

# Der Kompass im Eis

Jedermann weiss, dass sich eine bewegliche Magnetnadel nach Norden ausrichtet und daher als Orientierungshilfe in unbekannten Gebieten oder bei schlechten Sichtverhältnissen sehr nützlich ist. Seit mehr als 2000 Jahren ist das Prinzip des Magnetkompasses bereits bekannt und hat der Menschheit unschätzbare Dienste bei der Navigation geleistet. Auch Zugvögel und andere Tiere scheinen über einen eingebauten Magnetkompass zu verfügen, der es ihnen erlaubt, ihr Ziel sehr genau anzusteuern. Hätte es den Magnetkompass jedoch schon vor Jahrtausenden gegeben, hätte er nicht immer zum Nordpol gezeigt. Im Laufe der Erdgeschichte kam es nämlich immer wieder zu Umpolungen des Erdmagnetfelds.

Obwohl das Erdmagnetfeld (Abb. 1) bereits seit 300 Jahren genauer untersucht wird, bezeichnete Einstein es als eines der grössten ungelösten Probleme der Wissenschaft. Zwischenzeitlich konnten viele Fragen zur Entstehung und Ausrichtung (Abb. 2) des Magnetfelds beantwortet werden (siehe Kasten) [1–3]. Wieso es aber im Laufe der Erdgeschichte immer wieder zu Umpolungen des Erdmagnetfelds kam (Abb. 3), bleibt weiterhin ein Rätsel. Zur Beantwortung dieser Frage müssen zunächst einmal Stärke und Polung des Erdmagnetfelds bis weit in die Vergangenheit hinein rekonstruiert werden. Die EAWAG konnte zeigen, dass die

Messung von Radioisotopen in Eisbohrkernen eine neue Methode zur Bestimmung des Erdmagnetfelds darstellt.

## Aufzeichnung des Erdmagnetfelds in Paläoarchiven

Traditionellerweise nutzen Paläomagnetiker Sedimente und Vulkangestein zur Rekonstruktion des Erdmagnetfelds. In den Sedimenten gilt das Interesse den magnetischen Partikeln, die sich in der Vergangenheit dort Schicht um Schicht abgelagert haben. Solange diese Partikel im Sediment noch beweglich waren, richteten sie sich wie eine Nadel im Kompass am Magnetfeld aus. Dabei stehen sie umso strammer in Reih und Glied, je stärker das damals herrschende Magnetfeld war. Wird später ein Sedimentkern gestochen, kann sowohl die Richtung als auch die Intensität des vergangenen Erdmagnetfelds bestimmt werden. Ähnlich ist es bei der Bildung von Vulkangestein. Bei einem Vulkanausbruch werden extrem heisse Gesteinsmassen aus dem Erdinneren an die Oberfläche befördert. Solange die Lava noch flüssig ist, ist sie nicht magnetisierbar. Erst beim Abkühlen richten sich die ferromagnetischen Bestandteile der Lava nach dem Erdmagnetfeld aus.

Diese Methoden der Magnetfeldrekonstruktion bewähren sich vor allem dann, wenn das vergangene Erdmagnetfeld stark war, die Sedimente homogen und reich an Magnetpartikeln sind und das darin gespeicherte Magnetfeld später nicht durch andere Prozesse gestört wurde.

## Ursache, Ausrichtung und Stärke des Erdmagnetfelds

Die Erde ist von einem Magnetfeld umgeben (Abb. 1). Die Ursache für das Magnetfeld liegt in den Konvektionsströmen von flüssigem Eisen im Erdinneren: Ähnlich wie bei Wasser steigt wärmeres Eisen nach aussen auf und kälteres Eisen sinkt ins Erdinnere ab.

Die Ausrichtung der Magnetfeldachse stimmt nicht mit der Ausrichtung der Erdachse überein, d.h. die magnetischen Pole fallen nicht mit den geografischen Polen zusammen (Abb. 1). Zudem befinden sich die magnetischen Pole auf einer kontinuierlichen Wanderung. So hat sich der magnetische Nordpol während der letzten 2000 Jahre in der Arktis über Tausende von Kilometern verschoben (Abb. 2). Vor rund 300 Jahren erreichte er Grönland, heute liegt er in Kanada und es ist unklar wohin die Wanderung in Zukunft geht.

Neben der Ausrichtung des Magnetfelds ändert sich auch seine Stärke mit der Zeit. Besonders interessant wird es, wenn die Feldstärke gegen Null geht. Denn beim erneuten Ansteigen der Feldstärke kann es zu einer Umpolung kommen, so dass der magnetische Nordpol plötzlich auf der Südhalbkugel ist, wo er sich in der Regel für einige 100 000 Jahre aufhält, bevor er als Folge einer erneuten Umpolung wieder auf die Nordhalbkugel zurückkehrt. Der Zeitpunkt einer Umpolung scheint keiner Gesetzmässigkeit zu folgen und lässt sich daher nicht voraussagen. Die letzte Umpolung, die so genannte Brunhes-Matuyama-Umpolung, liegt bereits 780 000 Jahre zurück (Abb. 3).

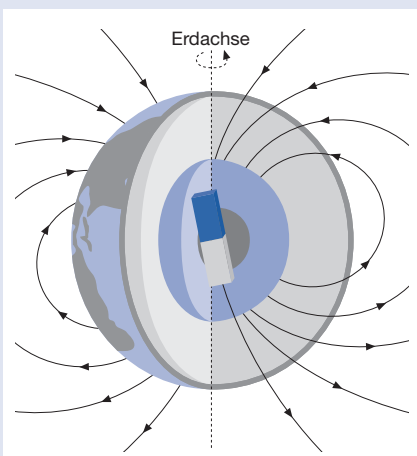


Abb. 1: Das Erdmagnetfeld kann vereinfacht als Dipolfeld dargestellt werden, das von einem imaginären Stabmagneten im Erdinneren erzeugt wird. Allerdings weicht die Achse des Stabmagneten leicht von der Drehachse der Erde ab.

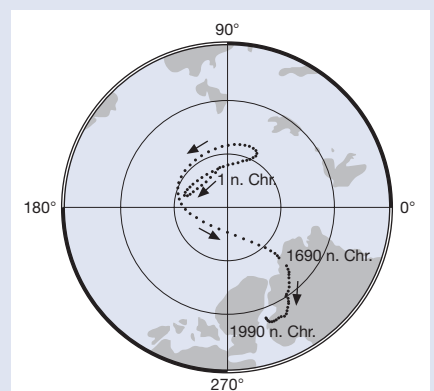


Abb. 2: Wanderung des magnetischen Nordpols durch die Arktis während der letzten 2000 Jahre [1]. Die Wanderung geht weiter.

## Die Radioisotopen-Methode

Grundlage der neuen Radioisotopen-Methode ist die Analyse von polaren Eisbohrkernen. Obwohl dieses Eis fast aus Reinstwasser besteht und so gut wie keine magnetischen Partikel enthält, liefert es trotzdem wertvolle Hinweise über die Vergangenheit des Erdmagnetfelds. Diese Informationen liest man aus der Menge an Radioisotopen wie beispielsweise Beryllium-10 ( $^{10}\text{Be}$ ) und Chlor-36 ( $^{36}\text{Cl}$ ) heraus, die in einem Gramm Eis gefunden werden. Ist das Erdmagnetfeld stark, entstehen weniger Radionuklide, weil die kosmische Strahlung abgeschirmt wird. Dagegen wird die mittlere globale Nuklidproduktionsrate bei «ausgeschaltetem» Magnetfeld mehr als verdoppelt. Nimmt man zudem an, dass die langsamen Änderungen des im Eis gefundenen  $^{10}\text{Be}$  und  $^{36}\text{Cl}$  nur durch das Magnetfeld verursacht wer-

den und sich schnellere solare Änderungen ausmitteln, so verfügt man über eine neue, völlig andere Methode, um die Stärke des Erdmagnetfeldes in der Vergangenheit zu rekonstruieren. Im Unterschied zu den traditionellen Methoden ist diese Methode umso empfindlicher, je schwächer das Feld ist. Ein weiterer Vorteil ist, dass sich lokale Änderungen im Magnetfeld kaum auf diese Methode auswirken.

## Verlässliche Ergebnisse mit der Radioisotopen-Methode

Um abzuschätzen, ob die Radioisotopen-Methode tatsächlich verlässliche Ergebnisse liefert, haben wir die beiden Methoden einander gegenübergestellt. Abbildung 4 zeigt die Magnetfeldstärken, die einerseits durch Bestimmung der  $^{10}\text{Be}$ - und  $^{36}\text{Cl}$ -Konzentrationen im GRIP-Eisbohrkern aus Grönland [2] und andererseits anhand traditioneller Messungen an einem Sedimentkern aus dem Mittelmeer [3] rekonstruiert wurden. Beide Methoden lieferten bis auf wenige Ausnahmen übereinstimmende Ergebnisse. So bestätigen die Radionuklid-

messungen beispielsweise, dass sich das Erdmagnetfeld vor rund 40 000 Jahren auf ca. 10% seines heutigen Wertes abschwächte. Kurz bevor es zu einer Umpolung gekommen wäre, kippte es jedoch wieder in den alten Zustand zurück. Damit hat die Radioisotopen-Methode ihre Feuerprobe bestanden. Zukünftig kann sie über den gesamten Zeitbereich eingesetzt werden, der von Eisbohr- und Sedimentkernen abgedeckt wird, und so sollte es möglich sein, das Magnetfeld für die letzten rund 1 Million Jahre zu rekonstruieren.

Was aber bringt die Zukunft? Wann ist mit einer erneuten Umpolung zu rechnen? Seit ca. 2000 Jahren nimmt die Magnetfeldstärke wieder kontinuierlich ab, so dass es bei gleich bleibendem Tempo in etwa 2000 Jahren wieder zu einer magnetischen Umpolung kommen könnte. Für uns Menschen wird dies nicht spürbar sein, wie aber Zugvögel auf eine Umpolung reagieren und ob sie ihre angestammten Ziele weiterhin problemlos auffinden, ist unklar.

Jürg Beer, Portrait siehe S. 5

- [1] Hongre L., Hulot G., Khokhlov A. (1998): An analysis of the geomagnetic field over the past 2000 years. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 106, 311–335.
- [2] Wagner G., Masarik J., Beer J., Baumgartner S., Imboden D., Kubik P.W., Synal H.-A., Suter M. (2000): Reconstruction of the geomagnetic field between 20 and 60 kyr BP from cosmogenic radionuclides in the GRIP ice core. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 172, 597–604.
- [3] Tric E., Valet J.P., Tucholka P., Paterne M., LaBeyrie L., Guichard F., Tauxe L., Fontugne M. (1992): Paleointensity of the geomagnetic field during the last 80,000 years. *Journal of Geophysical Research* 97, 9337–9351.

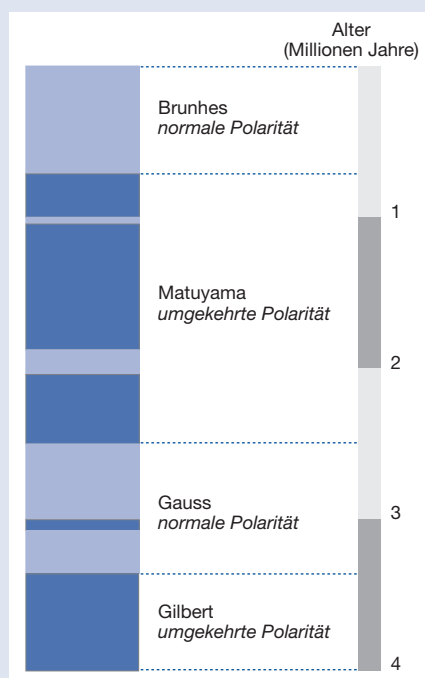


Abb. 3: Umpolungen des Erdmagnetfeldes während der letzten 4 Mio. Jahre. In den hellblauen Zeitabschnitten herrschte die gleiche Polarität wie heute, dunkelblaue Bereiche repräsentieren eine umgekehrte Polarität. Einige Epochen wurden nach Forschern benannt, die sich mit Fragen des Erdmagnetfeldes auseinandergesetzt haben.

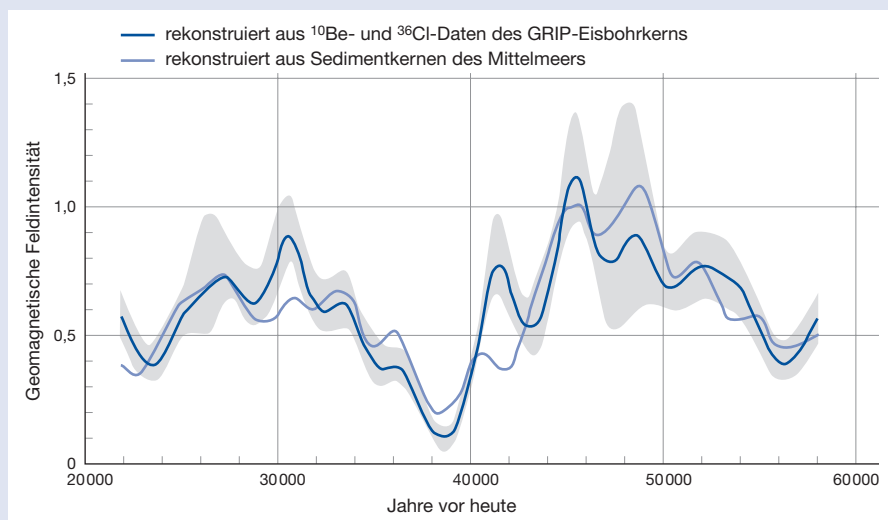


Abb. 4: Rekonstruktion der Magnetfeldstärke über den Zeitbereich 20 000–60 000 Jahre vor heute. Vergleich der neuen Radioisotopen-Methode (dunkelblaue Kurve: kombinierte  $^{10}\text{Be}$ - und  $^{36}\text{Cl}$ -Daten aus dem GRIP-Eisbohrkern [2]) mit der traditionellen Methode (hellblaue Kurve: Ausrichtung von magnetischen Partikeln in einem Sedimentkern aus dem Mittelmeer [3]). Das graue Band stellt den Fehlerbereich der Radioisotopen-Methode dar. Das Fehlerband der traditionellen Methode ist nicht dargestellt.