

auch bei Tieren vorkommt. Es ist wahrscheinlich, dass die Hypothese der Magnetfeldbeteiligung weit verbreitet ist, innerhalb und zwischen Arten.

Beim Räuber-Beute-Verhältnis ist die Magnetbeziehung schwieriger zu belegen, da hier die Individuen mehr Abstand zu einander haben. Der Abstand kann zunächst viele Meter betragen, und anders als bei Geruch oder Sicht beschränken sich magnetische Verbindungen auf mehrere 10 Meter. Erst wenn der Abstand gering wird, kann die magnetische Komponente der Wahrnehmung wirksam werden. Es ist wahrscheinlich, dass magnetische Signale, die von der Beute ausgehen, zur Jagd genutzt werden. Umgekehrt kann die Nähe des Jägers das Beutetier magnetisch warnen. Polarfüchse können z. B. ihre Beute unter dem Schnee finden, es muss also keine direkte Bindung vorliegen.

Das Gleichgewicht zwischen den beiden Signal-Fähigkeiten wird durch evolutionäre Anpassungsprozesse bestimmt, wie etwa Strategien der Greifvögel beim Jagen sichtbarer Beute oder bei Bären durch riechen der Beute. Man kann sehr wahrscheinlich diesen Sinnen den magnetischen Sinn als Teil der Überlebensstrategie hinzufügen. Im Unterschied zur Wahrnehmung des Magnetfeldes in Luft gibt es im Meerwasser Tiere, die sich über elektrische Signale orientieren. Haie und andere Knorpelfische sind mit Lorenzini'schen Ampullen ausgestattet, damit können sie durch die elektrische Leitfähigkeit des Salzwassers Änderungen der elektrischen Felder in der Nähe wahrnehmen. Für Jäger an Land ist die elektrische Leitfähigkeit der Luft viel zu gering, da muss die Natur auf Magnetfelder zurückgreifen, die sich in der Luft schnell ausbreiten, auch wenn sie mit der Entfernung abnehmen.

Dass Menschen einen Magnetsinn haben, ist nicht allgemein anerkannt, man kennt es nur bei Tieren, die mit dem Erdmagnetfeld navigieren. Es mag einen großen Unterschied zwischen Tieren und Menschen geben, beim Menschen wird der Magnetsinn zu gesellschaftlichen Zwecken genutzt als Ergänzung zu Gehör, Geruchs-, Gesichts- und Tastsinn. Die Stärke der Sinne ist bei verschiedenen Arten unterschiedlich ausgeprägt, stark ist bei Hunden der Geruchssinn, bei Greifvögeln das Sehvermögen. Da stellt sich die Frage nach der Elektrosensibilität, obwohl diese durch Hautreaktionen und neurologische Beeinträchtigung charakterisiert ist. Elektrosensibilität unterscheidet sich klar von den bisher beschriebenen Vorgängen, und sie kann durch sehr verschiedene Frequenzen entstehen. Sie ist denkbar als Manifestation durch sensorische Überlastung nach Langzeitexposition, was zu physiologischen Problemen führt.

Es gibt gute Gründe anzunehmen, dass zumindest ein Teil des Bindungsverhaltens, das bei höheren Tieren einschließlich des Menschen auftritt, die Folge von einfachen magnetischen Signalen ist. Die Signale werden in die lokale Umgebung durch das Zentralnervensystem mit sehr geringen Feldern im Bereich von einigen Zehnern von nT übertragen. Das passiert unbewusst, beeinflusst aber gesellschaftliche Beziehungen. Empfindlichkeit gegenüber Magnetfeldern kann als früher unerkannter Teil der Sinne Sehen, Hören und Riechen betrachtet werden, der in Rudeln, bei Familienbanden und großen Ansammlungen von Menschen (erfreuliche oder unangenehme) wirksam ist. Auf eine andere Weise auch beim Räuber-Beute-Geschehen.

Ob Magnetfelder bei Instinkten eine Rolle spielen, ist völlig unklar. Instinktives Verhalten ist ein sehr komplexer Vorgang. Es könnte einen zweistufigen Prozess geben, der von der Mutter auf das Ei bzw. im Uterus auf die Nachkommen übertragen wird, so dass Informationen im Zusammenhang mit dem Erdmagnetfeld an nachfolgende Generation weiter-

gegeben werden. Die Nutzung von elektrischen Feldern zum Jagen zeigt die enge Verbindung zwischen Lebewesen und dem elektromagnetischen Feld. Die Evolution hat sicherlich die physikalischen Prinzipien genutzt, um die Erfordernisse beim Jagen zu entwickeln, vor allem die Informationsübertragung über elektrische und magnetische Felder. Man kann vereinfacht sagen: Die Natur nutzt zur Übertragung von Informationen innerhalb eines Individuums elektrische Felder, zwischen Individuen eher Magnetfelder, letzteres beispielsweise beim Jagen. Bewusstsein scheint ein elektromagnetisches Phänomen zu sein, mit dem ein Individuum ein anderes beeinflussen kann.

**Quelle:** Liboff AR (2016): The electromagnetic basis of social interactions. *Electromagnetic Biology and Medicine*, <http://dx.doi.org/10.1080/15368378.2016.1241180>

## Erdmagnetfeld und Pflanzenwachstum

# Fehlendes Erdmagnetfeld vermindert Blütenbildung

**Wenn Ackerschmalwand-Pflanzen (*Arabidopsis thaliana*) in einem Fast-Null-Magnetfeld (FNF) aufwachsen, werden Wachstum, Entwicklung und Blütenbildung verzögert. Die Ergebnisse dieser Experimente zeigen, dass das fehlende Erdmagnetfeld die Konzentrationen von verschiedenen Gibberellinen unter Beteiligung von Cryptochromen vermindert, wodurch Wachstum, Entwicklung und Blütenbildung verzögert werden.**

Man wollte der Frage nachgehen, wie Pflanzen sich auf langen Weltraumflügen ohne Magnetfeld verhalten. Frühere Experimente hatten ergeben, dass die Blütenbildung durch ein Fast-Null-Magnetfeld unterdrückt wird über die Regulation durch Cryptochrome (das sind Photorezeptoren für blaues Licht, die bei der Blütenbildung und Aufrechterhaltung des Tag-Nacht-Rhythmus mitwirken). Um den physiologischen Mechanismus zwischen Magnetfeldern, Cryptochromen und physiologischen Änderungen zu finden, wurden Gibberellin(GA)-Konzentrationen und deren Genexpression bestimmt, in Wildtyp und Mutanten von *Arabidopsis thaliana*. Gibberelline sind Pflanzenhormone, die für das Wachstum von Pflanzen benötigt werden. Zu geringe oder zu hohe Konzentrationen beeinträchtigen Wachstum und Entwicklung. Verschiedene Varianten der Gibberelline regulieren das Wachstum in aufeinander folgenden Schritten (Kaskaden) bis zur Blütenbildung. Die Höhe der Gibberellin-Konzentrationen wiederum wird durch andere Faktoren reguliert.

Um herauszufinden, ob Gibberelline an Wachstumsveränderungen durch das fehlende Erdmagnetfeld beteiligt sind, wurden Samen verschiedener genetischer Varianten von *Arabidopsis thaliana* unter 2 Bedingungen aufgezogen, mit dem natürlichen Magnetfeld (Kontrolle) und ohne (Kompensation durch 3 Helmholtzspulen). Das Erdmagnetfeld vor Ort beträgt 45  $\mu$ T. Für die GA-Analyse wurden 15 und 33 Tage alte Pflanzen (vegetative Wachstumsphase und Übergang von der vegetativen zur reproduktiven Wachstumsphase) eingesetzt. Um den Verlauf der Entwicklung zu sehen, wurden auch die Pflanzengene nach 15 und 33 Tagen untersucht, jeweils in 3-fach Ansätzen und in 3 unabhängigen Wiederholungen. Die Experimente und die Bedienung der Geräte wurden von verschiedenen Personen durchgeführt.

Die GA-Gene waren beim Wildtyp ohne MF nach 15 Tagen signifikant bis zu 63 % reduziert im Vergleich mit den Kon-

trollpflanzen. Nach 33 Tagen gab es je nach GA-Variante bis zu 72 % Reduktion im Wildtyp ohne Magnetfeld. Die Cryptochrom-Mutanten zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen in beiden Wachstumsphasen. Drei Gibberellin-Oxidase-Gene waren beim Wildtyp nach 15 Tagen im FNF um 69, 63 und 65 % vermindert gegenüber den Erdmagnetfeld-Kontrollen, nach 33 Tagen um 64, 61 und 52 %; die zwei weiteren unterschieden sich kaum von den Kontrollen. Das Blühgen LFY war beim Wildtyp nach 15 Tagen im FNF signifikant vermindert, während SOC1 sich kaum von der Kontrolle unterschied. Nach 33 Tagen waren beide bis 49,4 bzw. 46 % herunterreguliert gegenüber der Erdmagnetfeld-Kontrolle.

Schon früher war gefunden worden, dass das Blühen von Arabidopsis im FNF verzögert wird. Das hängt mit dem Blaulicht-Anteil zusammen und deutete auf eine Beteiligung von Cryptochromen bei der Blütenentwicklung hin (s. auch ElektrosmogReport 9-10/2015). Die Cryptochrom-Funktion könnte demnach durch das fehlende Magnetfeld beeinflusst werden. Nach den hier vorliegenden Experimenten stellt sich heraus, dass Cryptochrome eine wichtige Rolle bei der Blütenbildung in Arabidopsis spielen im Zusammenwirken mit Gibberellinen. Die verschiedenen Gibberelline haben verschiedene Funktionen in einer Reaktionskette, die schließlich in der Blütenbildung münden. Bestimmte bioaktive Gibberelline fördern das Blühen von Pflanzen, indem sie die Expression von den Blüten-Genen LFY und SOC1 induzieren. Diese Prozesse werden über Cryptochrome reguliert.

Man kann schließen, dass die Wirkung des Fast-Null-Magnetfeldes zu niedrigeren Gibberellin-Konzentrationen führt. Durch die niedrigen Gibberellin-Konzentrationen werden die Gene LFY und SOC1 herunterreguliert, was in Verzögerung der Blütenbildung bei Arabidopsis resultiert. Die Regulation der Gibberellin-Biosynthese-Gene im Fast-Null-Feld wird durch Cryptochrome vermittelt. Zudem zeigen die nicht-signifikanten Änderungen der Expression von den Genen, die Gibberellin-Signalgebung zu tun haben, dass die Signalgebung der Gibberelline durch das Fast-Null-Feld in Arabidopsis nicht verändert wird.

**Quelle:** Xu C, Yu Y, Zhang Y, Li Y, Wei S (2017): Gibberellins Are Involved in Effect of Near-Null Magnetic Field on Arabidopsis Flowering. *Bioelectromagnetics* 38, 1–10

## Magnetfeldwirkung auf Pflanzen

# Statische Magnetfelder beeinflussen Weizen-Epigenetik

**Das Einwirken eines 7-mT-Magnetfeldes auf Weizen-Kalli führt zu Veränderungen, abhängig von Dauer und Entwicklungsstadium: Je jünger der Kallus desto höher ist die DNA-Methylierungsrate und der Polymorphismus. Magnetfelder könnten ein wirkungsvolles Instrument zur Erzeugung epigenetischer Änderungen sein, um ökonomische Vorteile in der Landwirtschaft zu erzielen.**

Die DNA ist ständig von Schädigung durch endogene und exogene Faktoren bedroht und deshalb auch ständig mit Reparatur beschäftigt. Zu den exogenen Faktoren zählen u.a. Magnetfelder. Wenn die Reparaturmechanismen nicht ausreichen, hauptsächlich durch erhöhte Schädigung oder Fehler in den Reparaturmechanismen, entsteht Polymorphismus, d.h. viele Genvarianten durch Methylierung der DNA.

Das Erdmagnetfeld von etwa 50  $\mu$ T ist ein natürliches Phänomen, an das Lebewesen angepasst sind. Die ICNIRP hat

400 mT (Ganzkörper) als Grenzwert für die Öffentlichkeit empfohlen, obwohl früher 40 mT empfohlen worden waren. Geringe Veränderungen in der Feldstärke schon bei geringen Intensitäten können große Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum in Hinblick auf die Redox-Homöostase haben, was an Bohnen, Sonnenblumen, Zwiebeln und Weizen gezeigt wurde. Positive Auswirkungen können Feldstärken von 4 bis 10 mT auf Wachstum und Ertrag haben, wenn die Samen mit Magnetfeldern vorbehandelt werden. Außerdem sind die Pflanzen widerstandsfähiger gegenüber Trocken- und Hitzestress. Man hat zudem festgestellt, dass die Magnetfelder DNA-Veränderungen erhöhen (Mutationen, Replikation, Transkription und Translation). DNA-Methylierung spielt eine wichtige Rolle bei epigenetischen Prozessen, sie tritt auf bei Änderung der Umgebungsbedingungen und kann zu Anpassung an diese Bedingungen führen. DNA-Methylierung ist auch ein Schutzmechanismus für das Genom gegen schädliche Einwirkungen, die DNA-Sequenzen verändern könnten. Methylierung reguliert die Genexpression durch die Bindung einer Methylgruppe an die Base Cytosin im DNA-Molekül. In dieser Studie sollte untersucht werden, ob statische Magnetfelder geringer Feldstärke DNA-Schäden und Methylierung von Cytosin hervorrufen können.

Je 100 Samen von Brot-Weizen (*Triticum aestivum* L.) ließ man keimen, die Sprossachsen der Embryonen wurden horizontal und vertikal eingeschnitten und in Kulturmedium überführt, so dass die so genannten Kalli (Pflanzenabschnitte mit undifferenzierten Zellen) wachsen können. Die 7-mT-Magnetfeldbehandlung erfolgte an 7 und 14 Tage alten Kalli für 24, 48, 72, 96 und 120 Stunden; als Kontrolle dienten unbefeldete Kalli. Die Kallus-Periode war nach 21 Tagen der Inkubation beendet, da wurde die DNA isoliert und auf Polymorphismus und Methylierung untersucht.

Es kam während der Experimente zu keiner Temperaturerhöhung. Polymorphismus-Bänder zeigten sich im Verschwinden von normalen und Erscheinen von neuen Banden im Gel durch Einwirkung der Magnetfelder. Die höchste Anzahl von verschwundenen und neuen Banden war bei 7 Tage alten Kalli nach 120 Stunden, höchste Anzahl waren 6 Polymorphismus-Banden, niedrigste eine Bande. Die höchsten Polymorphismusraten sah man bei 7 und 14 Tage alten Kalli nach 120 Stunden gegenüber der Kontrolle, d. h. je länger die Einwirkdauer der Magnetfelder desto größer ist der genomische Polymorphismus. Die genomische Stabilität nahm mit jedem Tag der Magnetfeld-Einwirkung ab. Das Verschwinden der Banden war bei 7 Tage alten befeldeten Kalli größer, während nach 14 Tagen mehr neue Banden erschienen.

Die Untersuchung der Magnetfeldwirkung auf die Methylierung des Cytosins der DNA ergab einen starken Anstieg bei 7 und 14 Tage alten Kalli, die höchste Methylierungskonzentration trat auf bei 7 Tagen und 120 Stunden (25,1 %). Die statischen Magnetfelder scheinen genomische Instabilität und DNA-Methylierung auslösen. Der zunehmende Polymorphismus während zunehmender Einwirkdauer statischer Magnetfelder ist ein bemerkenswertes Ergebnis dieser Studie. Bei den Weizen-Kalli als biologisches Material ist die Wachstumsphase entscheidend für die Wirksamkeit: je jünger der Kallus desto stärker sind DNA-Methylierungsrate und Polymorphismus. Schlussfolgerung: Statische Magnetfelder können als wirtschaftliches und wirkungsvolles Instrument zur Induktion epigenetischer Veränderungen in Weizen eingesetzt werden.

### Quelle:

Aydin M, Taspinar MS, Cakmak ZE, Dumlupinar R, Agar G (2016): Static Magnetic Field Induced Epigenetic Changes in Wheat Callus. *Bioelectromagnetics* 37, 504–511