

NZZ, 25.7.2001

## Die DNA - molekularer Draht oder Isolator?

### Verschiedene Mechanismen des Ladungstransports

Seit einigen Jahren gehen die Meinungen darüber auseinander, ob die DNA ein guter oder ein schlechter elektrischer Leiter ist. Jungste Experimente **zeigen**, dass das Erbmolekül mehr als einen Mechanismus des Ladungstransfers zu kennen scheint.

Wenn sich Forscher mit dem Erbmolekül beschäftigen, richten sie ihr Augenmerk vielfach auf die biologische Aufgabe der DNA, genetische Information zu speichern und zu codieren. Im Fokus einiger Wissenschaftler steht jedoch eine andere Frage. Sie diskutieren darüber, wie geladene Teilchen innerhalb der DNA transportiert werden. Während manche in der Doppelhelix einen «molekularen Draht» sehen, charakterisieren andere die DNA als Isolator. Denn für die Geschwindigkeit, mit der Elektronen entlang der Doppelhelix wandern können, hat man in verschiedenen Experimenten stark voneinander abweichende Werte bestimmt.

Wie es mit der Leitfähigkeit der DNA tatsächlich bestellt ist, erscheint unter mehreren Aspekten **interessant**. So weiss man, dass ionisierende Strahlung oder Karzinogene die Erbsubstanz **schädigen**. Werden diese Defekte nicht durch Reparatoren behoben, **können** sie zu Mutationen und Krebsentstehung führen. Die **Forscher** hoffen, wertvolle Informationen über diese Mechanismen zu **erhalten**, wenn es ihnen gelingt, die Faktoren zu erkunden, die den Transport von Elektronen und positiven Ladungen in der DNA bestimmen. Kenntnisse darüber, wie Ladungen entlang der Doppelhelix wandern, könnten der DNA auch neue **Anwendungsmöglichkeiten** eröffnen. So könnten leitfähige DNA-Moleküle in der Nanoelektronik Verwendung finden, und in der Diagnostik liessen sich neue Werkzeuge für das Screening von Nukleinsäuren oder Karzinogenen entwickeln.

#### Widersprüchliche Experimente

Vor diesem Hintergrund erregten Experimente grosse Aufmerksamkeit, bei denen Ladung sehr rasch über eine Strecke von mehr als vier Nanometern floss. Andere Forschergruppen massen jedoch wesentlich langsamere Geschwindigkeiten. Diese breite Streuung der Werte erklärt der Basler Chemiker Bernd Giese mit zwei verschiedenen Mechanismen, über die der Ladungstransfer in der DNA erfolgt. Welchen dieser Wege die Elektronen nutzen, hängt seiner Meinung nach von der Basenstapelung innerhalb der DNA ab.

Die Doppelhelix des Erbmoleküls besteht im Innern aus **Basenpaaren**, die wie Leitersprossen zwischen einem Rückgrat aus Zucker- und Phosphatbausteinen hängen. Unter den vier Basen - Adenin, Thymin, Cytosin sowie Guanin - kommt Guanin beim Transport positiver Ladung eine besondere Rolle zu, denn das Molekül lässt sich vergleichsweise leicht oxidieren. Daher haben die Basler Forscher zunächst eine Guaninbase einer DNA-Doppelhelix oxidiert. Innerhalb der DNA befand sich zudem eine Gruppe von drei benachbarten Guaninbasen. Diese Gruppierung lässt sich noch leichter oxidieren, weshalb die positive Ladung nach Möglichkeit dorthin wandert.

Die Arbeitsgruppe von Giese untersuchte nun, wie rasch der Ladungstransport zwischen der Guaninbase und dem Basentripel stattfindet, wenn diese durch ein bis sechzehn Adenin-Thymin-Basenpaare getrennt waren." Es zeigte sich, dass die Ladung am schnellsten floss, wenn nur eine Sprosse zu überwinden war. **Vergrössert** man den Abstand auf zwei oder drei Adenin-Thymin-Basenpaare, nimmt die Geschwindigkeit um jeweils eine **Grössenordnung** ab. Würde sich diese Gesetzmässigkeit fortsetzen, wäre ein effizienter Ladungstransport über **grössere** Distanzen kaum möglich. Die Forscher stellten jedoch fest, dass ein Einschub von mehr als drei Adenin-Thymin-Basenpaaren nur einen unwesentlichen Einfluss auf die Geschwindigkeit des Ladungstransports

hat. Das deuten sie als einen Wechsel zwischen zwei verschiedenen Transportmechanismen.

Bei geringem Abstand tunnelt die Ladung von einem zum nächsten Guaninbaustein. Die Wissenschaftler bezeichnen dies als Superaustausch. Offenbar ist die Energie des anfänglich gebildeten Guanin-Kations nicht gross genug, um eine andere Base zu oxidieren. Daher muss die Ladung in einem Schritt zum nächsten Guanin springen. Bei grösserer Entfernung nehmen dann jedoch auch andere Basen am Ladungstransfer teil, so dass die Elektronen und positiven Löcher von einer zur nächsten Sprosse der Doppelhelix klettern können.

#### Physikalische Messmethoden

Einen völlig anderen Ansatz zur Erforschung des Ladungstransports in DNA verfolgt Hans-Werner Fink an der Universität Zürich. Der Physiker spannt Doppelstränge der Erbsubstanz über kreisrunde Löcher in einer hauchdünnen Folie und beobachtet diese Versuchsanordnung mit einem sogenannten Elektronenpunktquellen-Mikroskop. Mit einer hauchfeinen vergoldeten Wolframspitze kann der Forscher einzelne Doppelstränge berühren, teilen oder verbiegen. Über diesen Kontakt lässt sich zudem ein Potenzial an die DNA anlegen. Der elektrische Strom, der durch die DNA **fliessen**, kann daher direkt als Funktion der Spannung gemessen werden.

Aus solchen Messungen an DNA-Doppelsträngen, die mehrere hundert Nanometer lang waren, ermittelte Fink Widerstandswerte, die mit denen von Halbleitern vergleichbar sind. Der Physiker geht davon aus, dass die Leitfähigkeit der DNA sogar noch besser ist. Denn man müsste berücksichtigen, dass ein Teil des gemessenen Widerstands von den Kontakten herrührt.

Dass solche Kontaktwiderstände nicht ausser acht gelassen werden dürfen, hatte bereits eine amerikanische Forschergruppe festgestellt. Die Wissenschaftler untersuchten, wie rasch Elektronen in DNA fliessen, die über eine schwefelhaltige Baugruppe an Goldelektroden gebunden ist. Die ermittelten Transportgeschwindigkeiten waren sehr niedrig. Offenbar ist bei dieser Versuchsanordnung die verknüpfende Baugruppe (und nicht die DNA) der Flaschenhals, der das Tempo des Ladungstransports bestimmt.

Im **veiligen Kontrast** zu all diesen Versuchen stehen Experimente, die zeigen, dass sich DNA als Isolator verhält. So hat eine Gruppe amerikanischer Wissenschaftler unangestrichene DNA-Kristalle mit Röntgenstrahlen bombardiert. Wie die Untersuchungen zeigen, lassen sich dadurch in der Doppelhelix bei einer Temperatur von vier Kelvin eine Vielzahl von Elektronen und positiv geladene Lecher erzeugen. Dass nur wenige Elektronen und **Löcher** rekombinieren, fñhren die Forscher darauf zurück, dass diese nur sehr langsam entlang der DNA wandern können.

Nach wie vor herrscht also Uneinigkeit über die **Leitfähigkeit** der DNA. Die gemessenen Geschwindigkeiten zeigen eine breite Streuung und sind häufig nicht vergleichbar, da **Systeme** und Methodik sehr unterschiedlich sind. Offenbar hängt der Ladungstransport von einer ganzen Reihe von Faktoren ab, die es in künftigen Untersuchungen systematisch zu variieren gilt. Hans-Werner Fink etwa führt zurzeit Versuche durch, bei denen die DNA-Fasern extrem gedehnt oder aber stärker fixiert werden. Seiner Ansicht nach spielen Schwingungen, die sich nur in «ungestörter» DNA ausbreiten **können**, eine wesentliche Rolle beim Ladungstransport.

Uta Bilow

Die Autorin hat Chemie studiert und arbeitet als freie Wissenschaftsjournalistin in Dresden.