

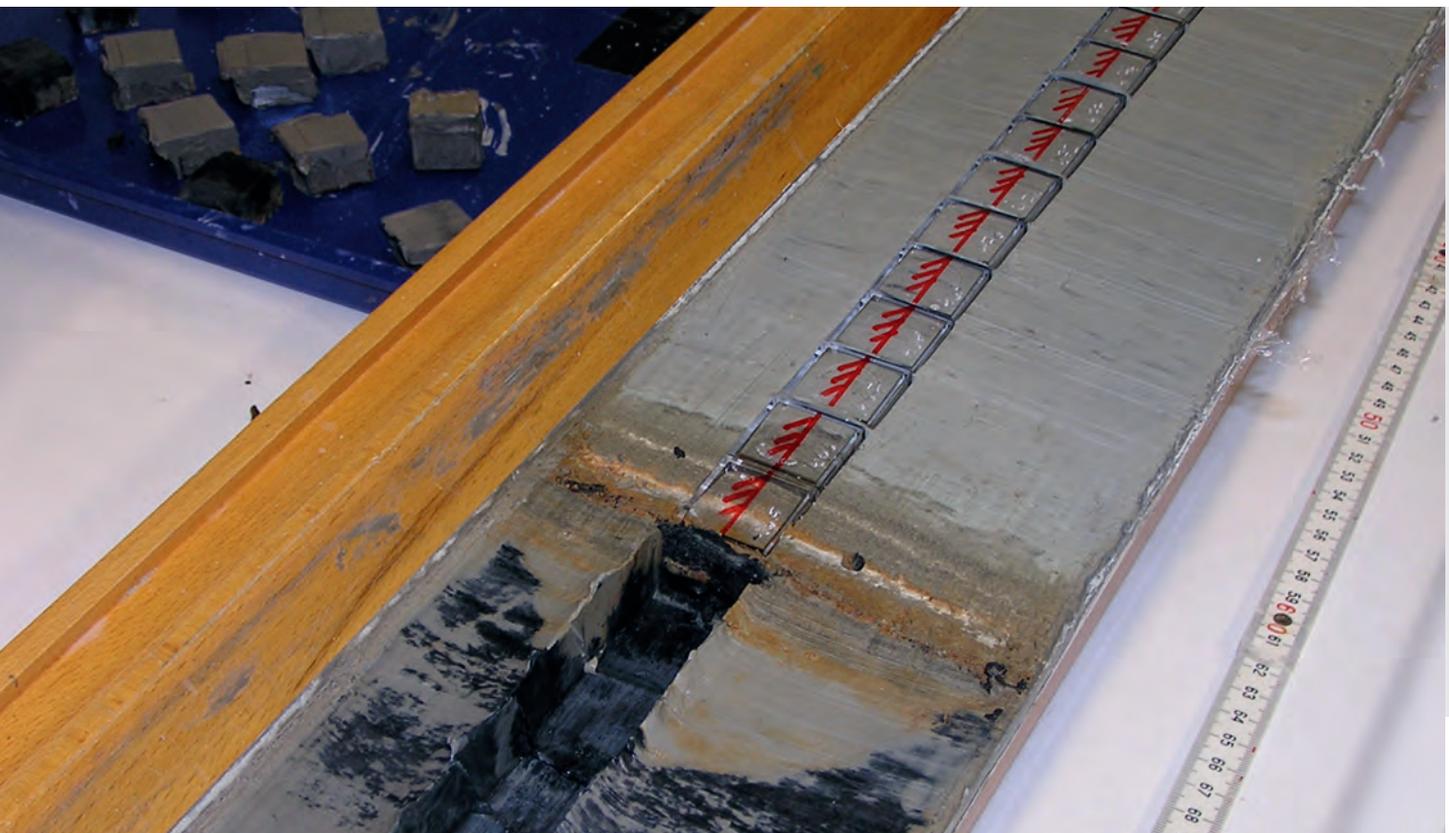
Klima- und Magnetfeldvariationen während der letzten Eiszeit

Das Laschamp-Ereignis vor 41 000 Jahren

Norbert Nowaczyk¹, Helge Arz², Ute Frank¹, Jessica Kind³

¹Deutsches GeoForschungszentrum GFZ, Potsdam, ²GFZ, jetzt: Institut für Ostseeforschung Warnemünde, ³GFZ, jetzt: Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

About 41 ka years ago a short but full reversal of the Earth's magnetic field occurred. First evidence for this event was found in lavas from the French Massif Central by Bonhommet & Babkine (1967). Together with further lavas with magnetization directions that neither resemble a normal nor a reversed polarity of the Earth's magnetic field (Plenier et al., 2007) a common mean radiometric age of 41 ka (Singer et al., 2009) has been determined for the lavas giving evidence for the 'Laschamp' event. This event was named after a village close to the type locality. Paleointensity investigations showed that the geomagnetic field during the Laschamp event was characterized by low field intensities (Roperch et al., 1988; Chauvin et al., 1989). Six sediment cores recovered from the SE Black Sea also document the Laschamp excursion. The data give evidence for a 400 years long fully reversed state of the geomagnetic field associated with minimum field strengths less than 10 % compared to the modern field. Parallel to these drastic variations in geomagnetic field strength the Black Sea sediments also recorded fast temperature changes during the last ice age, first found by oxygen isotope analyses on Greenland ice cores (Dansgaard et al., 1993; Svensson et al., 2008). Thus, geomagnetic field variations could be directly paralleled to climatic variability throughout the last ice age in great detail, testing the hypothesis that there might be a link between both processes. However, data from the Black Sea unequivocally exclude a direct impact of the Earth's magnetic field on climate variability.



Die Typlokalität

Laschamp ist ein kleiner Ort im Zentralmassiv, Auvergne, Frankreich. Während des Quartärs kam es in der Auvergne zur Ausbildung der Vulkankette „Chaîne des Puys“. Ende der 1960er Jahre untersuchte Bonhommet die Magnetisierungsrichtungen von Lavaströmen, die dort während der letzten Eiszeit ausgetreten sind und beim Abkühlen die damalige Richtung des Erdmagnetfelds konserviert haben (Bonhommet & Babkine, 1967). Bereits Gilbert erkannte in seiner 1600 erschienenen Studie DE MAGNETE, dass das Magnetfeld der Erde dem eines Dipols entspricht, dessen Achse parallel zur Rotationsachse orientiert ist und, dass offensichtlich die Erde selbst auch die Ursache dieses Felds ist. Nach heutigem Verständnis wird das Erdmagnetfeld im flüssigen metallischen äußeren Erdkern (dunkelgelb in Abb.1) durch magneto-hydrodynamische Prozesse erzeugt. Gegenwärtig kommen die Feldlinien aus der Südhalbkugel der Erde heraus und gehen in die Nordhalbkugel hinein (Abb. 1a). Das heißt, auf der gesamten Erde zeigt der Kompass mehr oder weniger genau nach Norden. Die Magnetisierungsrichtungen einiger Lavaströme, die von Bonhommet bestimmt wurden, zeigen jedoch nach SW und aus der Erde heraus. Sie entsprechen demnach fast der Konfiguration eines magnetischen Dipolfelds, das dem heutigen entgegengesetzt ist (Abb. 1b und 2). Die Magnetisierungsrichtungen einiger anderer Lavaströme der Chaîne des Puys sind zwar

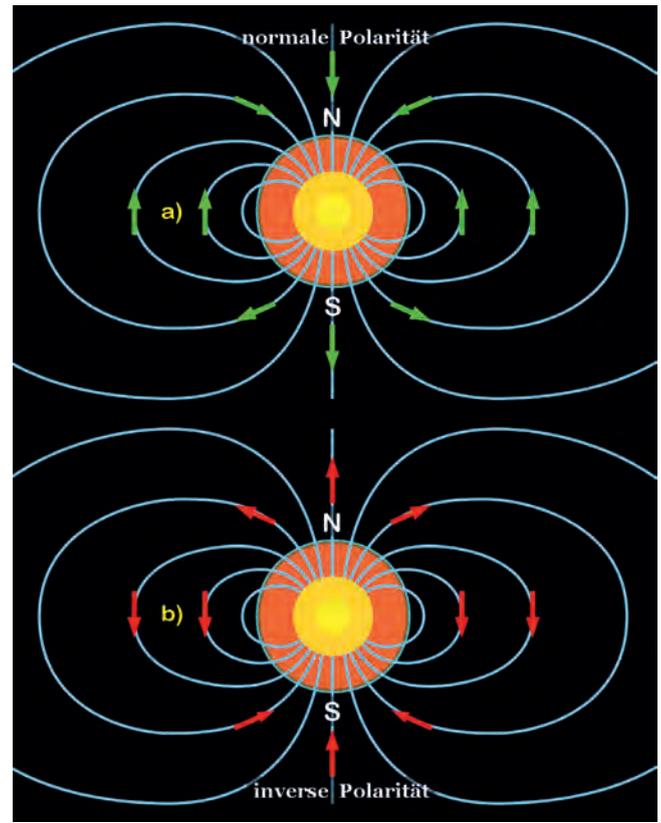


Abb. 1: Vereinfachte Darstellung des Erdmagnetfelds: Orientierung der Feldlinien (hellblau) bei normaler Polarität (a, grüne Pfeile) sowie bei inverser Polarität (b, rote Pfeile). N (S) – geographisch Nord (Süd). Hellgelb – fester innerer metallischer Kern; dunkelgelb – flüssiger äußerer metallischer Kern, Quelle des Erdmagnetfelds; orange – hochviskoser bis fester silikatischer Mantel.

Fig. 1: Simplified sketch of the geomagnetic field: Orientation of field lines (light blue) during normal polarity (a, green arrows) and reversed polarity (b, red arrows). Light yellow – solid inner metallic core; dark yellow – liquid outer metallic core, source of the Earth's magnetic field; orange – highly viscous to rigid siliceous mantle.

Links: Beprobung eines Sedimentkerns aus dem südöstlichen Schwarzen Meer für paläomagnetische Untersuchungen. Der abgebildete Kernabschnitt enthält im vorderen, bereits beprobten Bereich Sedimente, die in der letzten Eiszeit vor etwa 68 000 Jahren abgelagert wurden, als sich im Schwarzmeerbecken ein Süßwassersee befand. Die braunen Schichten in der Mitte markieren eine Schichtlücke zu Ablagerungen der letzten Zwischeneiszeit, dem so genannten Eem, das vor etwa 115 000 Jahren endete. Zu dieser Zeit enthielt das Schwarze Meer so wie heute Meerwasser. Die teilweise Schwarzfärbung rührt von sekundär gebildeten Eisensulfiden her.

Left: Paleomagnetic sampling of a sediment core from the South-eastern Black Sea. The front section of the shown core segment, with sample boxes already removed, contains sediments that were deposited during the last ice age at around 68 000 years B.P. At this time the Black Sea basin contained a freshwater lake. The brown layers mark a sedimentation gap with underlying deposits from the last interglacial, the so-called 'Eemian' that ended about 115 000 years B.P. At that time, like today, the Black Sea basin contained seawater. The black patches in parts of the core originate from secondary iron sulphides.

nach unten in die Erde hinein gerichtet, zeigen aber mit -67° nach Nordwesten beziehungsweise mit $+112^\circ$ nach Südosten (Plenier et al. 2007). Diese verschiedenen Magnetisierungsrichtungen weisen auf unterschiedliche Zeitpunkte der jeweiligen Eruptionen hin. Datierungen haben aber ergeben, dass diese Lavaströme im Mittel ein Alter von $40\,700 (\pm 950)$ Jahren haben (Singer et al., 2007) und datierungsmethodisch nicht voneinander unterscheidbar sind. Diese Laven dokumentieren offensichtlich unterschiedliche Zeitpunkte eines Ereignisses, bei dem sich das Magnetfeld der Erde deutlich von dem heutigen unterschieden hat und dabei sehr schnellen Änderungen unterworfen war. Dieses Ereignis wird in der internationalen Literatur nach dem Ort des ersten Auffindens als „Laschamp-Ereignis“ bezeichnet.



Kontakt: N. Nowaczyk
(nowa@gfz-potsdam.de)

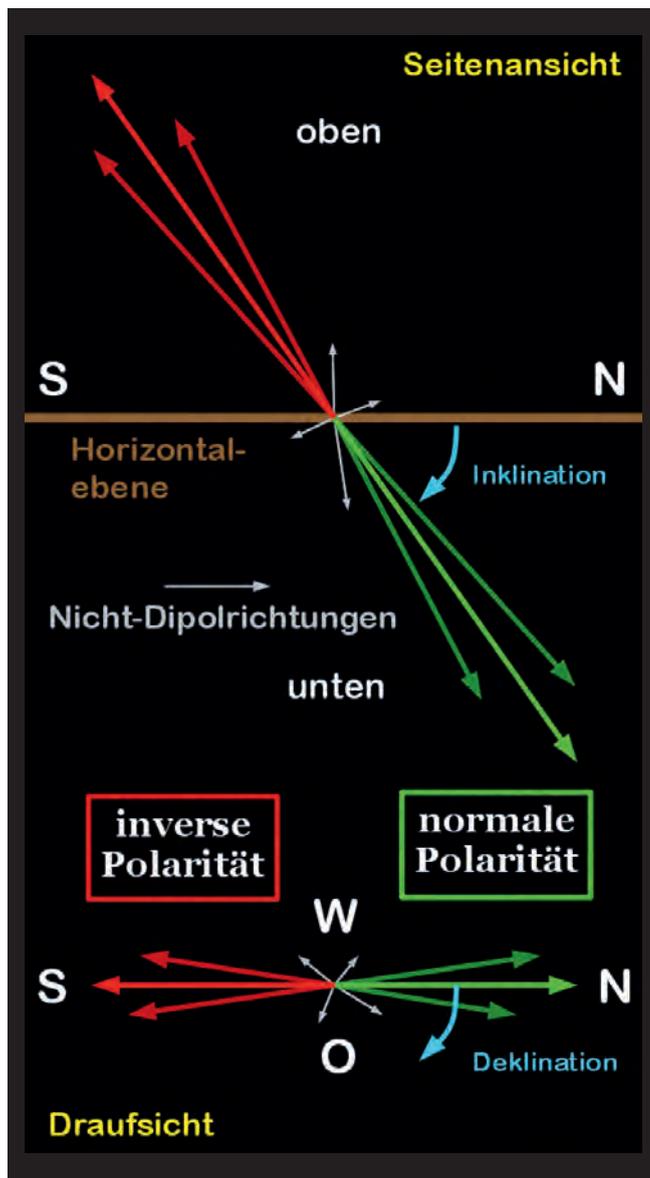


Abb. 2: **Magnetischer Feldvektor für eine Lokation mittlerer nördlicher Breite:** Dipol-Feldrichtung bei normaler Polarität (hellgrün) und inverser Polarität (hellrot). Das reale Feld kann, zeitlich variabel um 10 bis 20° von der Dipolrichtung abweichen (dunkelgrün, bzw. dunkelrot). Die Pfeillängen repräsentieren die Erdmagnetfeldstärke. Kommt es zu einer Umpolung, ist das Erdmagnetfeld sehr schwach und seine lokale Richtung kann beliebige Werte annehmen (kleine graue Pfeile). Der Winkel des Feldvektors mit der Horizontalebene definiert die Inklination. Sie wird positiv nach unten gemessen. Der Winkel des Feldvektors mit geographisch Nord definiert die Deklination (magnetische Missweisung). Sie wird positiv über Ost gemessen.

Fig. 2: **Magnetic field vector at a location of mid northern latitude:** dipole direction during normal polarity (light green) and reversed polarity (light red). The real geomagnetic field deviates from these directions by 10 to 20°, varying with time (dark green and dark red). The lengths of the arrows represent the magnetic field strength. During a field reversal the geomagnetic field strength is very low, with vectors pointing into any direction (little grey arrows). The angle between the local magnetic field and the horizontal plane defines the inclination, measured positively downward. The angle between the local magnetic field and geographic North defines the declination, measured positively over East.

Abbildung 2 zeigt das Erdmagnetfeld wie man es an einem Ort mittlerer nördlicher Breite, wie etwa dem französischen Zentralmassiv, zu verschiedenen Zeiten messen würde. Die Längen der Pfeile implizieren dabei die Feldstärke. Das reelle Erdmagnetfeld kann dabei von dem Feld eines reinen Dipols um ca. 10° bis 20° abweichen. Die normale Polarität ist durch grüne Pfeile, die inverse Polarität durch rote Pfeile dargestellt, wobei helle Pfeile die reine Dipolrichtung repräsentieren. Kurze graue Pfeile symbolisieren Zeiten der so genannten Feldumkehr, bei der das Erdmagnetfeld seine Polarität wechselt. Diese Zeiträume sind durch sehr geringe Feldstärken gekennzeichnet und die damit verbundenen Richtungen können weder einer normalen noch einer inversen Dipolkonfiguration zugeordnet werden, wie es bei einem Teil der französischen Vulkanite bei Laschamp der Fall ist (Plenier et al., 2007). Der Winkel, den die Feldlinien mit der Horizontalebene bilden (positiv nach unten), wird als Inklination bezeichnet. Der Winkel zwischen den Feldlinien und geographisch Nord in der Horizontalebene (positiv über Ost gemessen) wird als Deklination oder auch als magnetische Missweisung bezeichnet.

Sedimente aus dem Schwarzen Meer

Im Jahr 2007 wurden unter Beteiligung von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern des GFZ und mit Hilfe des deutschen Forschungsschiffs METEOR sechs Sedimentkerne aus dem südöstlichen Schwarzen Meer gewonnen. Die Kerne wurden anschließend detaillierten sedimentologischen, geoche-

mischen, geophysikalischen und paläoklimatologischen Analysen unterzogen. Diese Untersuchungen wurden zum größten Teil am GFZ durchgeführt. So zeigte sich unter anderem, dass in der Magnetisierung dieser Sedimentkerne, die zeitlich die letzten rund 68 000 Jahre überdecken, sich ebenfalls Hinweise auf das Laschamp-Ereignis vor 41 000 Jahren finden. Die detaillierten Richtungsdaten dieser Bohrkerne, Inklination und Deklination, weisen sogar auf eine vollständige Umpolung des Erdmagnetfelds hin, die etwa 400 Jahre andauerte (Abb. 3, unten). Das heißt, zu dieser Zeit hätte eine Kompassnadel entsprechend der Abbildungen 1b und 2 genau nach Süden gezeigt. Die Magnetisierungsintensität der Sedimente zeigt, dass das Erdmagnetfeld zur Zeit der Polaritätswechsel während des Laschamp-Ereignisses durch Feldstärken charakterisiert war, die weniger als 10 % der heutigen Stärke entsprechen (Abb. 3, Mitte). Diese Messergebnisse bestätigen auch Daten, die an Vulkaniten des Zentralmassivs gemessen wurden (Roperch et al., 1988; Chauvin et al., 1989) und sie sind auch in einer globalen Zusammenstellung relativer Paläointensitätskurven anderer Sedimentkerne wiederzufinden (GLOPIS-75, Laj et al., 2004). 10 000 Jahre zuvor, also vor etwa 50 000 Jahren, war die Erdmagnetfeldstärke etwa anderthalb mal so stark wie heute (Abb. 3, Mitte, gestrichelte Linie). In der Zeit nach dem Laschamp-Ereignis stieg die Erdmagnetfeldstärke relativ rasch auf etwa 50 % des heutigen Werts an, um sich dann allmählich vollständig auf diesen Wert einzupendeln.

Der Zeitraum der letzten 60 000 Jahre ist allerdings nicht nur durch diese drastischen Richtungs- und Intensitätsänderungen des Erdmagnetfelds gekennzeichnet. Klimarekonstruktionen anhand von Eisbohrkernen aus dem grönländischen Inlandeis haben belegt, dass es zu häufigen und extremen Temperaturschwankungen, den so genannten „Dansgaard-Oeschger events“ (Dansgaard et al., 1993) kam (Abb. 3, oben). Diese Temperaturschwankungen führten im Wasser des Schwarzen Meers, das zu dieser Zeit ein Süßwassersee war, zur Ausfällung von Kalziumkarbonat (Bahr et al., 2005; Kwiczin et al., 2008). Detaillierte Messungen des Kalziumkarbonats durch Röntgenfluoreszenzmessungen (X-ray fluorescence, XRF) in den Sedimentkernen aus dem Schwarzen Meer konnten so die mit dem Laschamp-Ereignis verbundenen extremen geomagnetischen Variationen in einen zeitlichen Zusammenhang zu den Klimaschwankungen der letzten Eiszeit setzen (Abb. 3). Die gewonnenen Daten zur Dynamik des Erdmagnetfelds auf der einen Seite, wie auch der extremen Klimaschwankungen der letzten Eiszeit auf der anderen Seite erlauben nun eine direkte Analyse, ob auf einen Einfluss des Erdmagnetfelds auf klimatische Variationen geschlossen werden kann. Für das Zeitintervall von 30 000 bis 60 000 Jahre vor heute, das durch zahlreiche, extrem kurzfristige Temperaturänderungen gekennzeichnet war, sind zudem in Abbildung 4 noch einmal die Sauerstoffisotopenwerte des Grönlandeises als Temperaturindikator gegen die aus den Schwarzmeersedimenten abgeleitete Erdmagnetfeldstärke dargestellt. Der optische Vergleich der Paläointensitätskurve aus dem Schwarzen Meer mit

der Sauerstoffisotopenkurve aus Grönland (Abb. 3) wie auch das Streudiagramm in Abbildung 4 zeigen, dass selbst die extremen Intensitätsschwankungen im Zusammenhang mit dem Laschamp-Ereignis keinen offensichtlichen, direkten Einfluss auf klimatische Prozesse hatten.

Ein potentieller Einfluss des irdischen Magnetfelds auf das Klima unseres Planeten wird folglich eher indirekt stattfinden (vgl. die Beiträge von Lühr et al. sowie Korte und Frank in diesem Heft) und ist Gegenstand der gegenwärtigen Forschung am GFZ.

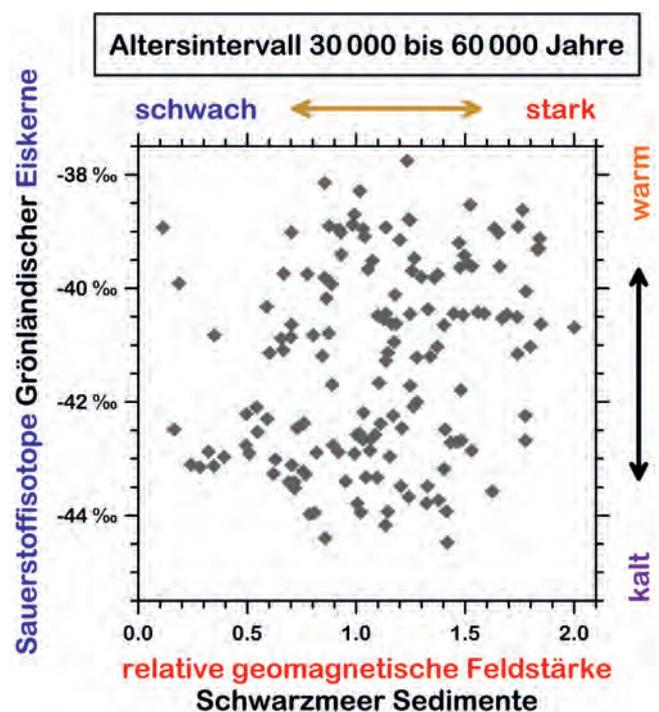
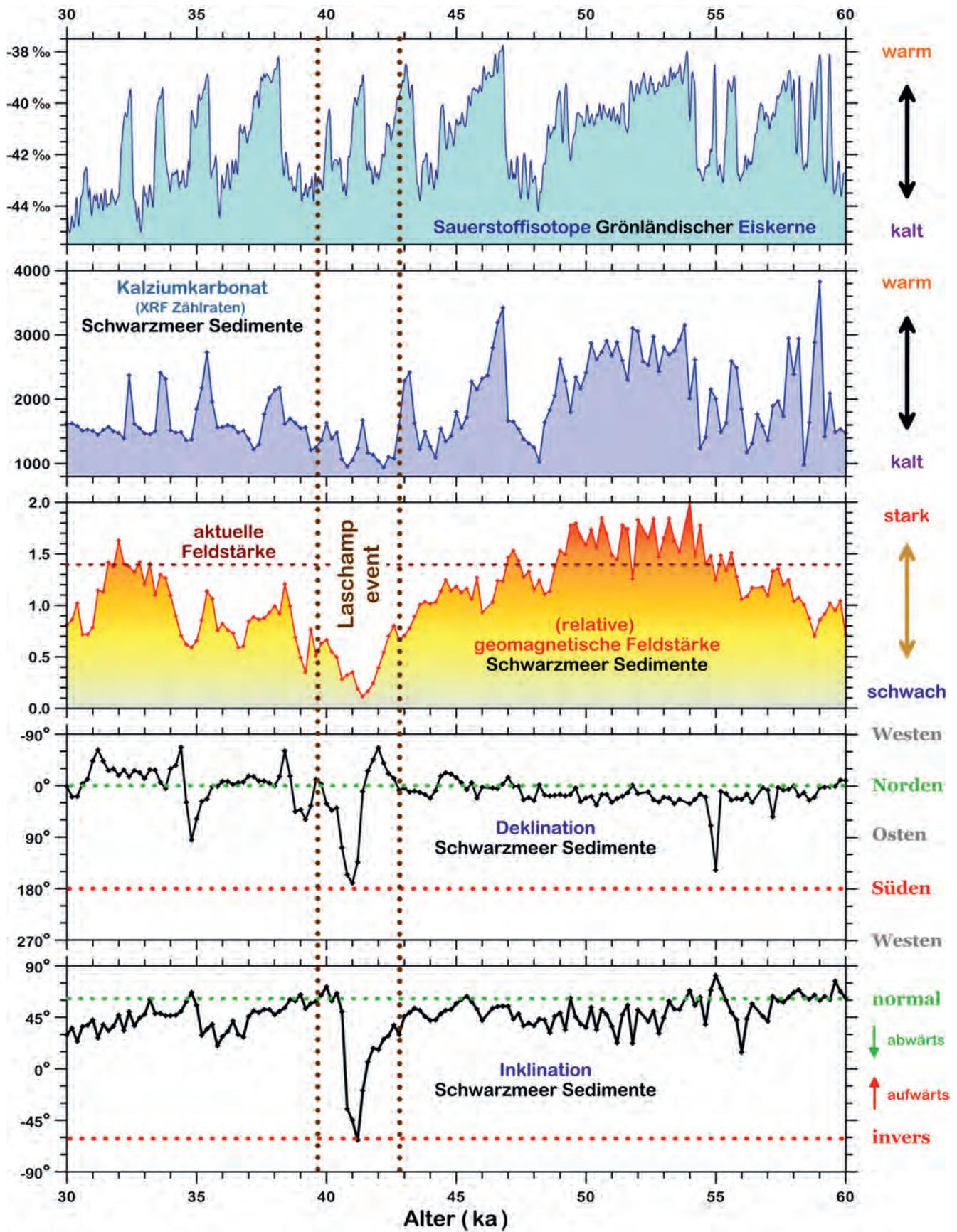


Abb. 4: **Klima und Erdmagnetfeld:** Sauerstoffisotopendaten von grönländischen Eiskernen (Svensson et al., 2008) als Funktion der relativen Paläointensität des Erdmagnetfelds, abgeleitet aus der Magnetisierung von Schwarzmeersedimenten für den Zeitraum 30 000 bis 60 000 Jahre vor heute. Mit Hilfe dieser Darstellung kann jeglicher Einfluss des Erdmagnetfelds auf klimatische Prozesse wie die schnellen Temperaturschwankungen der Dansgaard-Oeschger-Ereignisse (Dansgaard et al., 1993; s. a. Abb. 3) eindeutig ausgeschlossen werden.

Fig. 4: Climate and the geomagnetic field: Oxygen isotope data from Greenland ice cores (Svensson et al., 2008) versus relative geomagnetic field intensity as derived from Black Sea sediments for the past 30 to 60 ka. Obviously, any influence of the geomagnetic field on fast climatic changes, such as the fast temperature fluctuations of the Dansgaard-Oeschger events (Dansgaard et al., 1993; see also Fig. 3), can be unequivocally excluded.



Literatur

- Bahr, A., Lamy, F., Arz, H. W., Kuhlmann, H., Wefer, G. (2005): Late glacial to Holocene climate and sedimentation history in the NW Black Sea. - *Marine Geology*, 214, 4, 309-322, 10.1016/j.margeo.2004.11.013.
- Bonhommet, N., Babkine, J. (1967): Sur la présence d'aimantation inversée dans la chaîne des Puys. – *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 264, 92-94.
- Chauvin, A., Duncan, R. A., Bonhommet, N., Levi, S. (1989): Paleointensity of the Earth's magnetic field and K Ar dating of the Louchadiere volcanic flow (central France): new evidence for the Laschamp excursion. - *Geophysical Research Letters*, 16, 10, 1189-1192, 10.1029/GL016i010p01189.
- Dansgaard, W., Johnson, S. J., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N. S., Hammer, C. U., Hvidberg, C. S., Steffensen, J. P., Sveinbjörnsdottir, A. E., Jouzel, J., Bond, G. (1993): Evidence for general instability of past climate from a 250-Kyr ice-core record. – *Nature*, 364, 6434, 218-220, 10.1038/364218a0.
- Gilbert, William (1600): de magnete, magneticisque corporibus, et de magno magnete tellure: physiologia nova, plurimis & argumentis, & experimentis demonstrata. London: Short. 240 p., 10.3931/e-rara-8370.
- Kwiecien, O., Arz, H. W., Lamy, F., Wulf, S., Bahr, A., Röhl, U., Haug, G. H. (2008): Estimated Reservoir Ages of the Black Sea Since the Last Glacial. - *Radiocarbon*, 50, 1, 99-118.
- Laj, C., Kissel, C., Beer, J. (2004): High resolution global paleointensity stack since 75 kyr (GLOPIS-75) calibrated to absolute values. - In: Channell, J. E. T., Kent, D. V., Lowrie, W., Meert, J. G. (Eds.), *Timescales of the Paleomagnetic Field*, (Geophysical monograph series ; 145), American Geophysical Union, 255-265, 10.1029/145GM19.
- Plenier, G., Valet, J.-P., Guérin, G., Lefèvre, J.-C., LeGoff, M., Carter-Stiglitz, B. (2007): Origin and age of the directions recorded during the Laschamp event in the Chaîne des Puys (France). - *Earth and Planetary Science Letters*, 259, 3-4, 414-431, 10.1016/j.epsl.2007.04.039.
- Roperch, P., Bonhommet, N., Levi, S. (1988): Paleointensity of the earth's magnetic field during the Laschamp excursion and its geomagnetic implications. - *Earth and Planetary Science Letters*, 88, 1-2, 209-219, 10.1016/0012-821X(88)90058-1.
- Singer, B. S., Guillou, H., Jicha, B. R., Laj, C., Kissel, C., Beard, B. L., Johnson, C. M. (2009): 40Ar/39Ar, K-Ar and 230Th-238U dating of the Laschamp excursion : A radioisotopic tie-point for ice core and climate chronologies. - *Earth and Planetary Science Letters*, 286, 1-2, 80-88, 10.1016/j.epsl.2009.06.030.
- Svensson, A., Andersen, K. K., Birgler, M., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Davies, S. M., Johnsen, S. J., Muscheler, R., Parrenin, F., Rasmussen, S. O., Röthlisberger, R., Seierstad, I., Steffensen, J. P., Vinther, B. M. (2008): A 60 000 year Greenland stratigraphic ice core chronology. - *Climate of the Past*, 4, 1, 47-57, 10.5194/cp-4-47-2008.

Links, Abb. 3: Klima- und Magnetfeldvariationen im Zeitraum 30 000 bis 60 000 Jahre vor heute: a) Sauerstoffisotopendaten ($\delta^{18}O$) des Grönlandeises (NGRIP, Svensson et al., 2008) als Temperaturindikator für Grönland, im Zusammenhang mit Daten von Sedimenten aus dem südöstlichen Schwarzen Meer: b) Kalziumkarbonatgehalt als Spiegel eiszeitlicher Temperaturschwankungen in Südosteuropa, c) relative Paläointensität, d) Deklination und e) Inklination (s. auch Abb. 2) des Erdmagnetfelds. Die Daten aus dem Schwarzen Meer stellen Mittelwerte für Zeitscheiben von jeweils 200 Jahren dar und basieren insgesamt auf Ergebnissen von sechs Sedimentkernen. Grüne (rote) gestrichelte Linien in den Darstellungen von Inklination und Deklination markieren die Dipolrichtung normaler (inverser) Polarität. Inklinationen von -60° , Deklinationen von 180° sowie ein ausgeprägtes Feldstärkenminimum bei etwa 41 000 Jahren vor heute (vertikal gestrichelte Linien) markieren das Laschamp-Ereignis, eine kurze Umpolung des Erdmagnetfelds, das zuerst in den Magnetisierungen von Vulkaniten des französischen Zentralmassivs bei Laschamp entdeckt wurde (Bonhommet & Babkine, 1967).

Left, Fig. 3: Variations of climate and the Earth's magnetic field throughout the past 30 to 60 ka.: a) oxygen isotope record from Greenland ice cores (NGRIP, Svensson et al., 2006) as a temperature indicator for Greenland, together with data from SE Black Sea sediments: b) calcium carbonate content as an image of temperature variations in SE Europe, c) relative paleointensity, d) declination and e) inclination of the geomagnetic field. All data from the Black Sea were averaged into 200 year bins, based on a total of six individual sediment cores. Green (red) dotted lines in the inclination and declination graphs indicate dipole directions of normal (reversed) polarity. Inclinations of -60° , declinations of 180° , and a pronounced minimum in relative paleointensity around 41 ka, marked by vertical dotted lines, are expressions of the Laschamp event, a short geomagnetic field reversal that was detected first in the magnetisations of volcanics in the French Massif Central (Bonhommet & Babkine, 1967).