

Nachrichten aus Niedersachsens Urgeschichte	Band	Seite	Hildesheim 1977
NNU	46	127-145	Verlag August Lax

# Methode und Möglichkeiten paläomagnetischer Untersuchungen in der Archäologie

Von  
Rudolf Pucher\*

Mit 12 Abbildungen

## Zusammenfassung:

*Es werden die Struktur und die Eigenschaften des Magnetfeldes der Erde beschrieben, das zeitlichen Veränderungen unterliegt. Mit Hilfe von gesteinsmagnetischen Untersuchungen kann man die Richtung des Erdmagnetfeldes zur Zeit der Entstehung der Magnetisierung bestimmen und auch Rückschlüsse auf dessen Intensität ziehen. Paläomagnetische Untersuchungen an Proben bekannten Alters ermöglichen die zeitliche Rekonstruktion des magnetischen Erdfeldes; umgekehrt können paläomagnetische Messungen auch Datierungshilfen geben. Für paläomagnetische Untersuchungen an archäologischen Objekten sind vor allem gemauerte Feuerstellen geeignet. Außer gesteinsmagnetischen Aspekten und der Beschreibung der Probenentnahme werden Einflüsse des Magnetfeldes auf die radiometrische Altersbestimmung mit Hilfe des radioaktiven Kohlenstoff-Isotops  $^{14}\text{C}$  behandelt.*

## 1. Einleitung

Die Archäologie sieht sich ständig vor der Aufgabe, Funde zu datieren und Vorgänge der Vergangenheit zu erschließen. Die Naturwissenschaften leisten dabei vielfältige Hilfe. Eines der Verfahren ist der Einsatz gesteinsmagnetischer Messungen zur Beantwortung archäologischer Fragen. Auf Grund der Magnetisierung von Gesteinen sind Aussagen über das Magnetfeld zu früheren Zeiten möglich. Kennt man Art und Zeit von markanten Änderungen des Magnetfeldes, so lassen sich u. U. aus gesteinsmagnetischen Daten an einer Fundstelle Rückschlüsse auf gewisse Vorgänge und deren Alter ziehen.

Dieser Sachverhalt soll in folgenden Abschnitten behandelt werden:

- Struktur und Eigenschaften des Magnetfeldes der Erde
- dessen Einfluß auf  $^{14}\text{C}$ -Datierungen
- Ziele der Paläomagnetik in der Archäologie
- Probenentnahme
- Ergebnisse der Paläomagnetik in der Archäologie und Wünsche an die Seite der Archäologen.

\* Vortrag, gehalten am 28. 10. 1976 in Oldenburg vor der Archäologischen Kommission für Niedersachsen

## 2. Struktur und Eigenschaften des Magnetfeldes der Erde

Das Magnetfeld der Erde gleicht in erster Näherung dem eines Stabmagneten, der etwa im Erdmittelpunkt gelagert ist.

In *Abb. 1* ist die Verteilung der magnetischen Feldlinien dargestellt. Die Pfeile lassen die Neigung der Feldlinien an der Erdoberfläche erkennen. Da sich diese Neigung vom Äquator zum Pol systematisch ändert, kann man aus ihr die Lage des theoretischen magnetischen Pols errechnen.

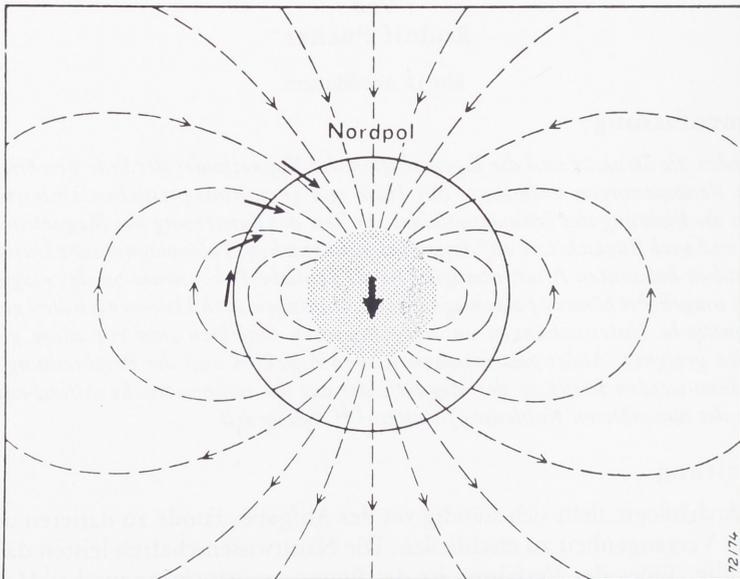


Abb. 1

Schematische Darstellung des Magnetfeldes der Erde.  
Das Dipolfeld entspricht der Feldverteilung eines Stabmagneten.

Die Verteilung der Stärke und Neigung des Magnetfeldes über die Erde gleicht jedoch nicht vollkommen der eines Stabmagneten, eines sogenannten Dipols; denn in diesem Fall müßten Feldstärke und Feldneigung (*s. Abb. 2*) auf Kreisen senkrecht zur Dipol-Achse konstant sein. Es gibt also einen Nichtdipol-Anteil, der dem Dipol-Anteil überlagert ist. Normalerweise beträgt der Nichtdipol-Anteil nur etwa 5 % des Gesamtfeldes, in Ausnahmen sind die beiden Anteile jedoch gleich. Das Nichtdipol-Feld steht in keinerlei Beziehung zur Länge oder Breite der Erde.

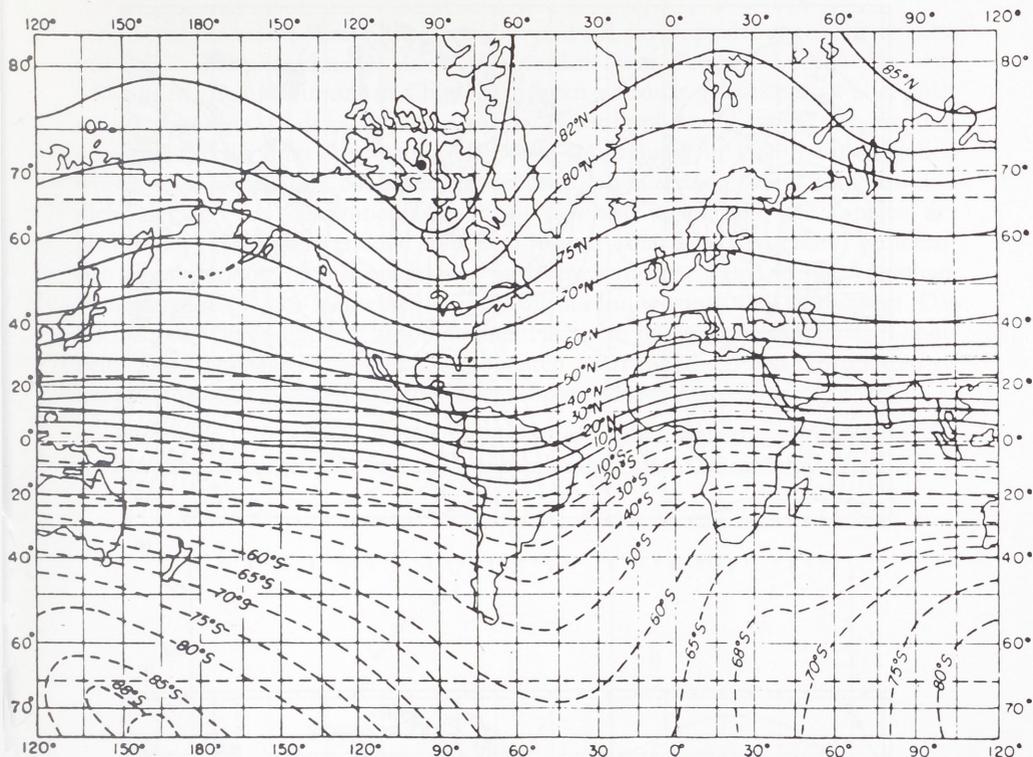
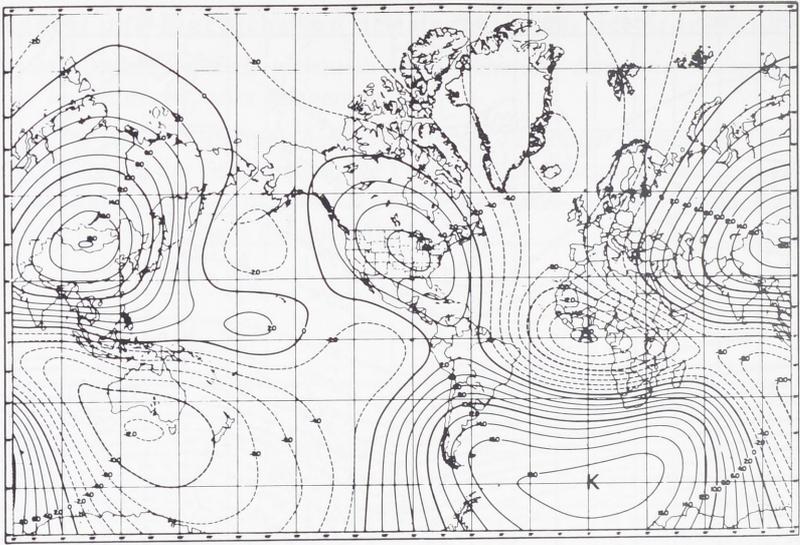


Abb. 2

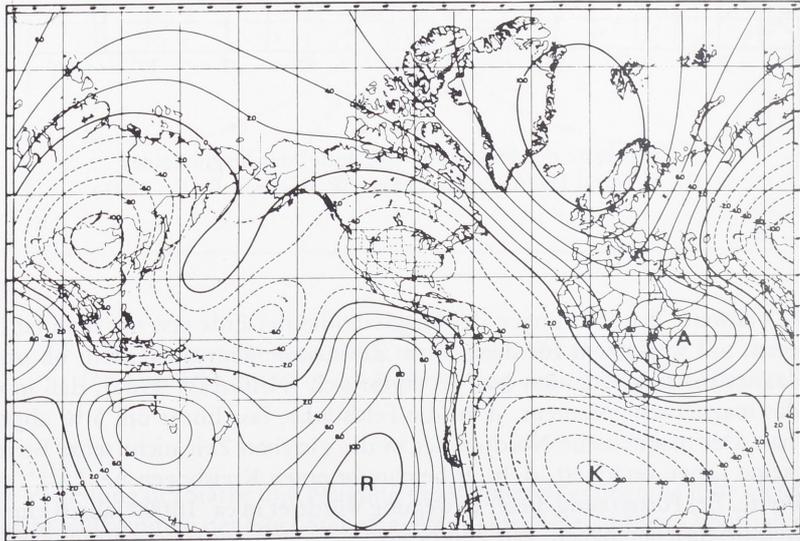
Weltkarte der Inklination (Neigung) des Magnetfeldes  
(U. S. Naval Hydrographic Office, Washington D. C., 1973).

Da weltweite Beobachtungen des Magnetfeldes der Erde erst seit dem Jahr 1835 existieren, soll wenigstens für diese kurze Zeitspanne geprüft werden, ob und wie das Magnetfeld sich verändert hat. Es ergibt sich (NAGATA 1964), daß in dieser Zeit das magnetische Moment, d. h. die Feldstärke, fast linear um 5 % abgenommen hat. Der magnetische Nordpol hat in der gleichen Zeit nicht seine Breite, jedoch seine Länge verändert, d. h. er beschreibt einen Kreisbogen bei 78,5° nördlicher Breite. Bei Fortsetzung dieser Bewegung würde er in ca. 10 000 Jahren einen vollen Kreis beschrieben haben. Zur Zeit bewegt sich der magnetische Nordpol pro Jahr 2,2 km nach Norden (NAGATA 1967).

In *Abb. 3* ist die Vertikalkomponente des Nichtdipol-Feldes für 1965 und 1835 dargestellt. Die Verteilungen gleichen einander nur auf den ersten Blick; denn es bestehen bemerkenswerte Unterschiede: ein Minimum östlich von Afrika ist in der Zeit



(a)



(b)

Abb. 3  
 Vertikalkomponente des Nichtdipol-Feldes ( $10^{-6}T$ ) für (a) 1965 und (b) 1835  
 (nach YUKUTAKE 1970). Das Vorzeichen ist in (b) umgekehrt worden.

von 130 Jahren an die Westküste gewandert und auf das Doppelte angewachsen. Das mit „R“ gekennzeichnete Maximum westlich von Feuerland ist völlig verschwunden. Das Maximum in China ist nahezu stationär geblieben, ist aber auch stärker geworden. In den 130 Jahren hat der Nichtdipol-Anteil eine Westbewegung gemacht, die bei ihrer Fortsetzung eine volle Umdrehung in 1800 Jahren ergeben würde. Das vorliegende Beobachtungsmaterial deutet jedoch darauf hin, daß dies nicht der Fall ist. Zusammenfassend läßt sich also sagen, daß die Zentren des Nichtdipol-Feldes mit Perioden zwischen 10 und 1000 Jahren wachsen, wandern, sich einander nähern, sich ausdehnen und verschwinden, während die scheinbare Periodizität des Dipol-Momentes in der Größenordnung von 10000 Jahren liegt. Das Nichtdipol-Feld ändert sich also um einen Faktor 10 bis 1000 stärker als das Dipol-Feld. Die Überlagerung beider Komponenten führt innerhalb von Jahrzehnten zu beobachtbaren regionalen Richtungsänderungen des Magnetfeldes.

Für einige Orte gibt es Magnetfeldmessungen über mehrere Jahrhunderte. Sie sind in *Abb. 4* dargestellt. Die Kurven beschreiben den Teil einer Ellipse.

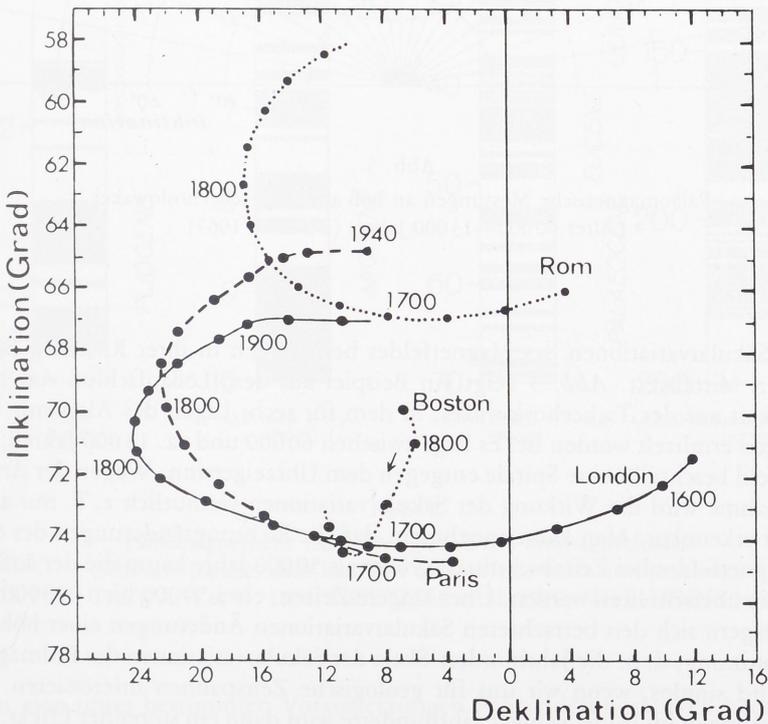


Abb. 4

Säkularvariation der Richtung des Magnetfeldes für einige Städte, gewonnen durch direkte Magnetfeldmessungen (nach AITKEN, 1961).

Aus den gesteinsmagnetischen Messungen an geeigneten archäologischen Objekten und Gesteinen verschiedenen Alters hat man weitere Bewegungskomponenten des Erdfeldes gefunden:

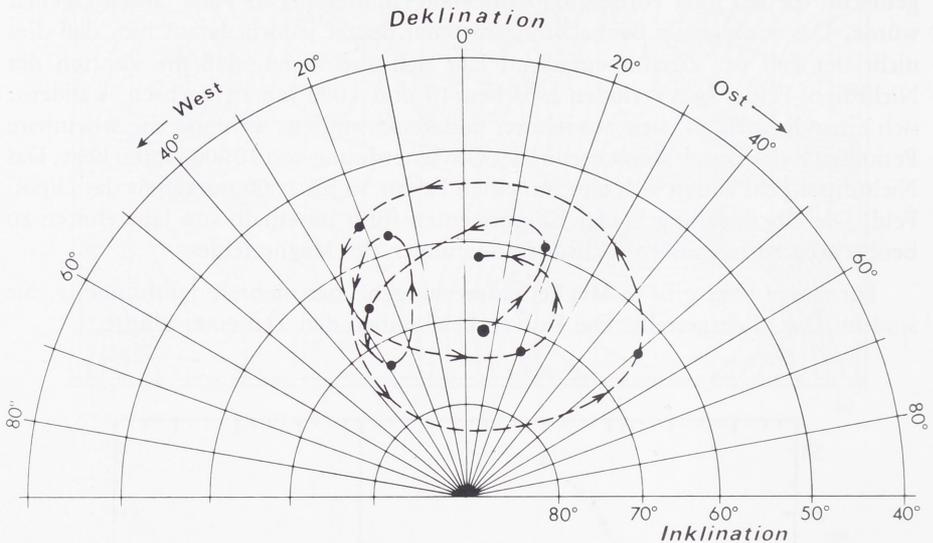


Abb. 5

Paläomagnetische Messungen an Löss aus der Tschechoslowakei  
(Alter 60 000—13 000 Jahre) (BUCHA 1967).

Die Säkularvariationen des Magnetfeldes beschreiben in ihrer Richtung Bögen um einen Mittelwert. *Abb. 5* zeigt ein Beispiel aus dem Lössaufschluß von 18 m Mächtigkeit aus der Tschechoslowakei, in dem für sechs Lagen das Alter mit  $^{14}\text{C}$ -Messungen ermittelt worden ist. Es liegt zwischen 60 000 und ca. 13 000 Jahren. Das Magnetfeld beschreibt eine Spirale entgegen dem Uhrzeigersinn. Wegen der Art der Probenahme wird die Wirkung der Säkularvariationen vermutlich z. T. nur abgeschwächt erkennbar. Man kann annehmen, daß die Richtungsänderungen des örtlichen Magnetfeldes bei Zeitabschnitten größer als 50 000 Jahre kaum die der äußeren Spirallinie überschreiten werden. Über längere Zeiten, etwa 50 000 bis 1 000 000 Jahre, überlagern sich den betrachteten Säkularvariationen Änderungen einer höheren Größenordnung, d. h. die Jahrhundert-Skala der Säkularvariationen des Erdmagnetfeldes wird sinnlos, wenn wir uns für geologische Zeitspannen interessieren. Die Feldänderungen im Laufe weniger Jahrhunderte wird dann ein störender Effekt, den man durch geeignete Probenentnahme möglichst gering zu halten versucht.

Paläomagnetische Untersuchungen haben zwei weitere, noch langräumigere Bewegungskomponenten des Magnetfeldes ergeben:

Im Laufe der Erdgeschichte hat es immer wieder Zeiten gegeben, in denen das magnetische Erdfeld seine Polarität innerhalb von ca. 10000 Jahren umkehrte und in diesem Zustand verschieden lange blieb. An der Umkehrungsskala in *Abb. 6* sieht man, daß es in der Erdgeschichte Zeiten mit vielen Umkehrungen (z. B. Tertiär) und mit wenigen Umkehrungen (z. B. Perm) gegeben hat. Den Umkehrungen des Magnetfeldes ist noch eine sehr langsame Polverschiebung überlagert. Da man aus den gesteinsmagnetischen Messungen immer die theoretische Pollage errechnen kann,



Abb. 6

Paläomagnetische Umkehrungsskala des Erdmagnetfeldes

(schwarz: parallel dem heutigen Magnetfeld; weiß: anti-parallel)

(COX 1969; TALWANI et al. 1971; HEIRTZLER et al. 1968; MC ELHINNY et al. 1971).

kann man unter bestimmten Voraussetzungen Polwanderungskurven konstruieren. In *Abb. 7* ist eine solche für Eurasien dargestellt, bei der der Pol seit dem Karbon von der Südhalbkugel langsam über Kamtschatka in die heutige Lage gewandert ist. Die Polwanderungskurve ist unterschiedlich für verschiedene Kontinente. Geodynamische Schlußfolgerungen daraus sollen nicht erläutert werden.

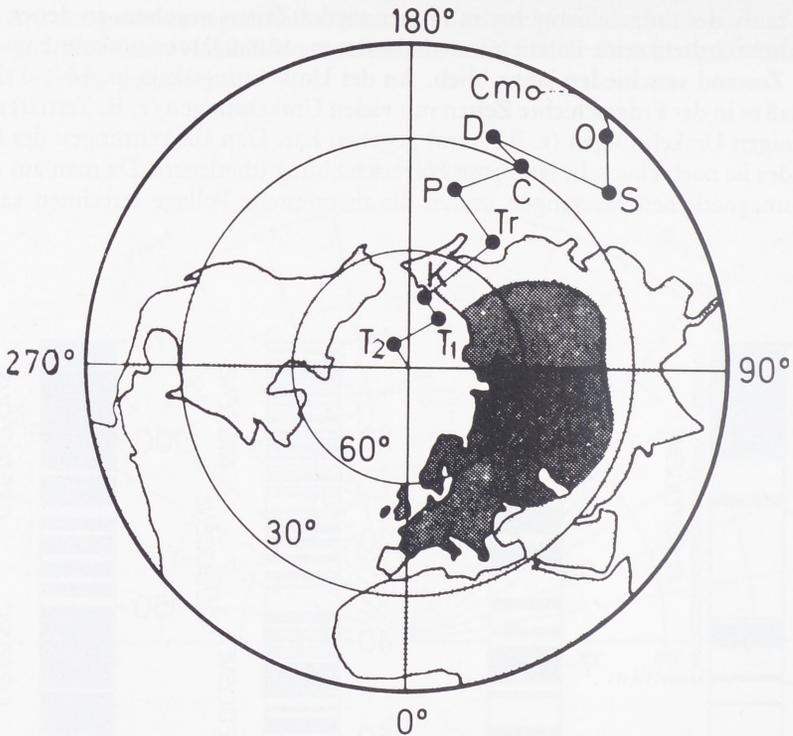


Abb. 7

Paläomagnetische Polwanderungskurve für Eurasien (ANGENHEISTER und SOFFEL 1972).

Das Magnetfeld der Erde ändert nicht nur seine Richtung, sondern auch seine Stärke. In *Abb. 8* ist die Stärke des magnetischen Momentes der Erde für die letzten 10000 Jahre dargestellt, die aus paläomagnetischen Messungen abgeleitet ist (BUCHA 1970).

### 3. Radiogener Kohlenstoff $^{14}\text{C}$ und das erdmagnetische Feld

Die paläomagnetischen Untersuchungen über Zustände des erdmagnetischen Feldes in geologischer Vergangenheit haben sich u. a. auf ein Fachgebiet ausgewirkt, an das man in diesem Zusammenhang nicht ohne weiteres denkt: die radiometrische Altersbestimmung mit Hilfe des radioaktiven Kohlenstoff-Isotops  $^{14}\text{C}$ .

Radiogener Kohlenstoff ( $^{14}\text{C}$ ), der durch kosmische Strahlung aus Stickstoff entsteht und dessen Halbwertszeit mit 5568 Jahren angenommen wird (GODWIN 1962), wird seit etwa 30 Jahren zur Datierung organischer Substanz bis zu Altern von ca. 40000 Jahren benutzt. Die anfangs angenommene Konstanz der  $^{14}\text{C}$ -

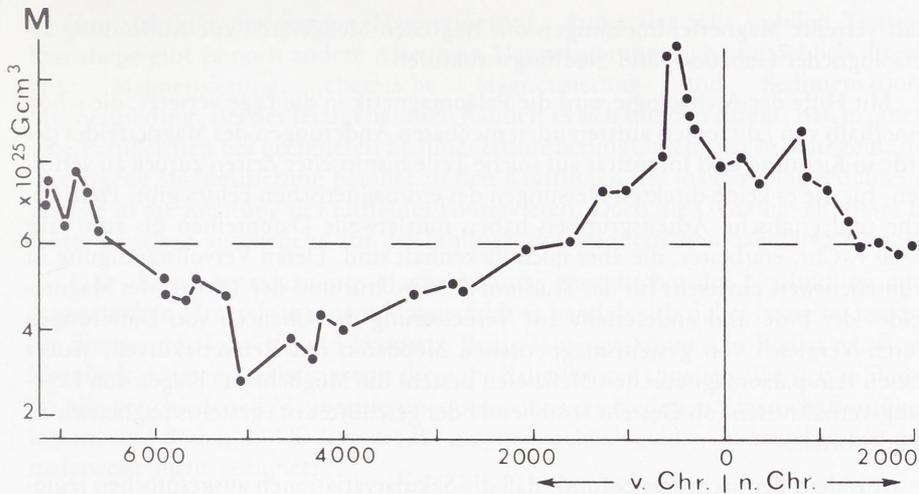


Abb. 8

Magnetisches Dipolmoment der Erde für die letzten 8000 Jahre, gewonnen aus paläomagnetischen Messungen (BUCHA 1970).

Konzentration im Luft-CO<sub>2</sub> hat sich als nicht zutreffend erwiesen (s. GEYH 1971). BUCHA (1970) hat bei einem Vergleich der Intensität des Magnetfeldes der Erde und der Änderung der <sup>14</sup>C-Konzentration für die letzten 10000 Jahre einen Gleichlauf beider Kurven festgestellt: ein stärkeres Magnetfeld erhöht dessen Abschirm-Effekt gegen kosmische Strahlung und führt zu einer verringerten <sup>14</sup>C-Produktion in der Atmosphäre (ELSASSER, NEY und WINCKLER 1956). BUCHA unterscheidet zwischen einem Langzeittrend der <sup>14</sup>C-Konzentrationschwankungen durch magnetische Dipolschwankungen mit einer Periode von 8000—10000 Jahren und kürzeren Schwankungen, die durch die Westwärts-Drift des Nichtdipol-Feldes oder andere Ursachen hervorgerufen werden.

DAMON, LONG und WALLICK (1972), die ebenfalls die Differenz zwischen <sup>14</sup>C-Altern und Baumringaltern derselben Proben betrachteten, fanden, daß zu Zeiten eines Magnetfeld-Minimums kurzzeitige Sonnenflecken-Einflüsse die <sup>14</sup>C-Produktion in der Atmosphäre und damit die <sup>14</sup>C-Alter stärker ändern als zu Zeiten eines Magnetfeld-Maximums. Das heißt, daß die meßmethodisch bedingten Abweichungen der Alter von den tatsächlichen Altern für Zeiten eines Magnetfeld-Maximums kleiner sind als zu Zeiten eines Minimums. Die Autoren geben die Standard-Abweichungen für die <sup>14</sup>C-Alter für die Zeit des Minimums bei 4300 v. Chr. mit  $\pm 170$  Jahren an, für das Maximum um die Zeitwende mit  $\pm 33$  Jahren.

#### 4. Anwendung der Paläomagnetik in der Archäologie

Von der Sache her umfaßt die archäologisch angewandte Magnetik sowohl gesteinsmagnetische Untersuchungen an archäologischen Materialien als auch flächen-

haft verteilte Magnetfeldmessungen mit tragbaren Meßgeräten zur Auffindung archäologischer Gebäude- und Siedlungsstrukturen.

Mit Hilfe der Archäologie wird die Paläomagnetik in die Lage versetzt, die schon innerhalb von Jahrzenten auftretenden meßbaren Änderungen des Magnetfeldes der Erde in Richtung und Intensität auf solche Teile historischer Zeiten zurück zu verfolgen, für die es keine direkten Messungen des erdmagnetischen Feldes gibt. Französische und englische Arbeitsgruppen haben mittlerweile Datenreihen bis zum Jahr 1700 v. Chr. erarbeitet, die aber noch lückenhaft sind. Deren Vervollständigung ist wünschenswert einerseits für das Studium der Struktur und der Theorie des Magnetfeldes der Erde und andererseits zur Verbesserung der Chancen von Datierungen durch Vergleich von gesteinsmagnetischen Meßdaten mit Referenzkurven. Außer diesen rein paläomagnetischen Meßzielen besteht die Möglichkeit, Fragen von Lagerungsverhältnissen (ob Gestein anstehend oder geschüttet ist) gesteinsmagnetisch zu beantworten.

Aus dem Beobachtungsbefund, daß die Säkularvariationen ausgesprochen regional und in verschiedenen Gebieten und Zeiten der Erde unterschiedlich sind, folgt:

1. Eine Referenzkurve der Magnetfeldänderungen sollte für ein Gebiet von maximal 1000 km Durchmesser angestrebt werden.
2. Je nach Erfordernis sollte die Altersbestimmung des Meßmaterials von archäologischer Seite her auf 10 bis 50 Jahre genau sein.

## 5. Gesteinsmagnetische Eigenschaften der Gesteine

Wenn Gesteine von hohen Temperaturen abkühlen, erwerben sie eine remanente Magnetisierung, eine sog. Thermoremanenz, die normalerweise über Millionen von Jahren stabil bleibt. Deren Richtung ist identisch mit der der geomagnetischen Kraftlinien zur Zeit der Abkühlung. Gebrannter Ton erwirbt ebenfalls eine solche stabile Magnetisierung, wenn auch die Magnetisierung oft sehr schwach ist. Daher ist eine Bestimmung des Magnetfeldes vergangener Jahrhunderte durch die Messung der remanenten Magnetisierung nur dann möglich, wenn die Lagerung des Tons nach dem Erhitzen nicht verändert worden ist.

Die remanente Magnetisierung ist eine gerichtete physikalische Größe und kann als solche in Komponenten zerlegt werden. In der Magnetik benutzt man zu ihrer Beschreibung als Kenngrößen außer der Intensität die Neigung der Magnetisierung (Inklination) und die Abweichung ihrer Richtung von Nord (Deklination). Die Proben werden komponentenweise (X, Y, Z) gesondert gemessen und daraus die Richtung der Remanenz und der resultierende Gesamtvektor errechnet.

Während man an Probenmaterial von alten Öfen die Inklination und die Deklination des fossilen Magnetfeldes bestimmen kann, ist bei kleinen Tongegenständen oft wenigstens die Inklination zu ermitteln möglich, nämlich indem man den Boden eines Tongefäßes als Bezugsebene nimmt bei der Annahme, daß die Gefäße stehend und nicht liegend gebrannt worden sind. Bei Ziegelsteinen kann man durch Messung einer größeren Zahl von Stücken (etwa 20) herausfinden, wie diese beim Brennen gestapelt waren und dann auch die magnetische Inklination bestimmen.

Zur Stabilität der fossilen Magnetisierung: Außer der sehr stabilen Thermo-Remanenz gibt es noch andere Arten von Magnetisierungen, hauptsächlich die viskose Magnetisierung, chemische Magnetisierung und Sedimentations-Magnetisierung. Bei der letztgenannten handelt es sich um den Effekt, daß magnetische Partikelchen bei geeigneten Sedimentationsbedingungen sich so einregeln, daß ihre eigene Magnetisierung parallel zu den Kraftlinien des lokalen Magnetfeldes ist und sie so die Richtung des Erdfeldes konservieren. Doch die Genauigkeit dieses Effektes ist selten ausreichend für das Studium der magnetischen Säkularvariationen.

Eine chemische remanente Magnetisierung entsteht bei der Neubildung eines magnetischen Minerals in einem Magnetfeld, es handelt sich dabei insbesondere um die Eisenoxide Magnetit und Hämatit. Beide Minerale können in Böden schon aus Eisenhydroxiden entstehen, wenn diese ihr Kristallwasser abgeben. Da sich in Böden oft alle verschiedenen Magnetisierungsarten mit verschiedenen Eigenschaften überlagern, sind Böden und Sedimente für magnetoarchäologische Untersuchungen normalerweise nicht geeignet.

Die viskose Magnetisierung ist eine remanente Magnetisierung geringer Stärke und Härte und entsteht durch die Lagerung des Gesteins im Magnetfeld der Erde. In gebranntem Ton existieren normalerweise nur die sehr stabile Thermo-Remanenz und die letztgenannte viskose Magnetisierung. Ihre Intensität liegt bei etwa 10 % der Thermo-Remanenz und kann durch Lagerung der Probe für einige Wochen in einem Magnetfeld einer dem Erdfeld entgegengesetzten Richtung beseitigt werden. Sie kann andererseits durch leichte thermische Abmagnetisierung oder Wechselfeld-Abmagnetisierung beseitigt werden. Bezüglich der viskosen Magnetisierung ist noch zu bemerken, daß ihre Intensität in einem Gestein mit dem Logarithmus der Zeit steigt, d. h. sie nimmt am Anfang der Lagerung am stärksten zu.

Weiterhin kann eine starke sekundäre Magnetisierung durch Blitzschlag entstehen, die aber durch Wechselfeld-Abmagnetisierung entfernt werden kann.

Eine letzte Möglichkeit der Entstehung einer neuen Magnetisierung soll an Hand von *Abb. 9* erläutert werden: Wenn ein Gestein von hohen Temperaturen abkühlt, entsteht ab einer für das betreffende magnetische Mineral typischen Temperatur eine Magnetisierung, die mit sinkender Temperatur noch steigt (durchgezogene Kurven in *Abb. 9*), d. h. bei niedrigen Temperaturen entsteht auch noch thermoremanente Magnetisierung. Die gestrichelten Kurven geben an, bei welchen Temperaturen während des Abkühlvorganges wieviel Prozent der bei Raumtemperatur meßbaren Remanenz stabilisiert wird („Blockierungstemperaturen“). Beim Aufheizen der Probe weichen gewissermaßen größere Anteile der Magnetisierung auf. Daraus folgt für die Paläomagnetik, daß gebrannter Ton, der zu einer niedrigeren Temperatur wiedererhitzt worden ist und dann wieder abkühlt, in dem betreffenden Prozentsatz neue Magnetisierung mit neuer magnetischer Richtung erworben hat. Diese überlagert sich in Betrag und Richtung der älteren Magnetisierung und erschwert gelegentlich die Interpretation von Messungen.

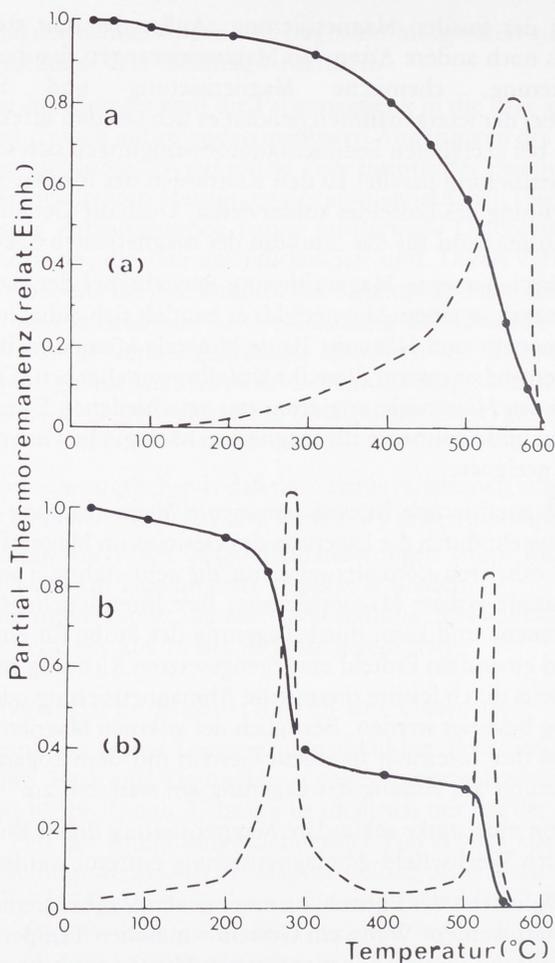


Abb. 9

Verteilung der Blockierungstemperatur (gestrichelt), aus der die Entstehung neuer Remanenz je Temperaturintervall abzulesen ist. Als Summenlinie (durchgehend) ergibt sich die beobachtete Temperaturabhängigkeit der Thermoremanenz.

## 6. Probenentnahme

Der Probenentnahme geht eine sorgfältige Auswahl des Meßobjektes voraus. Soweit es sich um paläomagnetische Untersuchungen handelt, die mit den magnetischen Säkularvariationen verknüpft werden sollen, ist eine strenge Auswahl vonnöten. THELLIER in Paris, der schon seit 1934 paläomagnetische Untersuchungen an archäologischen Objekten betreibt, hat nach eigenen Angaben bis 1965 an etwa 30

Stellen Ziegelsteine und ca. 50 Öfen verschiedener Art bearbeitet — eine nicht sehr hohe Anzahl, wenn man bedenkt, daß es sich dabei nicht nur um gelegentliche Funde, sondern auch um systematische Bereisungen, u. a. von Karthago und Tunesien, handelt. Nach seinen Angaben fehlt es an geeigneten Objekten, um deren Vermehrung auch wir bestrebt sind. Deshalb ist die Arbeitsgruppe des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung in Hannover bemüht, alle geeigneten Funde auszuwerten. Das Hauptproblem bei der Probenentnahme ist, eine genaue Kennzeichnung der Horizontalen und der heutigen magnetischen oder geographischen Nordrichtung (auf  $0,5^\circ$  genau) auf die Probe zu bekommen, bevor diese aus ihrer originalen Position gelöst wird.

Es hat sich bewährt, um die ausgewählte Probe von ca. 8—10 cm Kantenlänge herum eine Rille von etwa gleicher Tiefe zu graben, so daß ein Stumpfen entsteht. Auf diesen wird eine horizontale Fläche aufgekipst, die mit einer Platte mit Libellen oder durch sehr dünnen schnellbindenden Gipsbrei horizontaliert wird. Die Nordrichtung kann geographisch mit einem Theodoliten oder aber auch magnetisch bestimmt werden. Da aber bei Brennöfen als archäologisches Objekt Magnetisierungen beachtlicher Stärke erzeugt werden können, die die magnetische Nordrichtung verfälschen können, ist man generell zur Bestimmung des Azimuts der Sonne bei einer genauen Zeit und anschließender Rückrechnung mit Hilfe von astronomischen Tabellen übergegangen. Bei dieser Art der Orientierung wird die Schattenlinie eines Bleilotes auf der horizontalen Probenfläche markiert.

Wie die Probe im Labor weiter in ihrer Form behandelt und magnetisch vermessen wird, hängt von den mechanischen Eigenschaften des Materials, den Meßerfordernissen auf Grund der magnetischen Eigenschaften und den Möglichkeiten des Labors ab. Zu beachten ist in jedem Fall, daß die Genauigkeit der Orientierung bei Bearbeitung und Messung nicht vermindert wird. So gibt es Arbeitsgruppen, die statt vieler Einzelproben wenige Proben größeren Volumens vermessen.

Die Zuverlässigkeit eines paläomagnetischen Meßergebnisses hängt ab von (a) Genauigkeit der Positionierung der Probe beim Entnehmen, (b) den Ablesefehlern während der magnetischen Probenmessungen und (c) der Art der Entstehung der gemessenen Magnetisierung. Die Genauigkeit von  $0,5$  Grad bei der Probenentnahme wird in vielen Fällen bei dem Zerteilen des Probenblocks in Einzelproben im Labor auf ein Grad vermindert. Das Vermessen von mehreren Einzelproben und die statistische Auswertung der Einzelmessungen erfaßt die Ablesefehler während der Messungen und ebenfalls Inhomogenitäten der Magnetisierung innerhalb der Entnahmestelle. In der Paläomagnetik an archäologischen Objekten bestimmt man üblicherweise denjenigen Fehleradius, bei dem die Einzelwerte mit einer Wahrscheinlichkeit von 80 % innerhalb des Kreises um den Mittelwert liegen.

Unterschiedliche Remanenzrichtungen können in verschiedenen Teilen eines Ofens gebildet werden, indem die zuletzt abkühlenden Ofenteile diejenige Magnetfeldrichtung festhalten, die sich aus der Überlagerung des magnetischen Erdfeldes und den rückführenden Magnetfeldlinien der schon entstandenen Remanenz anderer Ofenteile ergibt.

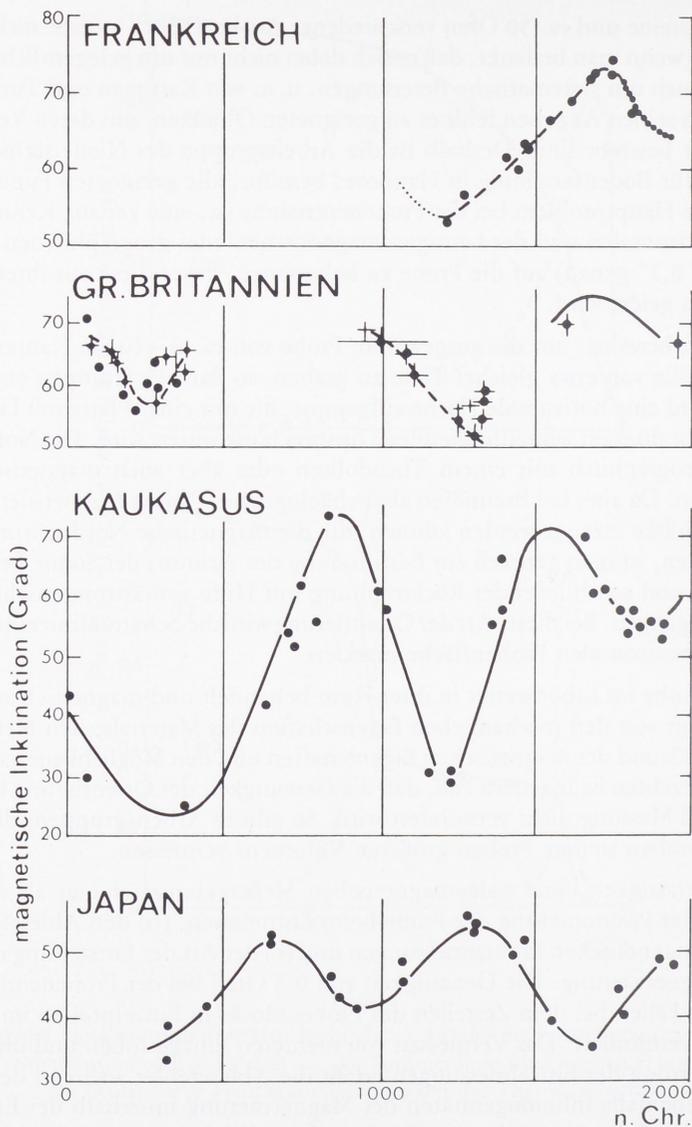


Abb. 10

Säkularvariation der Inklination des magnetischen Erdfeldes für Frankreich (THELLIER 1967), Großbritannien (AITKEN et al. 1964), den Kaukasus (BURLATSKAYA 1963) und Japan (NAGATA 1967) seit der Zeitenwende.

Das Fehlen von meßbaren Inhomogenitäten schließt nicht aus, daß die Meßwerte von unvollständig erhaltenen Feuerstellen von nicht mehr erhaltenen Ofenteilen verfälscht sind.

Einen Eindruck der in der Praxis erzielbaren Ergebnisse und deren statistische Zuverlässigkeit gibt *Abb. 11*, in der Daten aus Großbritannien dargestellt sind.

## 7. Ergebnisse der Paläomagnetik in der Archäologie

In den fünfziger und sechziger Jahren war das Instrumentarium zur Probenentnahme und Probenmessung der Richtung und Intensität der schwachen Magnetisierung allgemein genügend entwickelt, um archäomagnetische Ergebnisse zu liefern. Es sollen einige Übersichtsergebnisse vorgestellt werden.

In *Abb. 10* sind Meßergebnisse der Säkularvariationen der magnetischen Inklination, der Neigung des Magnetfeldes, aus Frankreich (THELLIER 1967), Großbritannien (AITKEN et al. 1964), dem Kaukasus (BURLATSKAYA 1963) und aus Japan (NAGATA 1967) zusammengestellt. Die japanischen und russischen Forscher leiten aus ihren Ergebnissen eine periodische Änderung der Inklination von ca. 700 Jahren ab. Die Kurve für Frankreich zeigt eine ähnliche Periode. THELLIER gibt ein Maximum der Inklination für das 9. Jahrhundert an. Noch weiter zurück sinkt die Inklination in Frankreich und hat um die Zeitenwende ein erneutes Maximum. Dieser Kurvenverlauf kommt dem für den Kaukasus nahe, doch THELLIER betont, daß er diese unregelmäßigen Fluktuationen als *purely accidental*, also nicht einer konstanten Periodizität zugeordnet betrachtet.

Die Daten aus England werden als weniger zuverlässig in der Richtung als auch in der Altersangabe bezeichnet. Ein Vergleich der Kurven für Frankreich, England und dem Kaukasus ergibt, daß alle drei Kurven einen ähnlichen Verlauf haben, daß jedoch ein Inklinations-Minimum in Frankreich um 1200 n. Chr., in England um 1300 und im Kaukasus um 1200 durchlaufen wird. Das Maximum liegt für Frankreich bei etwa 1725, für England um 1680 und für den Kaukasus bei 1500.

In *Abb. 11* ist die Säkularvariation für London für die letzten eintausend Jahre dargestellt. Die paläomagnetischen Daten sind mit dem statistischen Fehlerkreis (80 %) vermerkt. Die Direktmessungen der Magnetfeldrichtungen sind mit einer durchgehenden Kurve verbunden. Es ist erkennbar, daß die Säkularvariation bis 1300 n. Chr. eine Kurve entgegen dem Uhrzeigersinn, danach eine solche im Uhrzeigersinn beschreibt.

Die Bearbeitung paläomagnetischer Proben für Aussagen über die Intensität des magnetischen Erdfeldes ist weit schwieriger als Richtungsbestimmungen, und Ergebnisse sind nur möglich, wenn sich das Probenmaterial während mehrerer Laborerhitzungen chemisch und magnetisch nicht verändert. Die Pariser Arbeitsgruppe (THELLIER und THELLIER 1959) gibt eine kontinuierliche Abnahme der Magnetfeldstärke an und läßt offen, ob diese Linearität längere Zeit als bis 600 v. Chr. andauert. Die russischen Forscher interpretieren aus ihren Daten ein Maximum um 600 v. Chr. (BURLATSKAYA und PETROVA 1961). Sie diskutieren eine Periodizität der Intensität des Magnetfeldes von etwa 10000 Jahren. In *Abb. 12* sind Daten ab der Zeitenwende aus Frankreich, Japan und dem Kaukasus zusammengestellt und auf den magnetischen Äquator umgerechnet unter der Annahme, daß das geomagnetische Feld durch einen zentrierten Dipol beschrieben werden kann (NAGA-

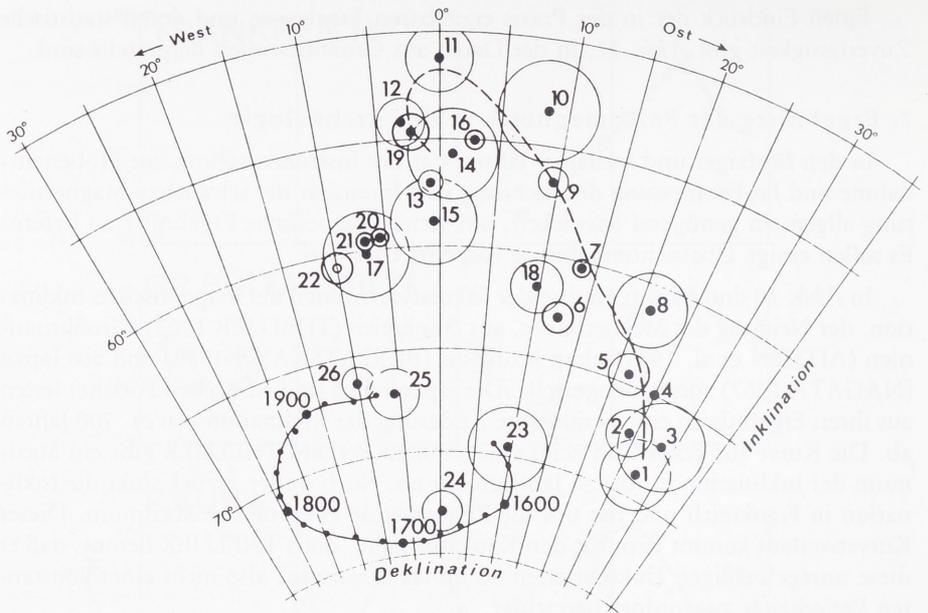


Abb. 11

Säkularvariation des magnetischen Erdfeldes für London für die letzten eintausend Jahre, gewonnen aus paläomagnetischen Messungen (mit Fehlerkreis) und aus Direktmessungen des Magnetfeldes (verbunden mit einer durchgehenden Kurve) nach AITKEN et al. 1963 und AITKEN et al. 1964.

Der statistische Fehlerkreis mit der Wahrscheinlichkeit von 80 %, der in der vorliegenden Darstellung die Form einer Ellipse haben müßte, ist im Maßstab der Deklination gezeichnet. Die numerierten Meßwerte stammen aus den folgenden Jahren (n. Chr.):

1 : 900—1000	8 : 1050—1150	19 : 1370—1500
2 : 850—1150	9 : 1250—1325	20, 21 : 1450—1530
3 : 950—1050	10 : 1237—1252	22 : 1450—1550
4 : 900—1100	11 : 1275—1325	23 : 1600
5 : 1050—1150	12—16 : 1300—1350	24 : 1538—1547 oder 1665
6 : 1100—1150	17 : 1325—1350	25 : 1961
7 : 1200—1230	18 : 1475—1550	26 : 1962

TA et al. 1963). Es ist erkennbar, daß vor 2000 Jahren das geomagnetische Feld 1,5-mal stärker als heute war. Es sei daran erinnert, daß dem Ergebnis von Abb. 8 auch paläomagnetische Messungen zugrunde liegen.

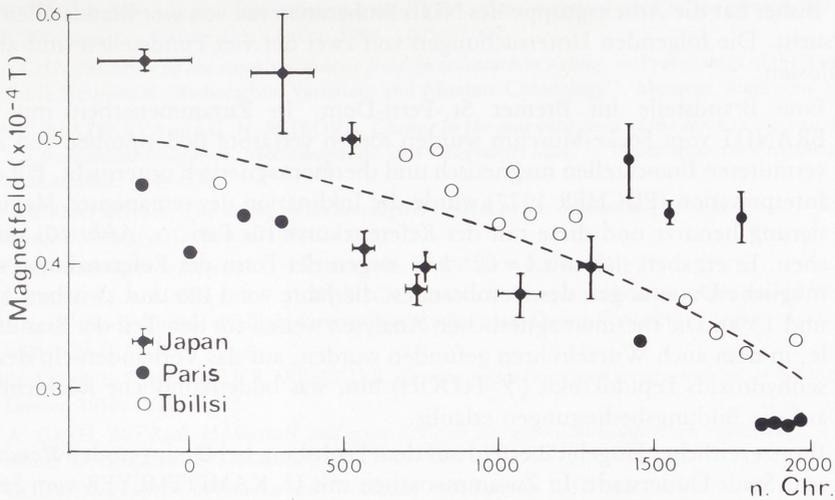


Abb. 12

Intensität des magnetischen Erdfeldes, gewonnen aus paläomagnetischen Messungen aus Japan, Frankreich und dem Kaukasus, bezogen auf den magnetischen Äquator (NAGATA et al. 1963).

#### 8. Möglichkeiten des Magnetik-Labors des NLFb für paläomagnetische Aufgaben in der Archäologie

Die Vervollständigung einer Referenzkurve der magnetischen Säkularvariation für ein Gebiet ist Vorbedingung für eine Datierungshilfe bei nichtdatierbaren archäologischen Objekten. Die Erwartungen der Archäologen auf Hilfe bei Datierungen sind in den meisten Fällen zu hoch. In der Praxis ist eine Studie jedoch auch dann nützlich, wenn eine Beantwortung der Hauptfrage nicht oder noch nicht möglich ist.

Das Magnetik-Labor des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung in Hannover (NLFb), das als Außenstelle bei Einbeck stationiert ist, ist apparativ auf die Untersuchung von Gesteinsproben zur Bearbeitung paläomagnetischer Problemstellungen ausgestattet. Es ist seit kurzem bemüht, sich an der magnetischen Bearbeitung archäologischer Brandstellen aus Norddeutschland zu beteiligen, um einerseits die geringe Zahl von Meßpunkten einer paläomagnetischen Referenzkurve der magnetischen Säkularvariationen zu vergrößern, andererseits aber auch Fragen paläomagnetischer Datierungen oder von Lagerungsverhältnissen zu bearbeiten.

Es ist bekannt, daß u. a. die Paläomagnetik-Arbeitsgruppen von Paris und Oxford ein spezielles Instrumentarium (insbesondere Magnetometer zur Messung von Proben unregelmäßiger Form oder Magnetisierung) entwickelt haben. Über entsprechende Entwicklungen für das Labor des NLFb kann erst nach der Bearbeitung einer größeren Anzahl von Meßobjekten entschieden werden.

Bisher hat die Arbeitsgruppe des NLFb Probenmaterial von vier Brandstellen untersucht. Die folgenden Untersuchungen von zwei der vier Fundstellen sind abgeschlossen:

- a) Eine Brandstelle im Bremer St.-Petri-Dom. In Zusammenarbeit mit Dr. BRANDT vom Focke-Museum wurden rötlich verfärbte Bodenproben von zwei vermuteten Brandstellen magnetisch und thermomagnetisch untersucht. Für eine Interpretation (PUCHER 1977) wurde die Inklination der remanenten Magnetisierung benutzt und diese mit der Referenzkurve für Paris (s. Abb. 10) verglichen. Es ergaben sich mit  $I = 62^\circ \pm 6^\circ$  wegen der Form der Referenzkurve zwei mögliche Datierungen des Dombrandes, die Jahre vor 1100 und zwischen 1280 und 1590. Die thermomagnetischen Analysen weisen für den Teil der Brandstelle, in dem auch Wurzelröhren gefunden wurden, auf das Vorhandensein des Eisenhydroxids Lepidokrokit ( $\gamma$ -FeOOH) hin, was bodenkundliche Rückschlüsse auf die Bildungsbedingungen erlaubt.
- b) Bronzezeitliches Hügelgräberfeld auf dem Fuchsberg bei Desingerode/Werxhausen, Stadt Duderstadt. In Zusammenarbeit mit U. KAMPPFMEYER vom Seminar für Ur- und Frühgeschichte der Universität Göttingen sollten paläomagnetische Messungen an Boden- und Gesteinsproben von einem Grabungsfeld bronzezeitlicher Hügelgräber außer einer möglichen Datierungshilfe die Frage beantworten, ob bei den Bestattungen Feuer auf oder um die Grabhügel entzündet worden ist. Die Untersuchungen (PUCHER und FROMM 1977) deuten bei einem der Hügel auf eine so starke Erhitzung hin, daß sowohl das aufgeschüttete Lößmaterial des Grabhügels als auch das anstehende Gestein des Untergrundes und der den Hügel abschließenden Steinwall eine neue thermoremanente Magnetisierung erworben haben. Der Steinwall eines benachbarten Hügels zeigt für jeden einzelnen Stein unterschiedliche Magnetisierungsrichtungen. Das kann so gedeutet werden, daß der Steinwall aufgeschichtet ist und nicht aus anstehendem Gestein besteht.

Für jeden Leser ist unmittelbar einsichtig, daß eine umfassende Bearbeitung paläomagnetischer Probleme an archäologischen Objekten eingeübt werden muß. Die Magnetik-Arbeitsgruppe des NLFb befindet sich momentan noch in diesem Stadium. Die Archäologen sind daher aufgerufen, dem Autor bzw. dem NLFb jede Fundstelle von Feuerstellen, insbesondere gemauerte Verhüttungs- und Brennöfen, Herdstellen und Brandstellen möglichst umgehend mitzuteilen.

#### LITERATUR:

- M. J. AITKEN, H. N. HAWLEY and G. H. WEAVER, *Magnetic dating: Further archaeomagnetic measurements in Britain*. — *Archaeometry* 6, Oxford 1963, 76—80.
- M. J. AITKEN, M. R. HAROLD and G. H. WEAVER, *Some archaeomagnetic evidence concerning the secular variation in Britain*. — *Nature* 201, London 1964, No. 4920, 659.
- G. ANGENHEISTER und H. SOFFEL, *Studienhefte zur Physik des Erdkörpers 1: Gesteinsmagnetismus und Paläomagnetismus*. — Berlin 1972.

- V. BUCHA, *Archaeomagnetic and palaeomagnetic study of the magnetic field of the earth in the past 600 000 years.* — Nature 213, London 1967, 1005—1007.
- V. BUCHA, *Influence of the earth's magnetic field on radiocarbon dating.* — Proceedings of the Twelfth Nobel Symposium „Radiocarbon Variations and Absolute Chronology“, Almqvist, Stockholm 1970.
- S. P. BURLATSKAYA and G. N. PETROVA, *Change in the magnetic field of the earth in the past deduced from archaeomagnetic, palaeomagnetic, and observatory data.* — Geomagnetizm i Aeronomiya, Moskau 1961, 594—598.
- S. P. BURLATSKAYA, *The dating of archaeological objects by the archaeomagnetic method.* — Sovetskaya Arkheologiya 4, Moskau 1963, 115.
- A. COX, *Geomagnetic Reversals.* — Science 163, Washington 1969, 237—245.
- P. E. DAMON, A. LONG and E. J. WALLICK, *Dendochronologic calibration of the carbon-14 time scale.* — Proceedings of the Eight International Radiocarbon Dating Conference, A 28 — A 43, Wellington N.Z. 1972.
- E. ELSASSER, E. P. NEY and J. R. WINCKLER, *Cosmic-ray intensity and geomagnetism.* — Nature 172, London 1956, 1226—1227.
- M. A. GEYH, *Der Radiokohlenstoff und seine Rolle in der geowissenschaftlichen Forschung.* — Zeitschrift für Geophysik 37, Würzburg 1971, 909—935.
- H. GODWIN, *Half-life of radiocarbon.* — Nature 195, London 1962, 984—985.
- J. R. HEIRTZLER, G. O. DICKSON, E. M. HERRON, W. C. PITMAN and III. X. LE PICHON: *Marine magnetic anomalies, geomagnetic field reversals, and motions of the ocean floor and continents.* — Journal of Geophysical Research, 73, Washington 1968, 6, 2119—2136.
- M. W. MC ELHINNY and P. J. BUREK, *Mesozoic paleomagnetic stratigraphy.* — Nature 232, London 1971, 5306, 98—102.
- T. NAGATA, Y. ARAI and K. MOMOSE, *Secular variation of the geomagnetic total force during the last 5 000 years.* — Journal of Geophysical Research, 68, Washington 1963, 18, 5277—5281.
- T. NAGATA, *Geomagnetic secular variation.* — International Dictionary of Geophysics, ed. K. PUNCORN, Vol. 1. — Oxford 1967, 627—629.
- R. PUCHER, *Archäomagnetische Untersuchungen an Proben des Bremer St. Petri-Domes.* — Unveröffentlichter Bericht des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung, Archiv-Nr. 77 659, Hannover 1977.
- R. PUCHER and K. FROMM, *Archäomagnetische Untersuchungen bronzezeitlicher Hügelgräber bei Werxhausen (Duderstadt).* — Unveröffentlichter Bericht des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung, Archiv Nr. 77 533, Hannover 1977.
- M. TALWANI, C. C. WINDISH and M. G. LANGSETH, *Reykjanes ridge crest: a detailed geophysical study.* — Journal of Geophysical Research, 76, Washington 1971, 2, 473—517.
- E. THELLIER et O. THELLIER, *Sur l'intensité du champ magnétique terrestre dans le passé historique et géologique.* — Annale de Géophysique, 15, Paris 1959, 288—376.
- E. THELLIER, *Archaeomagnetism.* — International Dictionary of Geophysics, ed. K. RUNCORN, Vol. 1. — Oxford 1967, 74—78.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Rudolf Pucher, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Stilleweg 2, 3000 Hannover 51