

### MAGNETFELDER ERREGEN GEHIRNZELLEN DES MENSCHEN – ERSTMALS IN ZÜRICH GEMESSEN

Messungen an Epilepsiepatienten haben erstmals gezeigt, dass das menschliche Gehirn auf schwache Magnetfelder reagiert. Die Forscher warnen jedoch vor voreiligen Schlüssen und betonen, dass ihre Versuche keine Aussagen über die Gefährlichkeit oder Ungefährlichkeit von elektrischen Geräten erlauben.

Der moderne Mensch ist einer Vielzahl magnetischer Felder ausgesetzt. Zum Erdmagnetismus sind in neuerer Zeit technische Magnetismusquellen wie Hochspannungsleitungen, Bildschirme und Mobiltelefone hinzugekommen. Welche Auswirkungen hat dies auf unsere Gesundheit? Bisher mangelte es solchen Diskussionen an wissenschaftlichen Grundlagen, denn niemand konnte sagen, ob der menschliche Körper überhaupt auf relativ schwache Magnetfelder und deren Änderung anspricht.

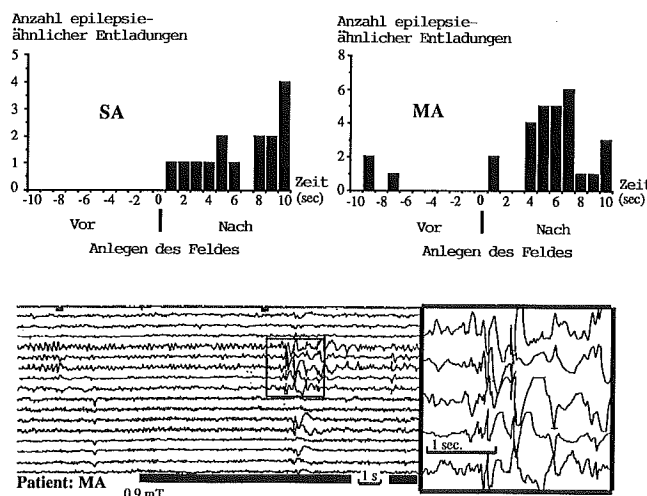
Wie der Presse- und Informationsdienst der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit dem Centre de documentation et d’information scientifiques (CEDOS) in Genf kürzlich mitteilte, konnten nun Forscher in Zürich erstmals zeigen, dass die Gehirnzellen von Epileptikern auf schwache Magnetfelder, wie sie etwa von Fernsehgeräten ausgehen, reagieren. Durchgeführt wurden die Experimente von den Geophysikern Jon Dobson vom Institut für Geophysik der ETH Zürich und Michael Fuller von der University of California sowie dem Neurologen Heinz-Gregor Wieser, Professor am Zürcher Universitätsspital. Wieser ist Spezialist für epileptische Erkrankungen.

Die Experimente wurden mit freiwilligen Versuchspersonen durchgeführt, die alle an Epilepsie leiden. Um jene Gehirnzone zu lokalisieren, von denen die Krampfanfälle ausgehen, führt Heinz-Gregor Wieser lange, dünne Elektroden durch das *Foramen ovale* direkt an das Gehirn der Patienten. So lassen sich lokale Hirnströme ableiten und deren Störungen beurteilen.

Um festzustellen, wie das Gehirn auf Magnetfelder von aussen reagiert, wurden bei 5 Versuchspersonen mittels eines Helmes mit zwei coaxialen Spulen schwache Magnetfelder an den Kopf angelegt. «Als Antwort auf das schwache Magnetfeld wurden gewisse Gehirnareale erregt, und zwar auf ähnliche Weise wie bei einem epileptischen Anfall», berichtet Heinz-Gregor Wieser. «Doch im Moment sind die physiologischen Prozesse, welche für solche Reaktionen verantwortlich sind, noch unbekannt.» (DOBSON et al., 1993, KERR 1993, FULLER et al., submitted to *Epilepsy Res.*)

Die Forscher stellen zwei Hypothesen zur Diskussion. Die erste vermutet einen direkten Einfluss des Magnetfeldes auf die Konzentration von Ionen (beispielsweise Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> und Cl<sup>-</sup>) in den Nervenzellen des Gehirns. Die zweite Hypothese geht davon aus, dass das Magnetfeld auf die im menschlichen Gehirn vorhandenen winzigen Magnetitkriställchen wirkt. Magnetit ist ein Eisenmineral und selber stark magnetisch; es dient als Rohstoff zur Herstellung von Magneten.

Dass im menschlichen Gehirn kleine Magnetpartikel vorhanden sind, haben KIRSCHVINK et al. (1992) entdeckt, doch ist Ausbildung und Zweck des Magnetsinnes beim Menschen noch völlig rätselhaft. Bereits zuvor wurden Magnetitkriställchen bei Mikroorganismen und Tieren gefunden. So richten sich gewisse Bakterien mit Hilfe von Grana aus Magnetit stets nach dem Erdmagnetfeld aus. Bienen, Tauben und verschiedene Fische benutzen ihre körpereigenen Magnete wahrscheinlich zur Orientierung und erzielen dadurch erstaunliche Leistungen. Trotz intensivem Suchen hat man bis heute bei diesen Tieren noch keine sensorischen Verknüpfungen gefunden, die dafür erforderlich wären, dass die Magnetitpartikel als Teil eines Magnetkompasses arbeiten könnten.



Histogramm der epilepsieähnlichen Entladungen in der Zeit 10 sec vor und nach Anlegen des Magnetfeldes an Patient SA und MA (oben links und oben rechts). EEG Aufzeichnung von Patient MA, welcher epilepsieähnliche Entladungen nach Anlegen eines 0.9 mT starken Magnetfeldes zeigt (unten) (aus DOBSON et al., 1993).

Literatur

DOBSON, J.P., FULLER, M., MOSER, S., WIESER, H.-G., DUNN, J.R., ZOEGER, J. 1993. Evocation of epileptiform activity by weak D.C.

magnetic fields and iron biomineralization in the human brain. – *Advances in Biomagnetism (Proc. Biomagnetism Conference, 15 August 1993, Vienna – in press).*

FULLER, M., DOBSON, J.P., WIESER, H.-G., MOSER, S.. On the sensitivity of the human brain to magnetic fields – evocation of epileptiform activity. Submitted to *Epilepsy Res.*, under review.

KERR, R.A. 1993. Magnetism triggers a brain response. – *Science* 260, 1590.

KIRSCHVINK, J.L., KOBAYASHI-KIRSCHVINK, A., WOODFORD, B.J. 1992. Magnetic biomineralization in the human brain. – *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 89, 7683-7687.

## **REGENERATION VERLETZTER NERVENFASERN IM ZENTRALNERVENSYSTEM VON RATTEN**

*Vor vier Jahren gelang es am Institut für Hirnforschung der Universität Zürich, verletzte Nervenfasern im Rückenmark von Ratten zu neuem Wachstum anzuregen. Mit dieser Arbeit erreichte Martin Schwab und sein Team weltweit grosse Aufmerksamkeit. Nun präsentieren die Forscher und Forscherinnen neue Erkenntnisse über die Regenerationsfähigkeit von Nervenfasern im Zentralnervensystem.*

### **Erfolgversprechende Experimente**

Verletzte Nervenfasern des Gehirns und des Rückenmarks wachsen nicht nach. Dies galt – zumindest bei höheren Wirbeltieren und beim Menschen – bis vor vier Jahren als unumstösslicher Lehrsatz.

Am 18. Januar 1990 wurde in der Zeitschrift «Nature» eine Arbeit veröffentlicht, welche die Neurobiologie revolutionierte. Lisa Schnell und Martin Schwab vom Institut für Hirnforschung der Universität Zürich war es gelungen, im Rückenmark von Ratten verletzte Nervenbahnen zu neuem Wachstum anzuregen. Dies geschah, nachdem wachstumshemmende Proteine mit Hilfe eines Antikörpers gezielt ausgeschaltet worden waren.

Verletzt man periphere Nerven, so können diese über lange Distanzen nachwachsen und wieder voll funktionsfähig werden. Wie bereits erwähnt, funktioniert dies bei Nerven des Zentralnervensystems nicht. Zwar bilden sich auch hier am verletzte Axonende rasch Wachstumsspitzen und neue Seitenzweige aus, doch stoppt das Wachstum nach einem halben bis einem Millimeter.

Der Grund dafür blieb unbekannt, bis die Arbeitsgruppe von Martin Schwab im Rückenmark von Ratten zwei Proteine identifizierte, welche das Wachstum von Nervenfasern hemmen. Das eine Protein weist ein relatives Molekularge-

wicht von 35 000 auf, das andere eines von 250 000. Die Zürcher Forscher haben herausgefunden, dass monoklonale Antikörper, die gegen das grössere Protein hergestellt worden sind, die wachstumshemmende Wirkung beider Proteine neutralisieren können. Spritzt man Ratten mit durchtrennter Rückenmark diese Antikörper ins Gehirn, wachsen die Nervenfasern innerhalb von zwei Wochen über eine Länge von bis zu 20 Millimeter nach. Martin Schwab weiss, welche grossen Hoffnungen für Querschnittgelähmte mit diesen Tierexperimenten verbunden sind. Deshalb äussert er sich sehr zurückhaltend und weist auf die vielen noch offenen Fragen hin. Vorerst geht es beispielsweise darum, zu prüfen, ob die nachgewachsenen Nervenfasern auch wieder funktionsfähig werden. Diese Tests erfolgten in den Vereinigten Staaten an der Universität von Georgetown. Dort wurden Koordination und Sprungkraft der in Zürich behandelten Ratten eingehend geprüft – mit ermutigenden Zwischenergebnissen, wie Schwab anmerkt.

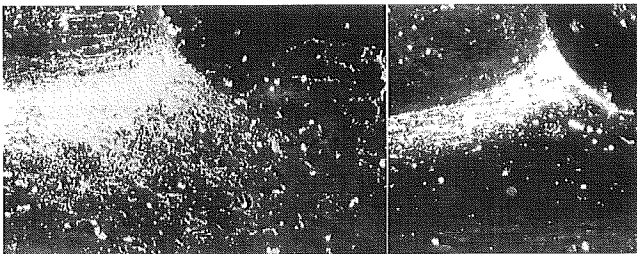
### **Hemmende und stimulierende Faktoren**

Am Institut für Hirnforschung der Universität Zürich versucht man durch biochemische, molekularbiologische und zellbiologische Studien einerseits und Regenerations- und Entwicklungsstudien andererseits, die Natur und Bedeutung der wachstumshemmenden Proteine besser zu verstehen. Diese Hemmstoffe sind Bestandteile der Oligodendrozyten. Oligodendrozyten umschliessen die Nervenfasern im Gehirn und Rückenmark und bilden dadurch eine elektrische Isolationschicht. Solche wachstumshemmenden Proteine wurden bei Fasern des peripheren Nervensystems nicht gefunden.

In Zellkulturen konnten BANDTLOW et al. (1990) zeigen, dass die Wachstumsspitzen der Nervenfasern blockiert wurden, sobald sie die Oligodendrozyten berührten. Gleichzeitig steigt die Calciumkonzentration in den Nervenzellen um das Zwanzigfache an. Dieser Calciumstoss stört den Stoffwechsel der Nervenfaser und damit die Bildung der Wachstumsausläufer (BANDTLOW et al., 1993).

Neben den wachstumshemmenden Proteinen enthält das Nervengewebe auch Proteine, die das Wachstum der Zellen fördern, sogenannte neurotrophe Faktoren. Diese stimulieren das Faserwachstum vor allem während der Entwicklung des Nervensystems. SCHNELL et al. (1994) konnten nun zeigen, dass die Regenerationsantwort von verletzten Fasern durch bestimmte neurotrophe Faktoren zusätzlich gesteigert werden kann. Besonderes Augenmerk richteten die Forscher und Forscherinnen dabei auf die Hauptverbindung zwischen Ge-

hirn und Rückenmark, den *Tractus corticospinalis*. Injiziert man zum Beispiel Neurotrophin-3 bei erwachsenen Ratten ins verletzte Rückenmark, bilden sich im durchtrennten *Tractus corticospinalis* deutlich mehr Wachstumsspitzen und Seitenzweige aus als ohne diesen neurotrophen Faktor. Gibt man zusätzlich noch Antikörper hinzu, welche die wachstumshemmenden Proteine ausschalten, so wachsen die regenerierten Fasern über weitere Distanzen als ohne Neurotrophin-3.



Dunkelfeld-Photographie des *Tractus corticospinalis* einer adulten Ratte. Wie das Bild links zeigt, kann die Regenerationsantwort der verletzten Fasern durch Neurotrophin-3 gesteigert werden. Bild rechts: Kontrolle  
(Bilder: Institut für Hirnforschung, Universität Zürich.)

### Literatur

BANDTLOW, C.E., ZACHLEDER, T. and SCHWAB, M.E. 1990. Oligodendrocytes arrest neurite growth by contact inhibition. – *J. Neurosci.* 10, 3937–3948.

BANDTLOW, C.E., SCHMIDT, M.F., HASSINGER, T.D., SCHWAB, M.E. and KATER, S.B. 1993. Role of intracellular calcium in NI-35-evoked collapse of neuronal growth cones. – *Science* 259, 80–83.

SCHNELL, L. and SCHWAB, M.E. 1990. Axonal regeneration in the rat spinal cord produced by an antibody against myelin-associated neurite growth inhibitors. – *Nature* 343, 269–272.

SCHNELL, L., SCHNEIDER, R., KOLBECK, R., BARDE, Y.-A., and SCHWAB, M.E. 1994. Neurotrophin-3 enhances sprouting of corticospinal tract during development and after adult spinal cord lesion. – *Nature* 367, 170–173.

### GEPROBT WIRD DAS ENDE DES NÄCHSTEN JAHRHUNDERTS – WIE REAGIERT DIE VEGETATION AUF DEN TREIBHAUSEFFEKT?

*Versuche mit Modell-«Regenwäldern» an der Universität Basel haben gezeigt, dass solche komplexe Pflanzengesellschaften bereits unter den heutigen Bedingungen mit CO<sub>2</sub> gesättigt sind. Unter hohen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen erhöht sich die Gesamtbiomasse unwesentlich, es kommt aber zu einer verstärkten CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus dem Boden und zu einer vermehrten Auswaschung von Nährstoffen. Freilanduntersu-*

*chungen der ETH Zürich sowie der Universität Basel sollen zudem Erkenntnisse liefern über das Wachstum von Wiesen und alpinen Rasen unter Bedingungen, wie sie voraussichtlich in 50 bis 100 Jahren herrschen werden.*

Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen in aller Welt beschäftigen sich mit der Frage, wie die Vegetation auf den Treibhauseffekt, insbesondere auf das erhöhte CO<sub>2</sub>-Angebot und auf die Temperaturerhöhung, reagiert. Da fundierte Klimaprognosen bis heute fehlen, steht die Ökosystemforschung vor grossen Schwierigkeiten. An einer Ende des letzten Jahres in Basel durchgeführten Veranstaltung zum Thema «Klimaänderung und Ökosysteme» im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes NFP 31 (Klimaänderungen und Naturkatastrophen) kam man deshalb zum Schluss, dass es gegenwärtig mangels fundierter Klimaszenarien wohl unumgänglich ist, im Rahmen der Klimawirkungsforschung verschiedene plausible Varianten durchzuspielen.

Auf den ersten Blick mag ein CO<sub>2</sub>-Anstieg in der Atmosphäre für die Pflanzen vorteilhaft wirken. Bietet man Pflanzen im Experiment mehr CO<sub>2</sub> an, als sich gegenwärtig in der Luft befindet, wachsen die meisten von ihnen besser – vorausgesetzt man düngt und wässert genügend. Das wird bei Gewächshauskulturen schon lange ausgenutzt. Einige Forscher sahen deshalb vor allem positive Seiten eines atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Anstieges. Doch viele blieben skeptisch, denn niemand konnte sagen, ob komplexe, ungedüngte Pflanzengesellschaften genauso reagieren, wie optimal mit Dünger und Wasser versorgte, keiner Konkurrenz ausgesetzte Einzelpflanzen im Labor oder Gewächshaus.

#### CO<sub>2</sub>-Anreicherung bei Freiland-Wiesepflanzen an der ETH Zürich

Letztes Jahr startete die Arbeitsgruppe von Josef Nösberger, Professor am Institut für Pflanzenwissenschaften der ETH Zürich, ein Freilandexperiment mit Wiesepflanzen. An der Versuchsstation der ETH in Eschikon verwendet man eine in den USA neu entwickelte Freiland-Begasungstechnik (Free Air Carbon-dioxide Enrichment), bei der es weder Kammern noch Folien braucht. Gearbeitet wird mit den heute in der Atmosphäre vorhandenen 350 ppm CO<sub>2</sub> und mit 600 ppm – einer CO<sub>2</sub>-Konzentration, mit der Modellrechnungen zufolge in den nächsten 50 bis 100 Jahren gerechnet werden muss.

Bei diesem internationalen Projekt interessieren sich die Forscher insbesondere für Veränderungen der Konkurrenzmechanismen zwischen den Arten, wodurch die botanische Zusammensetzung der Wiesen verändert werden könnte.

Aber auch die Kohlenhydratverteilung in den Pflanzen, der Stickstoffhaushalt und die Auswirkungen auf den Wasserhaushalt des Bodens und die Aktivität von Bodenorganismen werden untersucht.

*Regenwald in Basel und alpiner Rasen auf der Furka*

Bereits seit mehreren Jahren erforscht die Arbeitsgruppe von Christian Körner, Professor am Botanischen Institut der Universität Basel, den Einfluss eines erhöhten CO<sub>2</sub>-Angebots auf komplexe Pflanzengesellschaften. Körner und seine Mitarbeiter bepflanzten vier je 17 m<sup>3</sup> fassende Gewächshäuser mit 15 tropischen Pflanzenarten. So entstanden vier weitgehend identische Modell-«Regenwälder» mit charakteristischer vertikaler Struktur. Zwei der Gewächshäuser enthielten eine CO<sub>2</sub>-Konzentration von 340 ppm, die beiden anderen 610 ppm.

Trotz kräftigem Wachstum konnte kein signifikanter Unterschied zwischen normalen und erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen gemessen werden: Gesamtbiomasse, Blattflächenindex, Stickstoff- und Wasserverbrauch sowie der Zustand der Stomata waren ähnlich. Bei hohen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen akkumulierten die obersten Blätter aber grosse Stärkemengen, es war eine vermehrte Feinwurzelbildung zu beobachten und aus dem Boden wurde mehr CO<sub>2</sub> freigesetzt sowie vermehrt Nährstoffe ausgewaschen. Gemäss KÖRNER & ARNONE (1992) sind solche Pflanzengesellschaften offenbar bereits unter den heutigen Bedingungen mit CO<sub>2</sub> gesättigt. Dies konnte inzwischen in einem zweiten derartigen Experiment, das wesentlich länger dauerte, bestätigt werden. Gegenwärtig ist diese Gruppe damit beschäftigt, einige der im Gewächshaus gefundenen Ergebnisse im Freiland in Panama zu verifizieren.

Im Rahmen des NFP 31 untersucht Körners Gruppe, wie ein typischer alpiner Rasen auf eine künstliche CO<sub>2</sub>-Düngung reagiert. Dazu wurde in der Nähe des Furkapasses auf 2500 Meter ü. M. ein aus 32 Kammern bestehendes «open-top»-Simulationssystem installiert. Alpine Pflanzen sind für solche Untersuchungen besonders interessant, denn sie erleben heute erst den Partialdruck von CO<sub>2</sub> der in den Niederungen vor 150 Jahren existierte.

Nach zwei Messjahren ergaben die blattdemographischen Untersuchungen (biometrische Methode) bis jetzt keinen Einfluss der CO<sub>2</sub>-Düngung auf die Wachstumsdynamik von Blättern und Trieben und eine tendenziell erhöhte Wurzelproduktion. Es wurden jedoch deutliche Veränderungen im Kohlenhydrathaushalt festgestellt, wobei artspezifische Unterschiede zu erkennen sind. In allen Fällen zeigte sich, dass

der Stickstoffgehalt des Blattgewebes unter erhöhtem CO<sub>2</sub> zurückgeht, was gemäss Körner «einen nachhaltigen Einfluss auf die Herbivorenpopulation in diesem Ökosystem haben muss». 1994 werden die Messungen fortgesetzt und für 1995 ist eine destruktive Biomassernte vorgesehen.

*CO<sub>2</sub>, Stickstoffeintrag und Jahrringe von Fichten*

Christian Körner ist zudem an einem Gemeinschaftsprojekt mit der Arbeitsgruppe von Andres Wiemken, ebenfalls Professor am Botanischen Institut der Universität Basel, beteiligt. Körners Gruppe untersucht anhand von 9 Modell-Ökosystemen den Einfluss von erhöhtem CO<sub>2</sub> bei je drei verschiedenen Stickstoffeinträgen auf Wachstum und Jahrring-Entwicklung von Fichten. Nach nur einer Messperiode lassen sich noch keine definitiven Aussagen machen. «Trendmässig lässt sich aber ablesen, dass zwischen 280 und 420 ppm eher stärkere Veränderungen stattfinden als zwischen 420 und 560 ppm», erklärt Christian Körner.

*Pionierarbeit an der Rhizosphäre*

Die Gruppe von Andres Wiemken befasst sich in diesem Projekt mit Prozessen in der Rhizosphäre. Die Rhizosphäre ist die entscheidende Verbindung terrestrischer Ökosysteme mit der Lithosphäre und der Hydrosphäre. Neben den Wurzeln sind eine Vielzahl verschiedener Mikroorganismen am Aufbau der Rhizosphäre beteiligt. Die wichtigsten davon sind die Mykorrhizapilze, welche mit den Pflanzen ein symbiontisches Organ, die Mykorrhiza, aufbauen. Diese haben eine wichtige ökologische Bedeutung, denn die Hauptfunktion der Wurzeln am natürlichen Standort ist meist nicht die Absorption von Nährstoffen aus dem Boden, sondern die Versorgung der Mykorrhizapilze mit Photosyntheseprodukten. Im Austausch dagegen erhalten die Pflanzen Mineralstoffe, welche diese Pilze mit ihrem feinen Hyphengeflecht aufreiben. Da es bis heute kaum Untersuchungen gibt, welche sich mit dem Einfluss eines atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Anstiegs auf die Rhizosphäre beschäftigen, musste Wiemkens Gruppe im ersten Projektjahr hauptsächlich Modelle erarbeiten, an welchen wichtige Parameter der Rhizosphäre möglichst ohne Störung des Systems erfasst werden können.

*Literatur*

KÖRNER, C. and ARNONE III, J.A. 1992. Response to elevated carbon dioxide in artificial tropical ecosystems. – *Science* 257, 1672–1675.

SUSANNE HALLER-BREM