen ein wesentlicher Bereich der zukünftigen Mathematik ist, wo gerade heute ganz neue und faszinierende Erkenntnisse zu erwarten sind.

Wenn wir uns also das ganze System „Herz“ am Ende anschauen, dann sehen wir, daß das Herz durch die Evolution so und nicht anders entstanden sein muß. Letztlich haben wir es ja mit einem Baukasten aus Proteinen zu tun, deren Mischung die Eigenschaften von Zellen bestimmt. Und wenn wir versuchen, aus diesem Baukastensystem eine bestmögliche Blut-Pumpe zu bauen, dann kommt man beim Herzen heraus. Der Weg der Evolution wird nachvollziehbar mit Hilfe der mathematischen Ansätze, zum Beispiel der Differentialgleichungen. Damit ist für mich die mathematische Beschreibung am Ende nicht etwas, was die Ratio des Menschen dem Herzen aufgedrückt hat, sondern etwas, was die Natur inhärent eingebaut hat. Wenn wir also überhaupt an die Wirklichkeit dieser Natur glauben, dann ist an dieser Stelle die Mathematik einfach unauflösbar verzahnt mit der Evolution und dem Suchen nach der bestmöglichen Lösung.

Wenn ich das Herz mathematisiere, wird vielleicht der eine oder andere, beispielsweise ein Geisteswissenschaftler, aufschreien und sagen: Hier wird ein Organ, welches in der Literatur ja eine ganz herausragende Rolle für die Seele und den Sitz der Emotion spielt, mathematisiert – ist das nicht schrecklich! Ich kann Ihnen versichern, daß ich natürlich diese seelische Komponente aus dem Herzen nicht herausnehmen möchte, sie fasziniert mich auch. Und sie ist im Grunde darauf zurückzuführen, daß es sich um ein so komplexes System handelt, welches wir selbst nicht rational steuern können. Es fasziniert auch mich immer noch, wie sich unser Herzschlag beschleunigt, wenn wir in Aufregung geraten.

Am Ende sehen wir aber: Die Mathematisierung ist keine Entzauberung dieses Organs, sondern sie ist eine Offenbarung. Sie ist eine Offenbarung der Schönheit der Natur und der faszinierenden Arbeit, die die Evolution über viele Jahre geleistet hat. Sie ist eine Einsicht, die mit Hilfe der Mathematik erst möglich wird.