

Erdmagnetfeld-Umkehr und Eiszeiten

Einleitung. Das Erdmagnetfeld ist ständigen Schwankungen unterworfen. Diese sind – neben seit etwa 150 Jahren durchgeführten direkten Messungen – als Aufzeichnung der *remanenten* (durch das Magnetfeld in bestimmten Materialien eingeprägten) Magnetisierung über größere Zeiträume in vielen Gesteinsarten erhalten (sog. Paläomagnetismus). Erkalte Lava friert beim Abkühlen unter die sogenannte Curietemperatur (für die meisten Gesteine typisch einige hundert Grad Celsius) die zu diesem Zeitpunkt vorherrschende Magnetfeldrichtung und -Stärke ein. Ähnliche Effekte lassen sich z.B. bei gebrannten Ziegeln oder Keramiken beobachten. Auch bei der Ablagerung von Sedimenten in Wasser oder mächtiger Lössschichten an Land richten sich winzige magnetische Körner bevorzugt in Richtung des Erdfeldes aus. Im Gegensatz zu den meist unregelmäßig fließenden Lavaströmen erfolgt die Ablagerung von Sedimenten oft als kontinuierlicher Prozeß.

Bei Tiefseeborungen gewonnene Bohrkerne von Sedimentablagerungen zeigen ein typisches Magnetisierungsmuster von normaler und umgekehrter Polarität, das weltweit in wesentlichen Punkten ähnlich ist. So finden sich abwechselnd längere Bereiche mit normaler und inverser Polarität, die als Epochen bezeichnet werden: Brunhes-Epoche (normale Polarität, heute bis ca. 0,7 Myr [= Mega-years, Millionen Jahre herkömmlicher Zeitrechnung]), Matuyama-Epoche (invers, 0,7 bis 2,45 Myr), Gauß-Epoche (normal, 2,45 bis 3,3 Myr) usw. Die einzelnen Epochen sind mehr oder weniger oft durch kurze, als Episoden bezeichnete Bereiche mit jeweils „falscher“ Feldrichtung durchsetzt. Während die Epochen weltweit nachweisbar sind, differiert das Auftreten der einzelnen Episoden häufig sehr stark von Probenort zu Probenort. Feldanomalien, die nicht notwendigerweise zu einer vollen Umpolung führen, werden oft als *Exkursionen* bezeichnet.

Obwohl letztlich noch keine volle Klarheit über den genauen zugrundeliegenden Mechanismus besteht, kann die Existenz des Erdmagnetfeldes nur mit im Erdkern fließenden elektrischen Strömen erklärt werden, die an durch Wärmeenergie verursachte Fließbewegungen im flüssigen äußeren Erdkern, sogenannte Konvektionsströmungen, gekoppelt sind. Die Erde ist somit eine riesige Magnetspule, deren „Halbwertszeit“ für eine Feldänderung bei einigen 1000 Jahren liegt (d.h., bei Wegfall einer felderzeugenden Kraft würde das Erdmagnetfeld nach Ablauf einer Halbwertszeit nur noch 50% des Ausgangsfeldes betragen, nach 2 Halbwertszeiten noch 25% usw.). Aufgrund dieser Überlegungen würde man im ersten Ansatz erwarten, daß die Zeitdauer für eine komplette weltweite Feldumpolung in der Größenordnung der Halbwertszeit liegen sollte.

Beobachtungen. Seit längerer Zeit werden gelegentlich Magnetisierungsverläufe in erstarrten Lavaflüssen beobachtet, die eine extrem schnelle Feldumkehr zum Teil innerhalb weniger Wochen nahelegen (BECK 1997). Eine Zusammenstellung systematischer Untersuchungen von Sedimentmagnetisierungen liegt nun in einer Arbeit von H.-U. WORM vom Institut für Geophysik der Universität Göttingen vor.

Ein für die Sedimentmagnetisierung typisches Problem liegt darin, daß ein magnetisches Feld bei der Ablagerung nicht unmittelbar gespeichert wird, sondern daß die magnetischen Sedimentkörner bis zu einer gewissen Verfestigung der Schicht noch eine Zeitlang dem veränderten Feld folgen können. Dies führt zu einer „Verschmierung“ der Aufzeichnung, die abhängig ist von stark veränderlichen äußeren Bedingungen wie z.B. der Sedimentationsrate, einer eventuellen biologischen Aktivität

innerhalb der sich ablagernden Schichten, usw. Abschätzungen über diese sogenannte „lock-in“-Tiefe reichen von ca. 1 cm bis hin zu mehr als 40 cm. Magnetisierungsmessungen an Sediment-Bohrkernen spiegeln somit nicht den wahren zeitlichen Feldverlauf wider, sondern ergeben lediglich eine Obergrenze für die mögliche Dauer einer Feldveränderung, die tatsächlich sehr viel schneller ablaufen konnte. Für den Übergang beispielsweise von der Matuyama- zur Brunhes-Epoche wurden für die Dauer der Feldumpolung von verschiedenen Forschungsgruppen als Obergrenzen Werte von <1000 Jahren, 280 Jahren, <50 Jahren und sogar ca. 38 Jahren ermittelt! Derart kurze Zeiträume widersprechen jedoch den gängigen Vorstellungen und sind nicht allgemein anerkannt.

Beim Vergleich einiger an verschiedenen Breitengraden gewonnenen Bohrungen konnte WORM eine erstaunliche Beobachtung machen: Bohrkerne aus hohen Breitengraden (Yermak-Plateau, 82°N) zeigen innerhalb der Brunhes Epoche mehrere voll ausgebildete Intervalle mit inverser Magnetisierung, ein Kern ist sogar zu mehr als 50% seiner Länge invers magnetisiert. Messungen bei mittleren Breitengraden (Vøring-Plateau, 66°N, Nordpazifik, 51°N) ergeben immer noch einige Exkursionen, allerdings ist nur bei wenigen davon eine volle Polaritätsumkehr ausgebildet. Bohrkerne schließlich aus sehr niederen Breitengraden zeigen üblicherweise keinerlei Anzeichen für eine Episode oder Exkursion innerhalb der untersuchten Brunhes-Epoche.

Vergleicht man die paläomagnetischen Ergebnisse mit paläoklimatischen Untersuchungen (z.B. Messung der Sauerstoffisotopen-Verhältnisse, die den Temperaturverlauf widerspiegeln), ergibt sich folgendes Bild: Alle Episoden scheinen im Rahmen der Meßunsicherheit in Zeiten sinkender Temperaturen (d.h. zu Beginn von Eiszeiten) aufzutreten. Einzelne Bohrkerne zeigen zudem in Bereichen mit Exkursionen eine Verarmung an Fossilien, wie sie in Zeiten mit kaltem Klima auftritt. Die Ursache für den Zusammenhang von Erdfeld und Klima ist ungeklärt, möglicherweise hat das veränderte Trägheitsmoment der festen Erde über dem flüssigen äußeren Kern infolge der Verlagerung großer Mengen von Wasser als Eis an die Pole einen Einfluß auf Vorgänge im Konvektionssystem des äußeren Erdkerns und damit auf die Magnetfeld-Erzeugung.

Verbunden mit dem Beginn einer Eiszeit ist ein Absinken des Meeresspiegels und damit eine Erhöhung der Sedimentationsrate in höheren Breitengraden durch stärkeren Gletscherabtrag und freiliegende Küstenbereiche infolge des sinkenden Meeresspiegels. Aufgrund der schnellen Sedimentablagerung würden während dieser Zeit auftretende kurze Exkursionen besonders deutlich aufgezeichnet, da in diesem Bohrkernabschnitt der Zeitverlauf sozusagen „gedehnt“ dargestellt ist. In Brei-

tengraden mit geringerer Sedimentationsrate sollten diese kurzen Exkursionen wegen der Verschmierung durch die endliche „lock-in“-Tiefe in den Bohrkernen überhaupt nicht nachweisbar sein.

Schlußfolgerung. Fügt man die einzelnen Beobachtungen zusammen, ergibt sich folgendes Bild: Es existieren innerhalb der Brunhes-Epoche kurze Exkursionen, bei denen die Feldumkehr so schnell erfolgt ist, daß sie nur in Bohrkernen aus Breitengraden mit zeitweilig hoher Sedimentationsrate (am Beginn von Eiszeiten) nachweisbar sind. Dies würde jedoch bedeuten, daß eine globale Feldumkehr in noch erheblich kürzerer Zeit ablaufen kann, als es bisher allgemein angenommen wurde, laut WORM sogar innerhalb eines Menschenlebens. Weiterhin legen die Beobachtungen nahe, daß diese Feldumkehrungen verstärkt zu Beginn von Eiszeiten auftreten, was einen bislang unbekannten Zusammenhang zwischen Klima und Geodynamo vermuten läßt.

Kann eine globale Feldumkehr
in erheblich kürzerer Zeit ablaufen, als
bisher allgemein angenommen wurde?

Unabhängig von den Messungen an Tiefsee-Bohrkernen existieren Beobachtungen an Lößschichten, die den beschriebenen Sachverhalt erhärten: Lößablagerungen sind Sedimente, die im Vorland vereister Gebiete durch Windverfrachtung abgesetzt wurden; während wärmerer und feuchterer Zeiten wandelten sie sich in „Paläosol“-Böden um. Sowohl die Matuyama-Brunhes Grenze als auch einige Episoden konnten bei Untersuchungen an kontinentalen Sedimentablagerungen (China und Deutschland) festgestellt werden. Derzeitige Ergebnisse deuten darauf hin, daß im Rahmen der vorhandenen Unsicherheiten tatsächlich Feldumkehrungen in Löß (und somit in Zeiten kalten Klimas) aufgezeichnet sind und damit den oben geäußerten Zusammenhang zwischen Erdfeld und Klima bestätigen.

Karlheinz Schweikert

Literatur

- BECK O (1997) Schnelle Änderung des Erdmagnetfeldes. Stud. Int. J. 4, 38-39.
WORM H-U (1997) A link between geomagnetic reversals and events and glaciations. Earth Plan. Sci. Lett. 147, 55-67.

Abnehmender Sexappeal von männlichen Buntbarschen durch Umweltverschmutzung des Viktoriasees

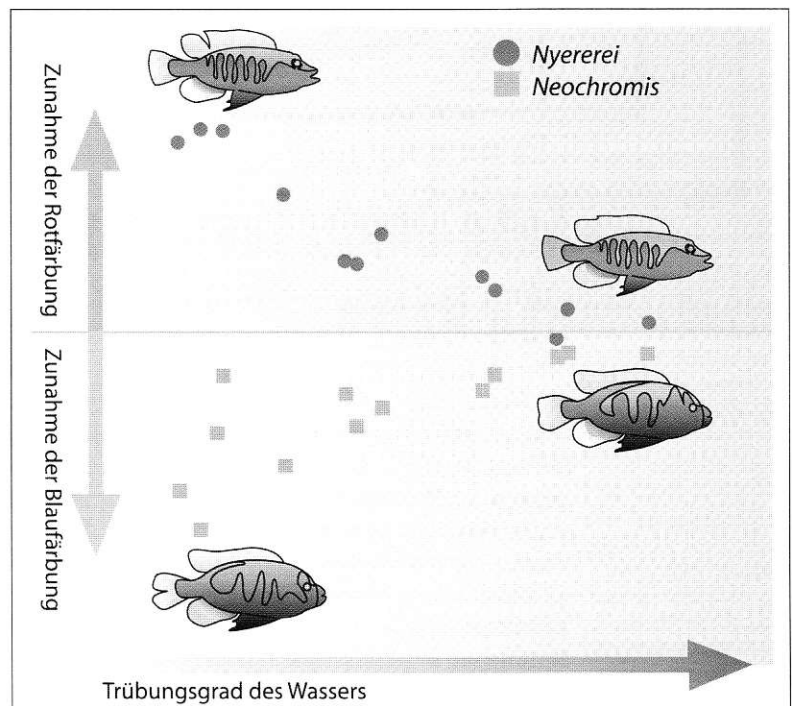
Buntbarsche (Familie Cichlidae) repräsentieren mit mehr als 1000 Arten in etwa 150 Gattungen vermutlich das artenreichste und diverseste Spektrum einer Wirbeltierradiation im mikroevolutiven Rahmen (d.h. innerhalb eines Grundtyps, vgl. SCHERER 1993). Ihre Hauptverbreitungsgebiete sind Afrika und Südamerika. Die meisten dieser Süßwasserfische sind zwischen 10 und 30 cm lang, die Extreme reichen von Daumnagelgröße bis über 70 cm. Da bisher keine Untersuchungen im Rahmen der Grundtypenbiologie vorliegen, ist unklar, ob die Familie einen Grundtyp repräsentiert, doch sprechen viele Indizien dafür.

Der Malawi-See beherbergt beispielsweise mehr als 500 endemische Buntbarscharten, etwas weniger Arten finden sich im Viktoriasee, dem ein geringeres Alter zugeschrieben wird. Man weiß heute, daß die mikroevolutive Entstehung der Buntbarscharten in afrikanischen Seen extrem schnell vor sich gehen kann (FEHRER 1997, TURNER 1998). Dies wurde beispielsweise aus zeitlich nicht weit zurückliegenden Austrocknungen oder Seespiegelschwankungen der zur Diskussion stehenden Seen geschlossen (vgl. EGLI-ARM 1997). Die Evolution der heute beobachteten Arten muß also zeitlich danach stattgefunden haben.

Ein wichtiges Kriterium für die Evolution dieser Arten ist „sexuelle Selektion“. Wenn nahe verwandte Arten sympatrisch (im selben Lebensraum) leben, dann muß sichergestellt sein, daß sich nicht Angehörige verschiedener Arten paaren. Bei Buntbarschen wird dies möglicherweise durch die Färbung der Männchen erreicht. Während die Männchen der einen Art eine kräftig blaue Färbung aufweisen, sind die der anderen, im gleichen Habitat (Lebensraum) lebenden Art stark rot gefärbt. Interessanterweise fallen diese Farben gerade in Bereiche, wo die Netzhaut der Fische besonders empfindlich ist. Die Färbungen könnten also für die jeweiligen Weibchen die Erkennungssignale für den Paarungspartner der eigenen Art sein und damit die (genetisch durchaus mögliche) Kreuzung verschiedener Arten verhindern.

Die genetischen Ursachen für derart schnelle Artbildungen sind nicht im einzelnen bekannt. In einer neuen Arbeit über Buntbarscharten im Malawi-See berichten VAN OPPEN und Kollegen (1998), daß die Artbildung bei Buntbarschen tatsächlich mit sexueller Selektion zusammenhängen könnte. Sie untersuchten das Paarungsverhalten sowie 6 unterschiedliche, stark variable Genorte (Mikrosatelliten) von sympatrisch lebenden Buntbarschar-

ten, welche sich durch die Färbung der Männchen unterscheiden. Die Ergebnisse der genetischen Analyse zeigten, daß die Sequenzen der untersuchten Genorte nicht gleich über alle Färbungsmuster verteilt sind: Die einzelnen Färbungstypen wiesen jeweils unterschiedliche Mikrosatellitensequenzen auf. Die Autoren schließen, daß zwischen den im selben Habitat lebenden Populationen wenig oder gar kein Genfluß existiert. Die Beobachtungen des Paarungsverhaltens durch Taucher führten ebenfalls zu dem Ergebnis, daß die Weibchen sich selektiv mit den entsprechend gefärbten Männchen paaren. Das relativ hohe Maß an Sequenzunterschieden innerhalb der Arten deuten die Autoren als Zeichen für einen geringen Einfluß genetischer Flaschenhalse bei diesen Artbildungen.



In den letzten zwei Jahrzehnten hat die Artenvielfalt der Buntbarsche im Viktoria-See dramatisch abgenommen. Welche Ursachen kommen dafür in Frage? SEEHAUSEN und Mitarbeiter (1997) haben gezeigt, daß zunehmende Eutrophierung dafür verantwortlich ist. Der Grad der Eutrophierung hängt vom Nährstoffgehalt des Wassers ab und dieser nimmt mit steigender Düngung in der Landwirtschaft zu. Das macht sich direkt in der Durchlässigkeit des Wassers für Licht bemerkbar: Je mehr Algen- und Bakterienwachstum, desto

Abb. 1: Korrelation der Färbungsintensität von Buntbarschmännchen der Gattungen Nyererei (A) und Neochromis (B) mit dem Trübungsgrad des Wassers in verschiedenen stark eutrophierten Habitaten des Viktoriasees. Nach SEEHAUSEN et al (1997), verändert.

besser wird Licht im Wasser absorbiert und desto weniger gut können sich die Buntbarsche gegenseitig sehen.

SEEHAUSEN et al. (1997) haben die Artenvielfalt und die Farbenpracht der Buntbarsche an verschiedenen stark eutrophierten Stellen des Viktoriasees untersucht. Es zeigte sich, daß die Intensität der Färbung der Fische mit abnehmender Lichtdurchlässigkeit des Wassers abnimmt (Abb. 1). Die roten Männchen sind dann weniger rot und die blauen weniger blau. Dies hängt wahrscheinlich damit zusammen, daß die Weibchen die Farben ihrer Männchen nicht mehr gut genug sehen können, wenn das Wasser trüber wird. Dadurch kommt es vermehrt zu Paarungen mit einem Männchen der „falschen“ Art, und der Selektionsdruck auf ausgeprägte Färbung fällt weg. Das Endresultat ist eine dramatische Abnahme der Artenvielfalt in solcherart verschmutzten Gewässern innerhalb von wenigen Jahren.

Es wäre interessant zu sehen, ob dieser Prozeß reversibel ist: Kann aus den neu entstandenen Populationen bei geänderten Umweltbedingungen wiederum eine neue Artenvielfalt in kurzer Zeit entstehen? Dies wäre ein experimentelles Indiz dafür, daß ein verborgenes Variationspotential von polyvalenten Stammformen (vgl. JUNKER & SCHERER

1998, S. 285-294) eine explosive Artbildung zur Folge haben kann. Weil in diesen Fällen durch Mutationen keine neuartige genetische Information entstehen muß, könnte man sich extrem schnelle Artbildungsprozesse innerhalb vergleichsweise weniger Generationen gut vorstellen.

Siegfried Scherer

Literatur

- EGLI-ARM F (1997) Kann die Reflexionsseismik eine Austrocknung belegen? Stud. Int. J. 4, 55-58.
 FEHRER J (1997) Explosive Artbildung bei Buntbarschen der ostafrikanischen Seen. Stud. Int. J. 4, 51-55.
 JUNKER R & SCHERER S (1998) Evolution – ein kritisches Lehrbuch. Gießen.
 SCHERER S (Hg., 1993) Typen des Lebens. Berlin.
 SEEHAUSEN O, VAN ALPHEN JJM & WITTE F (1997) Cichlid fish diversity threatened by eutrophication that curbs sexual selection. Science 277, 1808-1811.
 TURNER GF (1998) Explosive speciation in African cichlid fishes. In: MAGURRAN AE & MAY RM (eds) Evolution of biological diversity. Oxford.
 VAN OPPEN MJH, TURNER GF, ROBINSON CRR, DEUTSCH JC, GENNER MJ & HEWITT GM (1998) Assortative mating among rock-dwelling cichlid fishes supports high estimates of species richness from lake Malawi. Mol. Ecol. 7, 991-1001.

Neue Ähnlichkeiten zwischen Nilpferden, Kühen und Walen

Eine provozierende Interpretation der makroevolutiven Ähnlichkeitsvergleiche der letzten Jahre besagt, daß Walartige und Paarhufer einen gemeinsamen Vorfahren besitzen sollen, den alle anderen Säugetiere nicht hatten. Dies wird von morphologischen und molekularen Studien gestützt und gilt damit als eines der besten Beispiele für übereinstimmende Ergebnisse zwischen morphologischen und molekularbiologischen Abschätzungen in der postulierten Säugetiermakroevolution (MILINKOVITCH et al. 1997). Provozierend daran ist, daß beispielsweise Kühe mit den Walen enger verwandt sein sollen als mit den Pferden (vgl. Abb. 1, oben). Daraus ergeben sich widersprüchliche Merkmalsverteilungen, die durch Konvergenzen erzeugt worden sein sollen.

Kürzlich setzte ein Team von japanischen Wissenschaftlern dieser Entwicklung die vorläufige Krone auf: Sie sehen in den von ihnen beobachteten Verteilungsmustern bestimmter Retroposons¹ Hinweise darauf, daß die Wale, Wiederkäuer und Nilpferde einen gemeinsamen Vorfahren besaßen,

den sie *nicht* mit anderen Paarhufern (Schweine und Kamele) teilen (SHIMAMURA et al. 1997). Die Kuh scheint demnach also sogar enger mit dem Wal verwandt zu sein als mit dem Schwein (vgl. Abb. 1, unten). Noch erstaunlicher ist, daß auch das Nilpferd den Walen und Kühen näherstehen soll als den Schweinen, obwohl Generationen von Systematikern Nilpferde und Schweine aufgrund morphologischer Gemeinsamkeiten in der Unterordnung der Suiformes zusammengefaßt hatten.

Wie kommen SHIMAMURA und sein Team zu solch unerwarteten Schlußfolgerungen? Sie suchten im Erbgut von Walen nach kurzen, über das Genom verteilten, sich wiederholenden Sequenzen (kurz SINES für **s**hort **i**nterspersed **e**lements) und fanden deren zwei Familien, die vorher noch nicht bekannt waren. Um zu sehen, ob diese Sequenzen auch in anderen Paarhufern vorkommen, fertigten sie entsprechende DNA-Sonden an, die auf einer Membran dann ein Signal erzeugen, wenn dort eine Gensequenz vorliegt, an die diese spezifische Sonde binden kann. Nachdem auf der Membran das ganze