

## Magnetotaxis bei Mikroorganismen

**An den Prokaryonten *Candidatus Magnetoglobus multicellularis* (CMm) wurde gezeigt, dass verschiedene Lichtfrequenzen Bewegungsgeschwindigkeit und -richtung beeinflussen. Durch zusätzliche Hochfrequenzfelder wird diese Wirkung verändert. Radikalpaarbildung könnte an den Reaktionen beteiligt sein. Cryptochrom als bekanntes Empfänger-molekül ist nicht am Radikalpaarmechanismus beteiligt, vielleicht 2 andere Chromophore.**

Mehrzellige Magnetotaktische Prokaryonten (Multicellular magnetotactic prokaryotes, MMP) sind Ansammlungen von meistens 20 kugeligen Mikroorganismen, die spiralförmig angeordnet sind. Jede Zelle enthält hauptsächlich Greigit (stark magnetisches Eisensulfid-Mineral, die Red.) Die MMPs *Candidatus Magnetoglobus multicellularis* (CMm) zeigen eine von Magnetfeldern abhängige Photokinese mit verschiedenen Reaktionen je nach Wellenlänge und Stärke des Magnetfeldes. Im Grünlicht wird die Bewegungsgeschwindigkeit verringert, im Rotlicht gesteigert im Vergleich zu Blau- und Weißlicht. Das findet bei geringen Feldstärken von 0,4–3,7 W/m<sup>2</sup> statt. Bei höheren Lichtintensitäten werden verschiedene Wirkungen gefunden wie Vermeidung von hellen Bereichen von UV-Licht und geringerer Aktivität und Tod bei Grünlicht. Die beteiligten Chromophore sind noch nicht bekannt. Ein ähnliches Verhalten bezüglich Magnetorientierung und Lichtabsorption wurde bei mehreren Tieren beobachtet, vor allem bei Vögeln. Dies wird als lichtabhängige Magnetorezeption bezeichnet. Dabei reagieren Molekülpaare nach Lichtabsorption mit Radikalpaarbildung im Singulettzustand. Ein externes Magnetfeld kann den Spinzustand des Radikalpaars verändern und es entsteht der Triplettzustand. Die Zerfallsrate für Singulett- bzw. Triplett-Radikalpaare ist verschieden und das ermöglicht Tieren das Erkennen der Richtung des Erdmagnetfeldes. Da das Magnetfeld mit dem Spin des ungepaarten Elektrons im Radikalmolekül reagiert, wird dem System neue Energie zugeführt. Der einzige zurzeit bekannte, für das Erdmagnetfeld empfindliche Chromophor ist Cryptochrom, ein Protein, das auf UV-, Blau- und Grünlicht reagiert, nicht auf Gelb- und Rotlicht. Bei Tieren sind durch das Photorezeptormolekül Cryptochrom, das Blaulicht absorbiert und am Tag-Nacht-Rhythmus beteiligt ist, Radikalpaarmechanismen (RPM) mit Magnetorezeption verbunden. Bei Änderung der lokalen Magnetfeldrichtung ändern die magnetotaktischen Mikroorganismen ihre Schwimmrichtung, welches ein Kennzeichen für magnetotaktische Bakterien und MMPs ist. Die Wirkung des Magnetfeldes kann durch die Anwesenheit eines elektromagnetischen Feldes im HF-Bereich aufgehoben werden. Diese Arbeit gibt Hinweise, dass in die lichtabhängige Photokinese von CMm Radikalpaare involviert sind und dass die Schwimmrichtung vom HF-Feld beeinflusst wird.

Das Experiment besteht in der Aufzeichnung der Bewegung (Geschwindigkeit und Richtung) unter Belichtung mit monochromatischem Licht (blau, rot und grün) mit einer Digitalkamera, mit und ohne zusätzliche HF-Feldeinwirkung. Die zusätzlichen HF-Magnetfelder betragen 0,16 mT bei 4,4 MHz bzw. 2,66 mT bei 74,5 MHz, die Lichtstärke 110 µW für alle Wellenlängen. Bestimmt wurden die durchschnittliche Geschwindigkeit und der Winkel der Schwimmrichtung relativ zur Magnetfeldrichtung.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Geschwindigkeit im Rotlicht höher ist als im Mikroskoplicht und dass das RF-Feld die Geschwindigkeit in beiden Fällen verändert: im Rotlicht wird die Geschwindigkeit vermindert und im Mikroskoplicht gesteigert. Rotlicht erzeugt höhere und Grünlicht niedrigere Geschwindigkeiten als Blaulicht, das als Kontrolle diente, denn die HF-Strahlung hatte keine Wirkung auf die Geschwindigkeit bei Blaulicht. Bei Rotlicht hatte die geringe HF-Intensität (0,16 mT bei 4,4 MHz) nur eine Wirkung auf die Geschwindigkeit der Zellen, bei Grünlicht sah man verschiedene Reaktionen: die geringere HF-Intensität steigerte, die höhere verminderte die Geschwindigkeit.

Aus den Ergebnissen kann man schließen, dass die Wirkung von Grün- und Rotlicht auf die Schwimm-Geschwindigkeit durch HF-Felder mit Radikalpaarmechanismen (RPM) verbunden sind. Hinzu kommt ein anderes Verhalten, das nicht mit Magnetotaxis zusammenhängt, sondern mit der Wahrnehmung der Magnetfeldrichtung. Die Richtungswahrnehmung wurde nur beeinflusst, wenn gleichzeitige Rotlicht und die hohen HF-Magnetfelder einwirkten. In diesem Fall ist die Schwimmrichtung anders ausgerichtet als das Magnetfeld, was bedeutet, dass die Radikalpaarmechanismen unter Rotlichtabsorption an der Wahrnehmung der Magnetfeldrichtung beteiligt sind. Man kann postulieren, dass die verantwortlichen Photomoleküle für Rotlichtabsorption irgendwie an die Magnetosomkette gekoppelt sind und deren Funktion ist die Wahrnehmung der Magnetfeldrichtung, durch die dann das magnetische Drehmoment an das Flagellensystem weitergegeben wird.

Magnetotaxis ist definiert als die Fähigkeit von Mikroorganismen, in eine bestimmte Richtung bezogen auf das Magnetfeld zu schwimmen. Also ändern sie ihre Richtung, wenn die Magnetfeld-Richtung sich ändert. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass es einen aktiven Mechanismus geben muss, um die Richtung des Erdmagnetfelds wahrzunehmen, weil das magnetische Drehmoment nicht groß genug ist, um die Schwimmrichtung am Erdmagnetfeld auszurichten. Es bleibt unklar, welcher Chromophor für den Radikalpaarmechanismus verantwortlich ist. Es könnten 2 verschiedene Photomoleküle mit verschiedenen Funktionen sein, eines absorbiert grünes und eines rotes Licht. Wenn Rotlicht einwirkt, können möglicherweise 2 Ausrichtungsmechanismen während des Schwimmens stattfinden: ein passiver durch das magnetische Drehmoment und ein aktiver durch RPM, wenn zu dem Rotlicht noch HF-Felder einwirken. Die Frage ist, warum die Zellen für Rotlicht empfindlich sind, da dieses in einer marinen Umgebung nur wenige Meter unter die Wasseroberfläche gelangt. In Sedimenten sind MMPs mehr Grün- und Blaulicht ausgesetzt. Vielleicht sind die gefundenen Wirkungen nur im Labor zu sehen. Die Ergebnisse können aber zur Aufklärung beitragen, welche Moleküle bei der Wahrnehmung der Magnetfeldrichtung beteiligt sind. Die Ergebnisse sprechen gegen Cryptochrom als Empfänger-molekül für RPM in den CMm-Zellen, weil bei Blaulicht zusammen mit HF-Feldern keine Wirkung sichtbar war und Cryptochrom kein Rotlicht absorbiert.

Die Studie gibt Hinweise, dass an lichtabhängiger Photokinese in *Candidatus Magnetoglobus multicellularis* Radikalpaarbildung beteiligt ist. Vielleicht sind 2 verschiedene noch zu bestimmende Chromophore beteiligt.

### Quelle:

Duarte de Melo R, Acosta-Avalos D (2017): Light effects on the multicellular magnetotactic prokaryote '*Candidatus Magnetoglobus multicellularis*' are cancelled by radiofrequency fields: the involvement of radical pair mechanisms. *Antonie van Leeuwenhoek* 110, 177–186, DOI 10.1007/s10482-016-0788-0