

Aus Nord wird Süd: Die Pole des Erdmagnetfeldes tauschen gelegentlich ihre Plätze – die nächste Umpolung ist überfällig

Was wird, wenn die Erde wieder einmal kopfsteht?

VON MARKUS WEIDMANN

In 2900 Kilometer Tiefe habe ich einen Ozean aus flüssigem Eisen und Nickel entdeckt. Rund 5800 Grad heiss, 2300 Kilometer tief. Die Eisen-Nickel-Schmelze fließt mit einer Geschwindigkeit von etwa 90 Metern pro Tag träge dahin. Könnte man sie auf die Erdoberfläche ausfliessen lassen, so würde sie die gesamte Erde bedecken – 300 Kilometer tief. Durch die Schmelze jagen elektrische Ströme in der Grössenordnung von zwei Milliarden Ampère. Nach einer Tauchfahrt auf den Grund des metallenen Ozeans habe ich eine solide Kugel aus Eisen gefunden, welche vom Ozean umströmt wird. Sie ist mit einem Durchmesser von 2400 Kilometern nur um ein Drittel kleiner als der Mond.»

Würde Jules Verne seine Erdwissenschaftler heute auf die «Reise zum Mittelpunkt der Erde» schicken, so wäre dies ihr fantastischer Reisebericht – eine auf modernen erdwissenschaftlichen Erkenntnissen und Modellvorstellungen beruhende

AUSWIRKUNGEN In den vergangenen vierzig Millionen Jahren kam es zu weit über hundert Umpolungen. Die letzte fand vor 780 000 Jahren statt – statistisch gesehen ist die nächste also überfällig. Was würde in einem solchen Fall geschehen? Der Erdwissenschaftler Markus Weidmann skizziert mögliche Auswirkungen.

Beschreibung des äusseren flüssigen und des inneren festen Erdkerns.

Die träge strömende, elektrisch leitende Schmelze des äusseren Erdkerns erzeugt und erhält seit mindestens dreieinhalb Milliarden Jahren ein Magnetfeld. Dieses beschränkt sich nicht auf den Erdkörper selbst. Es umgibt unseren Planeten als sogenannte Magnetosphäre, welche Tausende von Kilometern weit ins All hinausreicht.

Verschiedenste Veränderungen im Eisen-Nickel-Ozean sind dafür verantwortlich, dass sich das Erdmagnetfeld langfristig äusserst launisch verhält. Dies zeigt sich zum Beispiel daran, dass der Nordpol des Erdmagnetfeldes zur Zeit gemächlich gen Westen driftet. Aus diesem Grund haben sich in London die zum Nordpol weisenden Kompassnadeln seit 1819 um etwa 20 Grad im Gegenuhrzeigersinn gedreht. Jahrhundert vor ist der Nordpol aus der Sicht Londons von West nach Ost gewandert; infolgedessen haben sich die Kompassnadeln der britischen Metropole zwischen 1580 und 1819 um volle 36 Grad im Uhrzeigersinn gedreht. Wer also mit einer alten Seerauberkarte Schätze sucht, aufgepasst: Was einst «...tausend Schritt nach Compas-Nord...» vergraben wurde, liegt heute unter Umständen in einer ganz anderen Richtung!

Ein zweiter, äusserst faszinierender Effekt des unterirdischen Eisen-Nickel-Ozeans ist die sogenannte «Umpolung», bei der die Pole des Erdmagnetfeldes ihren Platz tauschen: Nordpol wird zu Südpol, Südpol wird zu Nordpol. Dies heisst nicht, dass die Erde auf ihrer Umlaufbahn um die Sonne einen Purzelbaum schlägt. Auch pflügen die Kontinente nicht durch die Ozeane, um ihre Position auf der südlichen und der nördlichen Erdhalbkugel zu tauschen. Das Ereignis ist nicht sichtbar, aber es lässt sich instrumentell nachweisen: Nach einer zukünftigen Umpolung werden die Nord-Enden aller Kompassnadeln nach Süden in Richtung Antarktis weisen.

Eine Umpolung dauert im Durchschnitt einige tausend Jahre. Im Extremfall vielleicht nur ein paar Wochen: Lavagesteine von Steens Mountain (Oregon, USA) enthalten die Information, dass sich die Pole während einer Umkehrung vor 16 Millionen Jahren um drei Grad pro Tag verschoben haben! Dies würde jedoch bedingen, dass sich die Strömungsgeschwindigkeit der Eisen-Nickel-Schmelze auf mindestens einen Kilometer pro Stunde erhöht, ein Wert, der nach gängigen Modellvorstellungen über den äusseren Erdkern gar nicht möglich ist. Möglich oder unmöglich – die Akte «Steens Mountain» hat auf jeden Fall alle

Erklärungen zur Ursache von Umpolungen und zur Entstehung des Erdmagnetfeldes in ihren Grundsätzen erschüttert.

Während einer Umpolung gibt es wahrscheinlich nur ein sehr schwaches Erdmagnetfeld ohne magnetischen Nord- und Südpol. Zwischen zwei Umpolungen können 10 000 Jahre, aber auch 30 Millionen Jahre vergehen (zur Zeit sind es im Durchschnitt einige hunderttausend Jahre). Nicht jede Umpolung ist definitiv: Es kann sein, dass sie nur ansatzweise stattfindet (eine sogenannte «Exkursion» des Erdmagnetfeldes) oder dass kurz nach der Umpolung wieder eine «Zurückpolung» folgt. In den letzten 40 Millionen Jahren fanden 126 bedeutendere Umpolungen statt; die letzte ereignete sich vor 780 000 Jahren.

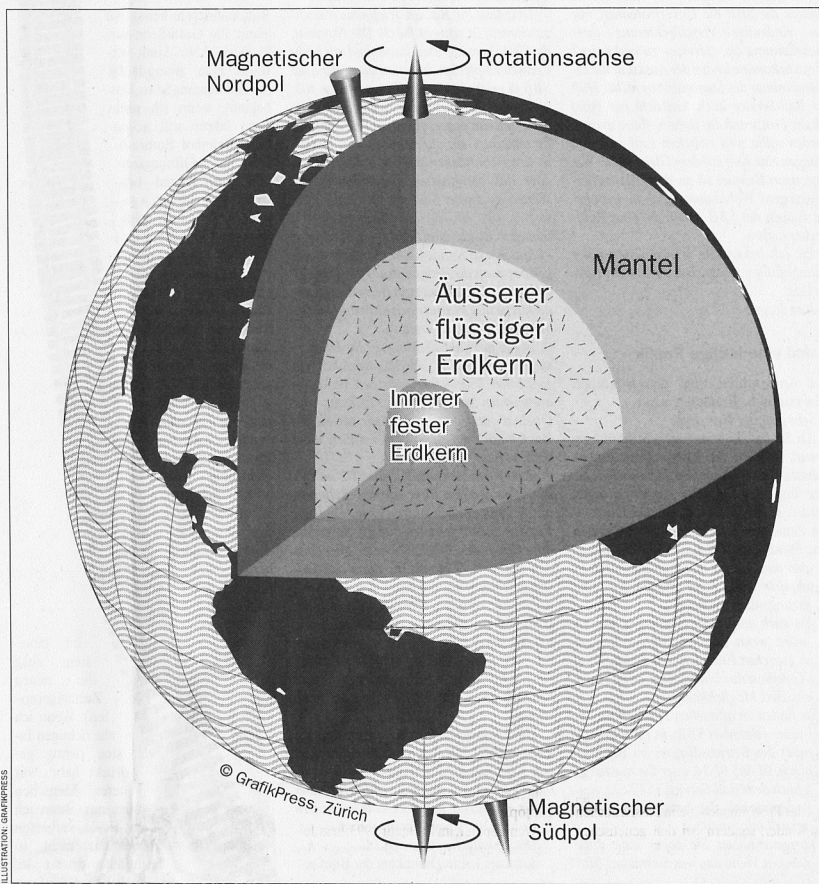
Umpolungen sind letztendlich auf komplexe Prozesse und Instabilitäten im äusseren Erdkern zurückzuführen. Was aber löst diese Instabilitäten aus?

Gewisse Theorien gehen von der Tatsache aus, dass das Erdmagnetfeld die Summe zweier variabler, voneinander unabhängiger Felder ist, welche in verschiedenen Bereichen des äusseren Erdkerns aufgebaut werden. Diese Felder beeinflussen sich gegenseitig – im Extremfall so, dass es zu einer Umpolung des gesamten Feldes kommt. Andere Theorien führen die Umpolung auf komplexere Ursachen zurück. Ein Beispiel: Änderungen in der Umlaufbahn der Erde um die Sonne führen zu einer globalen Temperaturabnahme. Die polaren Eiskappen werden grösser, der Meeresspiegel sinkt. Mit der veränderten Oberflächenverteilung von Eis und Wasser ändert sich das Trägheitsmoment der Erde, was sich schlussendlich auf die Strömungen im äusseren Erdkern auswirkt.

So stüft sich diese Theorie auch liest: Bis heute hat man keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen Erdumlaufbahn und Umpolungen gefunden. Auch ist zweifelhaft, ob das veränderte Trägheitsmoment die Strömungen im Kern so zu ändern vermag, dass es zu einer Umpolung kommt. Für diese Theorie spricht jedoch die Tatsache, dass es jeweils kurz nach den letzten vier Exzentrizitäts-Maxima der Erdumlaufbahn zu «Exkursionen» kam.

Einschläge von Meteoriten

Eine andere Möglichkeit wäre die, dass ein Meteoriteneinschlag das Trägheitsmoment der Erde direkt (oder indirekt über Klimaänderungen und Eiszeiten) verändert und dadurch Turbulenzen im Strömungsmuster des Erdkerns bewirkt. Aber auch diese Theorie steht auf tönernen Füüssen. Erstens ist zweifelhaft, ob die Energie eines Meteoriteneinschlags gross genug ist, um das Strömungsmuster im Erdkern nachhaltig zu verändern. Zweitens fehlen bei vielen Umpolungen die Fakten für einen vorgängigen Meteoriteneinschlag. Und drittens kam es beim dinosauriervernichtenden Einschlag eines Asteroiden in Yucatán (Mexiko) vor 65 Millionen Jahren nicht



Bewegungen im äusseren Erdkern erzeugen und erhalten seit mindestens dreieinhalb Milliarden Jahren ein Magnetfeld

einmal zu einer ansatzweisen, geschweige denn zu einer vollständigen Umpolung.

Was auch immer die Ursache sein mag – welche Folgen hätte eine Umpolung? Diese Frage ist deshalb interessant, weil die Erde ein archaisches Raumschiff ist, das seine biologische Besatzung mit den Schutzschildern der Magnetosphäre und der Atmosphäre vor kosmischer Strahlung schützt. Da während einer Umpolung das Erdmagnetfeld – und damit auch der Schutzschild der Magnetosphäre – schwächer wird, nimmt die Strahlung zu, welche die Erdoberfläche erreicht. Wäre es möglich, dass die mehrere tausend Jahre dauernde verstärkte Strahlung die Evolution, die natürliche Selektion, das Auftreten und Aussterben von Arten beeinflusst? Könnte es sogar sein, dass es während einer Umpolung zu strahlenbedingten Massenaussterben kommt?

Quantitative Abschätzungen haben gezeigt, dass die Atmosphäre auch bei völlig fehlendem Erdmagnetfeld noch eine gentigende Schutzfunktion ausübt: Die Strahlendosis würde am Äquator um etwa zehn

Prozent zunehmen; im Bereich der Pole würde sie sich überhaupt nicht verändern. Weitere Untersuchungen haben ergeben, dass Massenaussterben in vergangener Zeit mit Umpolungen nicht eindeutig korrelierbar sind, ebensowenig wie Evolutionsrate und Umpolungsrate.

Der Kompass der Zugvögel

Eine andere Folge eines fehlenden Erdmagnetfeldes könnte eine Klimaänderung sein. Diese Vermutung basiert auf Hinweisen, dass das Erdmagnetfeld einen gewissen Einfluss auf die Temperatur in der oberen Atmosphäre hat. Als Folge käme es bei einem fehlenden Erdmagnetfeld zu einer grossräumigen Zunahme der Ionisation in Bereichen der oberen Atmosphäre. Es ist aber nicht bekannt, welche klimatischen Auswirkungen (wenn überhaupt) dieser Effekt hätte.

Und wie verhält es sich mit den Tieren, welche sich anhand des Erdmagnetfeldes orientieren? Würden während einer Umpolung Millionen von Zugvögeln desorientiert umherschwirren, könnte keine einzige Brieftaube mehr ihre Post ans Ziel bringen? Bruno Bruderer von der Vogelwarte Sempach sieht keinen Grund für Horrorszenarien dieser Art. «Vögel orientieren sich nicht nur nach dem Erdmagnetfeld, sondern auch nach dem Stand der Sonne oder nachts nach dem Stand der Sterne. Sie verlassen sich somit nicht auf ein einzelnes Orientierungssystem, sondern eichen verschiedene Systeme gegeneinander.» Lange Zeit hielt man das Erdmagnetfeld als Orientierungshilfe für unbedeutend; man ging davon aus, dass jedem Zugvogel die Flugrichtung bezüglich magnetisch Nord angeboren ist. Neueste Untersuchungen deuten aber darauf hin, dass Zugvögel ihren «Kompass» sehr oft zur Orientierung beziehen, denn sie besitzen anscheinend die Fähigkeit, ihn aufgrund der anderen Orientierungssysteme ständig zu justieren.

Ähnlich flexibel wie ein Vogel müsste sich auch der Mensch verhalten. Orientie-

rungläufer, Pfadfinder oder Höhlenforscher müssten wahrscheinlich auf den Kompass verzichten und andere Mittel zur Orientierung einsetzen; ebenso auch Piloten von Helikoptern und Kleinflugzeugen bei mässigem Wetter oder Kanoniere beim Ausrichten ihres Geschützes. (Wie hätten wohl Columbus & Co. in den letzten tausend Jahren die Welt entdeckt und erobert, hätten sie wegen einer Umpolung auf die Orientierungshilfe des Kompasses verzichten müssen?)

Nach einer künftigen Umpolung müsste ein neues Zeitalter definiert werden, in welchem geographisch Nord und magnetisch Nord in entgegengesetzter Richtung liegen – das «Zeitalter des gegensätzlichen Nordens». Wann aber wird uns die nächste Umpolung in dieses Zeitalter führen? Zwar weiss man, dass die Intensität des Erdmagnetfeldes seit etwa hundertfünfzig Jahren zunehmend rasch abnimmt (falls diese Entwicklung anhält, wird das Feld in 1500 Jahren einen Minimalwert erreichen). Dies ist aber kein sicherer Hinweis auf eine baldige Umpolung. Denn vor 190 000 Jahren sank die Intensität des Feldes auf etwa einen Viertel, vor 400 000 Jahren auf etwa einen Drittel des heutigen Wertes; in beiden Fällen kam es nur zu einer «Exkursion».

Beruhigend ist in dieser Hinsicht, dass der Mensch keine Möglichkeit hat, eine Umpolung künstlich auszulösen – mit all dem Metall nicht, das er an der Erdoberfläche anhäuft, aber auch mit keinem noch so starken unterirdischen Atomwaffentest. So ist es auch ausgeschlossen, dass die Menschheit analog zum «Ozonloch» ein «Magnetosphären-Loch» herbeiführt. Der energiegeladene Bereich des Raumschiffes Erde ist den Einflüssen seiner Besatzung für immer verschlossen; eine Reise zum Mittelpunkt der Erde, zum Ozean aus flüssigem Eisen und Nickel wird nie möglich sein. Doch ein Trost bleibt: Jules Vernes Erdwissenschaftler würde ihn vielleicht so formulieren: «Mein Kompass ist das Auge, mit dem ich einen Ozean beobachtet kann.»

Womöglich bedenkliche Folgen

Die nächste Umpolung wird Folgen auf der Erde haben. Womit zu rechnen ist, lässt sich allerdings nur sehr schwer abschätzen:

– **Magnetosphäre:** Mit einer Geschwindigkeit von bis zu drei Millionen Kilometern pro Stunde fegt der Sonnenwind durch den Raum. Die Erde besitzt einen natürlichen Schutzschild gegen den Ansturm der Partikelstrahlung, ihr eigenes magnetisches Feld. Bei einer Umpolung wird die schützende Magnetosphäre schwächer.

– **Navigationssysteme:** In Schiffen, Flugzeugen usw. würden die Navigationssysteme beeinträchtigt und müssten entsprechend angepasst werden.

– **Tiere:** Zugvögel, Meerschilddröten, Wale und andere Tiere benutzen das Magnetfeld, um ihren Weg zu finden. Sie könnten in Schwierigkeiten kommen. Allerdings haben sie auch andere Orientierungsmöglichkeiten. Umpolungen der Vergangenheit wurden gar als Ursache von Massenaussterben verdächtigt – ein eindeutiger Zusammenhang konnte aber nie festgestellt werden.

– **Klima:** Einige Forscher halten eine Klimaänderung als Folge einer Umpolung für möglich. Hinweise, dass das Erdmagnetfeld einen gewissen Einfluss auf die Temperatur in der oberen Atmosphäre hat, führen zu dieser Vermutung.