

A. Aufsätze

Über den Stand der paläomagnetischen Untersuchungen im Pliozän und Pleistozän der Bundesrepublik Deutschland *)

KARL BRUNNACKER & WOLFGANG BOENIGK **)

Magnetostratigraphy, BRUHNES-Epoch, MATUYAMA-Epoch, GAUSS-Epoch,
stratigraphy, Pleistocene, Pliocene, Germany (GFR)

Kurzfassung: Die MATUYAMA/BRUNHES-Grenze konnte am Mittelrhein in der Schichtenfolge von Kärlich relativ stark eingeengt werden. Sie ist dort älter als die 6. Eiszeit vor heute und liegt in einer Wechselfolge von Sedimenten, die dem „Ville-Interglazial-Komplex“ zugeordnet wird. Möglicherweise muß diese Grenze sogar noch etwas tiefer gelegt werden in einen Horizont mit ersten Zeugnissen eiszeitlichen Dauerfrostbodens. In allen anderen untersuchten Lokalitäten ist die Lückenhaftigkeit der Überlieferung zu groß für detailliertere Aussagen.

Die MATUYAMA-Epoche ist vorerst sowohl am Rhein wie an der Donau wegen der vorwiegend gröberklastischen Gesteinsfazies nur bedingt mit der Feingliederung des ältesten Pleistozäns korrelierbar. So sind in der Ville (Tgb. Frechen) mehrere altquartäre warmklimatische Tonhorizonte revers magnetisiert (Tonhorizont B2 und C). Darüber folgt ein normal magnetisierter Horizont (Tonhorizont D), der sich ebenfalls noch im Liegenden der Hauptterrassenfolge befindet. Schließlich wurde neuerdings im Liegenden dieser Abfolge ein weiterer, bereits quartärer Horizont (B1) gefunden, in welchem sich eine Umpolung von normal nach revers vollzieht. Die Schwierigkeit besteht vorerst noch darin, diese Abfolge geobotanisch genauer zu definieren.

Die GAUSS-Epoche läßt sich hingegen in einen guten Zusammenhang mit dem mittleren bis höheren Pliozän bringen (Brunsumium bis mittleres Reuverium).

Die Tertiär/Quartär-Grenze auf geobotanischer Grundlage kann nach diesen Befunden etwa mit 2 Mio. Jahre vor heute relativ gut festgelegt werden; denn im höchsten Reuverium (C), das zumeist der Erosion zum Opfer gefallen ist, wurde bereits die Umpolung zur reversen MATUYAMA-Epoche (Beginn rd. 2,4 Mio. Jahre vor heute) gefunden.

[Paleomagnetic Investigations in the Pliocene and Pleistocene of the German Federal Republic]

Abstract: It was possible to locate the MATUYAMA/BRUNHES-boundary in the clay-pit of Kärlich (middle Rhine). This change of magnetic polarity can be found in sediments of the "Ville-Interglacial-Komplex" which are covered by deposits of at least six glaciations. In all the other examined german sites the lacks in the sequences are too great in order to pinpoint the position of the MATUYAMA/BRUNHES-boundary.

The correlation of the oldest pleistocene sediments with the MATUYAMA-epoch and its events could only be done on a trial basis, as the sediments are generally too coarse for magnetic measurements and pollenanalytic investigations.

On the other hand the stratigraphic sequence of the studied beds is well established by the huge coal pits in the Ville area.

It is possible to place the Tertiary/Quaternary-boundary on geobotanical basis with about 2 Mio. years BP because the change of polarity from the GAUSS- to the MATUYAMA-epoch (about 2,4 Mio. years BP) was formed in the highest Reuverium (C).

The GAUSS-epoch is to connect with the middle till higher Pliocene (Brunsumium and middle Reuverium).

Die Paläomagnetik hat in den beiden letzten Jahrzehnten wesentliche Hinweise zur Lage der Kontinent-Platten im Ablauf der Erdgeschichte samt deren Bewegungsablauf ge-

*) Erweiterte Fassung eines Vortrages anlässlich der 18. wissenschaftl. Tagung der Deutschen Quartärvereinigung in Hamburg am 2. 9. 1976.

**) Anschrift der Verfasser: Prof. Dr. K. Brunnacker und Dr. W. Boenigk, Geol. Inst. Univ. Köln, Zülpicher Straße 49, 5000 Köln 1.

bracht. Darüber hinaus ist die Paläomagnetik, seit etwa 10 Jahren mit der absoluten Zeit-Skala kombiniert, zu einem derzeit besonders wichtigen Kriterium der Quartärforschung geworden. Quartärarbeiten mit stratigraphischem Hintergrund kommen ohne diese Methode kaum noch aus, wenn sie sich dem internationalen Standard einfügen sollen (vgl. z. B. ZAGWIJN 1974).

1 Einleitung

Die moderne Paläomagnetik setzt ab 1920 mit Arbeiten von CHEVALLIER und THELIER ein. Hochempfindliche Magnetometer stehen etwa ab 1940 zur Verfügung. Erst dadurch wurde die angedeutete jüngste Entwicklung möglich (BUREK & NAIRN 1966).

1.1. Magnetische Orientierung

Für die „Natürliche Remanente Magnetisierung“ (NRM) sind bei Magmatiten insbesondere verantwortlich: Magnetit bis Titanomagnetit. Bei der Abkühlung von Magmatiten wird mit Unterschreiten des mineralspezifischen CURIE-Punktes in den Mineralen die Richtung der NRM auf das jeweilige magnetische Erdfeld gleichsam eingefroren.

Eine mechanische magnetische Ausrichtung der Körner ist bei Ablagerung geeigneter klastischer Sedimente möglich, wobei aber die Ursache der Orientierung weitgehend ungeklärt ist. Hierbei soll der Träger der NRM hauptsächlich Hämatit, Magnetit und auf-oxidierter Biotit sein.

Fernerhin kann bei der Diagenese und Pedogenese, beispielsweise bei der Umwandlung von Magnetit in Hämatit, eine Neuorientierung der Magnetisierung erfolgen. In gleicher Weise ist bei chemischen Sedimentgesteinen, welche Neubildungen magnetischer Minerale föhren, eine Orientierung auf das erdmagnetische Feld der Bildungszeit zu erwarten, wenngleich z. B. bei Mangan-Knollen der Tiefsee die bisher vorliegenden Ergebnisse noch nicht voll befriedigen (vgl. HEYE 1975).

1.2. Paläomagnet-Skala

Die Kenntnis, daß das magnetische Erdfeld neben der heutigen „normalen“ Magnetisierung auch zeitweise eine „reverse“, d. h. eine umgekehrte Orientierung besessen hat, ist seit BRUNHES im Jahre 1906 bekannt. RUTTEN hat 1959 erstmals versucht, das unterschiedliche magnetische Verhalten mit absoluten Datierungen zu verbinden. Auf Cox et al. geht ab 1963 die detailliertere paläomagnetische Skala, eine Kombination von K-Ar-Datierungen und paläomagnetischem Verhalten von Vulkaniten, zurück. Demgemäß wechseln Epochen normaler und reverser Magnetisierung:

BRUNHES-Epoche	normal
	heute bis 0,69 Mio a zurück
MATUYAMA-Epoche	revers
	bis 2,43 Mio a zurück
GAUSS-Epoche	normal
	bis 3,32 Mio a zurück
GILBERT-Epoche	revers

Zunehmend haben seither Hinweise auf zwischengeschaltete Events, also kurzfristige Umkehrungen, das Bild kompliziert.

1.3. Messung

Das Grundproblem aller Messungen in Sedimentgesteinen besteht darin, sekundäre Beeinflussungen der Magnetisierung auszuschalten, um die NRM der Bildungszeit zu er-

halten (ANGENHEISTER & SOFFEL 1972). Es geht also darum, die viskose oder weiche Magnetisierung, die eine Folge des Mineralbestandes und längerfristiger gegenseitiger wie äußerer Einwirkungen ist, auszuschalten. Die Reinigung der Proben wird mittels thermischer, bei Quartär-Proben insbesondere mittels Wechselstrom-Demagnetisierung durchgeführt. Unsere Proben haben bei (150 bis) 200 Oe beste Ansätze zum Erfassen der NRM gebracht (Kočí in BOENIGK, KOWALCZYK & BRUNNACKER 1972). Eine weitergehende Demagnetisierung kann störende Sekundäreffekte auslösen.

Die Messung der orientiert entnommenen Proben in drei Richtungen erlaubt die Lage von Inklinination und Deklination der paläomagnetischen Orientierung zu bestimmen. Gegebenenfalls wird die wechselnde Intensität einbezogen.

Im Hinblick auf das Quartär und das ihm vorangehende Pliozän bieten sich zwei Anwendungsbereiche bevorzugt an, nämlich Tiefseebohrkerne und terrestrische feinkörnige Sedimente.

Bei Bohrkernen der in den 60er Jahren einsetzenden geologischen Erforschung der Tiefsee-Gesteine hat sich die Kombination der Messung mit O^{16}/O^{18} -Daten bewährt, welche von Foraminiferengehäusen gewonnen werden. Diese organischen karbonatischen Rückstände bringen Aussagen zu Temperaturentwicklung in marinen Bereichen und damit auch zu den Kalt- und Warmzeiten des Quartärs. Wird im Profil die Grenze zwischen zwei paläomagnetischen Epochen überschritten, so hat man eine Marke, in welche sich die Zeitskala besonders des jüngeren Quartärs einhängen lässt (z. B. SHAKLETON & OPDYKE 1973 — vgl. Abb. 4).

Ein deutscher Beitrag zur Paläomagnetik von Bohrkernen stammt von HEYE & MEYER (1972). Deren Gerät erlaubt die sofortige Messung an Bord eines Schiffes. Die Methode wurde bei uns in terrestrischen Ablagerungen versucht, wobei sie ebenfalls sehr gute Ergebnisse gebracht hat. Demgemäß ist die Methode HEYE (1972) als Schnellmethode im Gelände verwendbar, zumal relativ geringer Arbeitsaufwand bei der Probenahme zügiges Arbeiten erlaubt. Beispielsweise konnten an einigen Arbeitstagen jeweils bis zu 45 Proben, d. h. eine Profilstrecke von 4,5 m durchlaufend vermessen werden.

In den 60er Jahren wurde, einer Anregung von KUKLA folgend, durch Kočí am ČSAV in Prag begonnen, systematisch paläomagnetische Untersuchungen an Sedimenten des Festlandes durchzuführen. Bevorzugt wurden anfangs Löß und Löß mit zwischengeschalteten Paläoböden. Die ersten Ergebnisse, noch auf der Basis einer thermischen Demagnetisierung, lagen 1969 vor (BUCHA et al. 1969). Zur gleichen Zeit wurden erste Daten aus altquartären Stillwasser-Sedimenten im Raum Brüggen/Niederrhein bekannt (BOENIGK 1970). Auch sie wurden in Prag mit einem Rotationsmagnetometer durch Herrn Kočí vermessen. Und seither besteht zwischen der Kölner Arbeitsgruppe und unseren Kollegen in Prag eine ausgezeichnete Zusammenarbeit. Finanzielle Probleme wurden großenteils mit Hilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft überwunden, die auch die Arbeiten von Herrn Kollegen HEYE am Rhein ermöglicht hat.

In der Folgezeit hat man gefunden, daß fast alle feinkörnigen Ablagerungen terrestrischer Bereiche realistische paläomagnetische Daten zu liefern vermögen. Dies geht so weit, daß nach jüngsten Angaben aus der UdSSR selbst Grundmoränen brauchbare Werte bringen können, wenn genügend Proben vermessen werden, um statistisch arbeiten zu können. Deutlich eingeschränkt sind allerdings die Möglichkeiten bei Solifluktionsmassen und bei biogen durcharbeitetem Bodenmaterial.

1.4. Probenahme

Die für die Vermessung vorgesehenen Proben müssen orientiert entnommen werden. Um die Deklination zu bekommen, ist die Orientierung der Proben zum magnetischen Pol

nötig. Gegebenenfalls (Methode Kočí) werden die Proben mittels orientiert in die Aufschlußwand eingeschlagener U-Eisen (mit einer Innenweite von 2 x 2 cm) gewonnen. Nach dem Freilegen der U-Eisen wird ein Würfel von 2 cm Kantenlänge herausgestochen. Auf diesem Würfel wird oben durch einen Pfeil die Nord-Richtung und auf der nach Süden gerichteten Fläche die Probe-Nr. eingeritzt. Dann werden die Proben in Plastikdosen verpackt.

Das manuelle Hauptproblem besteht darin, orientierte Proben zu bekommen. Dazu hatten wir in Köln ursprünglich eine Art Lehre, aus einer Holzbohle gefertigt, orientiert an der senkrechten Wand angebracht. Anschließend wurden anhand der damit vorgegebenen Richtung die Eisen eines unter dem anderen in die Wand eingeschlagen. Um Störungen im Sediment zu vermeiden, wurden die Eisen seitlich versetzt eingetrieben. Diese aufwendige Entnahme wurde inzwischen vereinfacht. Die Nord-Orientierung bzw. senkrecht dazu wird durch zwei an der Wand angebrachte Holzpfölcke gesichert, die übereinander in etwa 1 m Abstand stehen. Diese Marken werden beim Einschlagen der Eisen anvisiert. Die Horizontale wird mit einer kleinen Wasserwaage kontrolliert. Ferner werden die Proben im Abstand von etwa 5 cm entnommen, dafür aber aus jedem Eisen zwei Proben. Dies hat den Vorteil, Kontrollmessungen durchführen zu können und anstelle kurzer Profilausschnitte längerstreckige Sequenzen zu bekommen. Damit ist es möglich, gegebenenfalls vorhandene Trends im paläomagnetischen Verhalten erkennen zu können, worin die Zukunft der Methode liegt.

Soweit es sich um Sedimente am Hang und um tektonische verkippte Pakete handelt, wird in gleicher Weise vorgegangen. Die Lagerung wird zusätzlich nach Streichen und Fallen zur Korrektur eingemessen.

2. Aussagegrenzen

Ohne Rücksicht auf die geophysikalische Problematik lassen sich aus der Sicht der Quartär-Geologie Hinweise zur Interpretation der Daten beisteuern. Dies gilt auch für Fehlermöglichkeiten. Zum Mineralfaktor wurde schon einiges gesagt. Daneben gibt es eine Reihe von Punkten, die zumindest nicht verkannt werden dürfen, zumal bis heute dafür keine zufriedenstellenden Erklärungen gefunden wurden.

Selbstverständlich versagt die Paläomagnetik von vornherein dort, wo zu wenig magnetisch ansprechende Körner im Sediment enthalten sind. Doch genügen bereits weniger als 0,1 % magnetischer Minerale, um akzeptable Meßwerte zu bekommen. Prinzipiell ist ein solcher Mangel in größeren Sedimenten und daraus hervorgegangenen Böden gegeben. Wird beispielsweise der Medianwert der Körnungsverteilung (Md) der Proben als Richtmaß genommen, dann muß dieser Wert bei guter Sortierung etwa 0,06 mm ϕ und kleiner sein, also im Schluff-Bereich liegen, damit sinnvolle paläomagnetische Daten erwartet werden können. Dabei ist zu bedenken, daß sich die magnetisch verhaltenden Körner hinsichtlich der individuellen Orientierung auch gegenseitig beeinflussen, wobei die unterschiedliche Größe der Einzelkörner eine Rolle spielt. Doch scheint dieser Aspekt bei Quartär-Sedimenten in der Regel ohne nennenswerte Bedeutung zu sein; denn die hauptsächlich in Frage kommenden Schwerminerale liegen zumeist zwischen 0,04 und 0,4 mm ϕ , insbesondere aber im tieferen Bereich dieser Fraktion.

Die Abgrenzung gegen noch feinere Sedimente ist noch nicht abgesichert. Jedenfalls wurden bei einem Md von 0,01 mm ϕ noch interpretierbare magnetische Orientierungen gefunden. Doch spielt bei solchen Überlegungen auch die Präzision der Meßgeräte eine Rolle; denn letztlich ist denkbar, daß bei sehr geringen Anteilen an magnetischen Körnern ein Grenzbereich erreicht wird, in dem schließlich Daten ermittelt werden, in welche individuelle Eigenarten des benutzten jeweiligen Gerätes eingehen.

Etwas anders sieht die Situation bei Proben mit weniger guter Sortierung aus; denn hier sind auch in größerem Material meist noch genügend magnetisch ansprechende Körner geeigneter Größe vorhanden. Man könnte nun daran denken, daß schlechtere Sortierung der Körnung zugleich einer schlechteren magnetischen Orientierung der Körner entspricht. Dies ist keinesfalls generell der Fall, wenngleich über die Sedimentgenese wenigstens teilweise ein gewisser Zusammenhang besteht.

Das Problem der sekundären Veränderungen der Orientierung schließt sich daran an. Sie überlagert die NRM. Sie auszulöschen ist nicht allein eine Frage der Reinigung mittels Demagnetisierung, da es sich teilweise um tiefergreifende chemische und mechanische Eingriffe in das Material handelt. So dürften beispielsweise Paläoböden ohne solche sekundären Veränderungen lediglich die Situation des Ausgangsgesteins wiedergeben. Dagegen kann eine vorhandene Mineralneubildung in Böden wesentlich jünger sein als die Bodenbildung selber (BOENIGK et al. 1976).

Ebenso können bei der Diagenese i.e.s. Mineralneubildungen zu Störungen führen. Bei stärkerer Konkretionsbildung, etwa beim Wachstum von Kalkkonkretionen, wird das umgebende Sediment in seiner Lage mechanisch verändert. Bei Toneisenstein-Konkretionen, wie sie im Altquartär des Horloff-Grabens gefunden wurden, kommen Störungen über die Siderit-Komponente hinzu.

Ferner fällt in Ablagerungen mit an sich reversem Verhalten, etwa der MATUYAMA-Epoche, auf, daß ton- und schluffreiche Horizonte sich revers verhalten, daß aber nächst deren Kontakt zu größerem Material, wie auch in den angrenzenden sandigen Sedimenten häufiger normale Magnetisierung gemessen wurde (Abb. 2). Allein schon vom Geländebezug her muß es sich um jüngere Störungen handeln.

Bei der geschilderten Situation, wo nächst der Unter- und Obergrenze eines an sich paläomagnetisch gut faßbaren Sedimentlagers Störungen aufzutreten scheinen, liegt die Ursache weitgehend im Dunkel. Ein engerer Zusammenhang mit einer jungen Oxidationsfront, die in das feinkörnige Sediment vorgedrungen ist, konnte nicht immer gefunden werden. Bei sandigem Material wäre beispielsweise ferner denkbar, daß kleine magnetisch ansprechende Körner sich, weil in großen Poren liegend, etwa unter dem Einfluß von Grundwasserströmungen mehr oder minder neu zu orientieren vermögen. Doch kann damit nicht jeder Befund erklärt werden. Es muß jedenfalls bei Proben aus solchen Horizontbereichen, wie generell bei Folgen mit deutlicheren Körnungsunterschieden, mit nachträglichen Veränderungen gerechnet werden. Dies gilt selbstverständlich auch für die Ausreißer innerhalb einer sonst einwandfreien Meßreihe. So wurde im spätglazialen Löß von Gönnersdorf normale Magnetisierung gefunden. Lediglich eine Probe unmittelbar über dem Boden III (Lascaux-Interstadial) ist revers magnetisiert. Aus dieser Situation heraus läßt sich zumindest vorerst nicht auf einen sehr jungen Event schließen.

Zusammenfassend: Neben der viskosen Magnetisierung in den Sedimenten muß z. T. mit jüngeren, tiefergreifenderen Beeinflussungen der Orientierung gerechnet werden. Mineralneubildungen dominieren hierbei. Unter bestimmten Umständen ist aber auch auf mechanische Umorientierung zu schließen.

Sind nur kurze Profilabschnitte paläomagnetisch erfaßt, kann deren Interpretation dadurch erschwert werden, daß bei stark schwankenden Werten die Frage auftaucht, ob sich die oben genannten sekundären Einflüsse anzeigen oder ob primäre, materialbedingte Störungen vorhanden sind, oder ob es sich um Wirkungen handelt, die mit dem Übergang in eine umgekehrte Pollage zusammenhängen, also um stärkere Auswirkungen der Säkalvariationen auf die NRM. Eine Entscheidung hierüber wird mit der Beachtung der Materialausbildung im Profilaufbau und mit der Länge des Profilausschnittes erleichtert, weil damit die Chance wächst, eine Umkehrung des Magnetfeldes direkt zu erfassen.

3. Vorliegendes Datenmaterial

Für das Quartär der Niederlande hat VAN MONTFRANS (1971) eine umfassende Darstellung paläomagnetischer Daten gebracht. Darin geht er auf einige Vorkommen des mittleren Pleistozäns in NW-Deutschland ein (Abb. 1). Demnach weisen elstereiszeitliche Ablagerungen im Hangenden des Interglazials von Bilshausen (LÜTTIG 1965) normale Magnetisierung auf.

Aus dem Rhein-Main-Gebiet haben SEMMEL & FROMM paläomagnetische Daten angekündigt. Aus dem Alpenvorland ist, veranlaßt durch J. FINK, ein Hochflutlehm auf dem

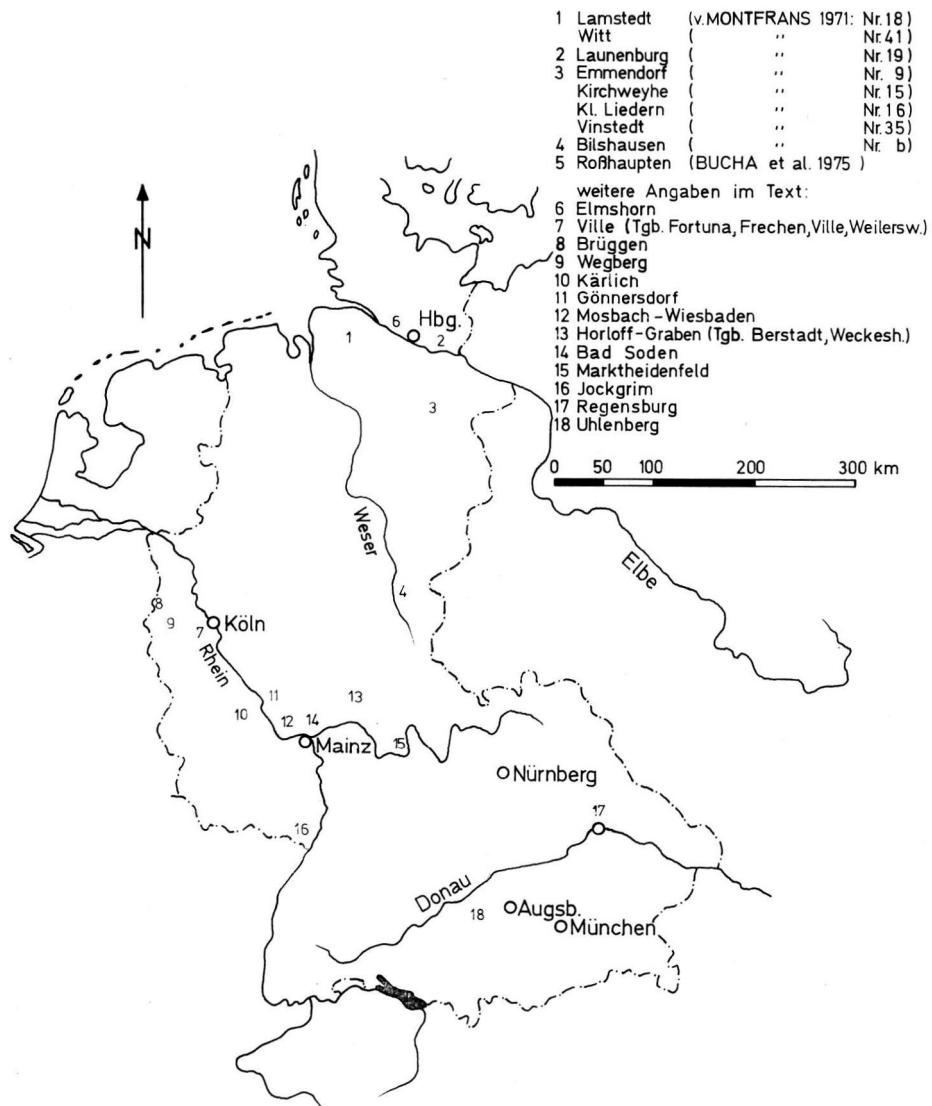


Abb. 1: Lage der veröffentlichten Paläomagnetprofile aus dem Jungtertiär und Quartär der Bundesrepublik Deutschland. Nr. 5 (Roßhaupten) liegt unmittelbar nördlich von Nr. 18.

Deckenschotter von Roßhaupten vermessen worden (Abb. 1). Er ist normal magnetisiert (BUCHA et al. 1975).

Bei unseren, von Köln ausgehenden Untersuchungen sind drei Arbeitsphasen zu unterscheiden. Anfänglich stand die Entnahme kurzer Profilabschnitte im Vordergrund. Dabei hat sich manche Problematik, wie oben angedeutet, erst allmählich herausgestellt. Darauf folgte die Arbeitsphase mit Herrn Kollegen HEYE, also Einsatz der direkten Messung im Gelände. Sie hat weitere Detailergebnisse gebracht. Ferner wurden dabei einige methodische Fragen geklärt und vor allem wurde, als Vorbereitung für den dritten Arbeitsgang, durch Übersichtsmessungen geprüft, wo mit der Methode des Prager Instituts systematisch an durchlaufenden Profilstrecken weitergearbeitet werden kann; denn es darf nicht übersehen werden, daß die Ergebnisse jeweils frühestens ein Jahr nach der Abgabe der Proben in das Laboratorium vorliegen können. In diesem letzten Arbeitsabschnitt haben sich drei Schwerpunkte herausgebildet (Abb. 1):

1. Lage der MATUYAMA/BRUNHES-Grenze in der Quartär-Stratigraphie.
2. Paläomagnetik im Pliozän und Korrelation mit der Florengliederung am Niederrhein.
3. MATUYAMA-Epoche mit Events in Beziehung zur Stratigraphie des älteren Pleistozäns.

Methode HEYE:

Kärlich: Einengung der MATUYAMA/BRUNHES-Grenze;

Bad Soden: Messungen in vielgliedrigen Löß-Paläoboden-Profil (BOENIGK, HEYE, SCHIRMER & BRUNNACKER 1974).

Brüggen/Niederrhein: Tonhorizont V (HEYE 1972).

Tgb. Ville, Frechen und Fortuna: Meßversuche in fluviatilen Ablagerungen der Hauptterrassenfolge und im Pliozän.

Tgb. Frechen: Methodische Untersuchungen im Tonhorizont C (BOENIGK, HEYE & BRUNNACKER 1976).

Gönnersdorf: Jüngster Löß (MEYER 1976).

Methode Kočí:

Tgb. Frechen: Oberstes Pliozän und Ältestpleistozän;

Tongruben im Raum Brüggen: wie oben, rd. 175 Proben (BOENIGK, KOWALCZYK & BRUNNACKER 1972).

Raum Brüggen: Pliozän-Pleistozän-Grenzbereich;

Tgb. Fortuna: Oberstes Pliozän;

Kgr. Weilerswist: mittleres Pliozän, rd. 390 Proben (BOENIGK, v. d. BRELIE et al. 1974).

Horloff-Graben, Tgb. Berstadt u. Weckesheim: Mittleres Pliozän und Ältestpleistozän, 90 Proben (BOENIGK, v. d. BRELIE et al. 1976).

Elmhorn: Lieth-Serie (Ältestpleistozän), 30 Proben (BRUNNACKER, BOENIGK et al. 1975).

Mittleres Pleistozän in Kärlich, Mosbacher Sande bei Wiesbaden, Marktheidenfeld und Jockgrim (Ältestpleistozän), 95 Proben (KOČÍ, SCHIRMER & BRUNNACKER 1973).

Wiesbaden, Mosbacher Sande, 90 Proben (BOENIGK 1976).

Mittelpleistozäne fluviatile Deckschichten auf der Hauptterrassenfolge am Niederrhein, 25 Proben (SCHNÜTGEN et al. 1974).

Tgb. Fortuna: Frimmersdorfer Interglazial, 24 Proben (BRUNNACKER, BOENIGK et al. 1976).

Paläolith-Station Gönnersdorf: Oberster Würm-Löß, 24 Proben (KOČÍ 1976).

Tgb. Fortuna, mittleres bis höheres Pliozän, rd. 400 Proben (BOENIGK, KOČÍ & BRUNNACKER 1976).

MATUYAMA/BRUNHES-Grenze in: Kärlich, Bad Soden, Wegberg, Regensburg, Uhlenberg, rd. 390 Proben (BRUNNACKER et al. 1976).

Insgesamt umfaßt diese Zusammenstellung ein Datenmaterial von rd. 1700 Probe-Entnahmestellen. In Zusammenhang mit den Feldaufnahmen der Methode HEYE wurden rd. 80 laufende Meter vermessen.

Darüber hinaus wurden, besonders in Süddeutschland, weitere Probeserien entnommen. Die-selben sind z. T. gemessen, bedürfen aber noch der Interpretation; ihre Messung ist im Rahmen des IGCP-Projektes: Quaternary Glaciations in the Northern Hemisphere (Projekt 73/1/24 — Leitung: V. ŠIBRAVA) vorgesehen.

4. Ergebnis

Die wechselseitigen Probleme zwischen Paläomagnetik und Stratigraphie des jüngsten Känozoikums sind höchst verschiedenartiger Natur. Daran orientiert sich die nachfolgende Übersicht.

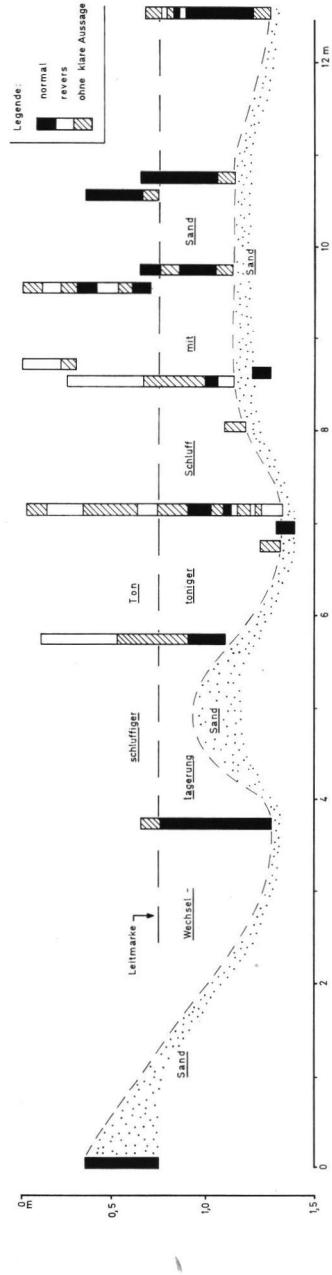


Abb. 2: Beispiel für sekundäre Störungen im paläomagnetischen Verhalten im Grenzbereich eines schluffigen Tonens zu liegendem Sand unterschiedlicher Körnung. (Tonhorizont C in der Ville — BOENIGK, HEYE & BRUNNACKER 1976).

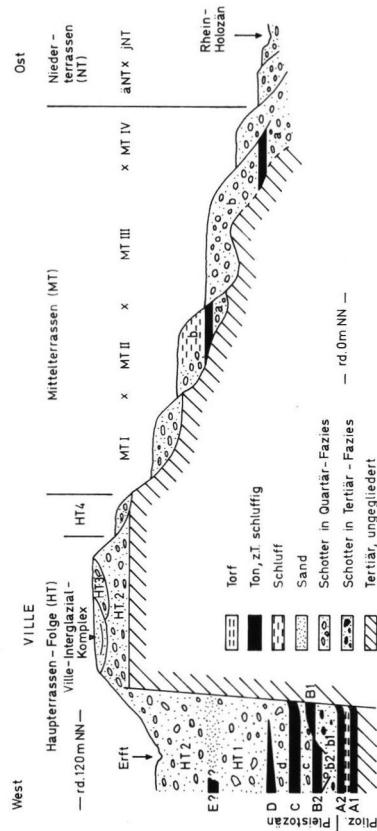


Abb. 3: Querprofil der Ville westlich Köln (schematisch nach dem Stand von 1976).

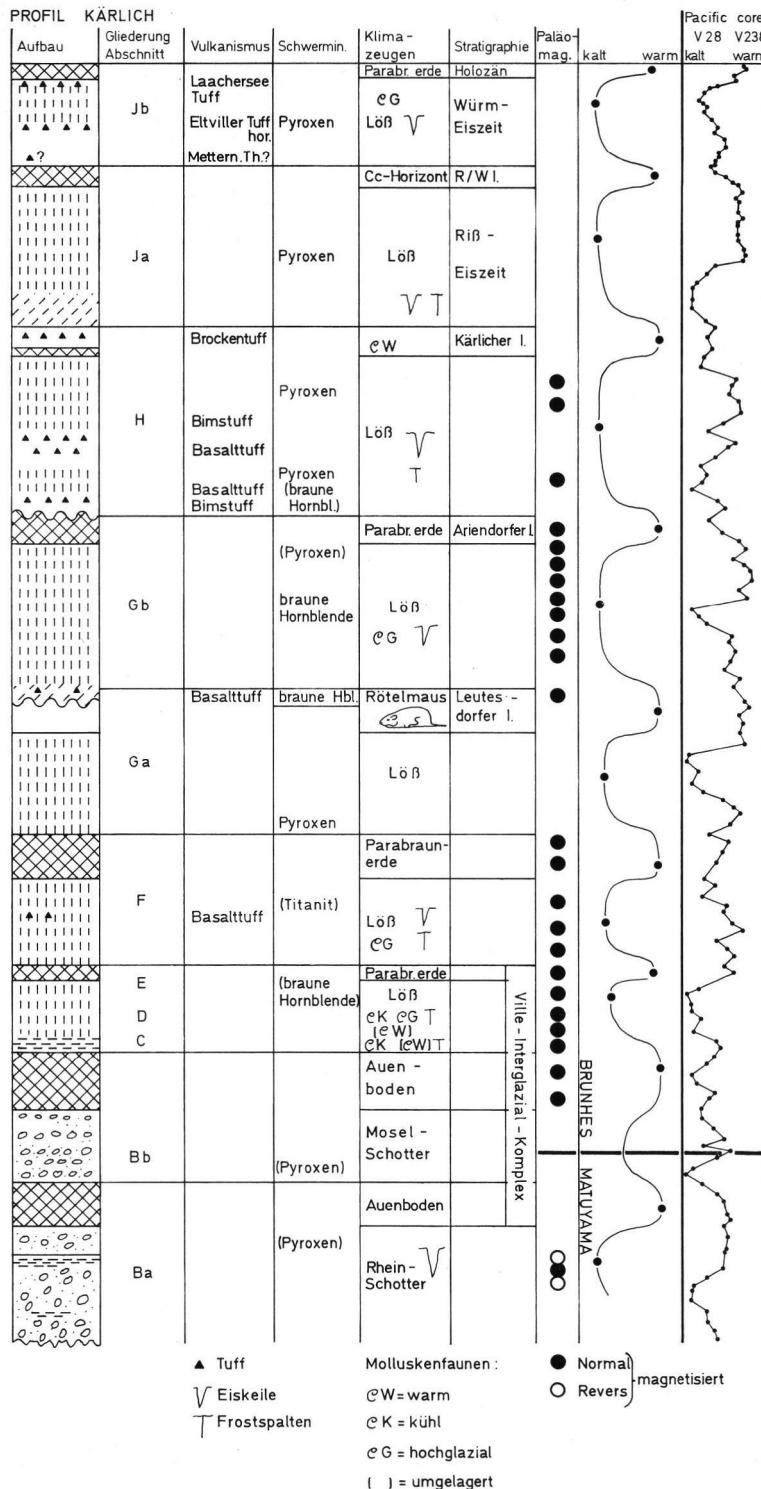


Abb. 4: Die MATUYAMA/BRUNHES-Grenze im Quartär-Profil von Kärlich mit Klimainterpretation des Profils und mit Vergleich der Temperaturschwankungen (016/018) in einem Tiefseeborsten des äquatornahen Pazifik (SHAKLETON & ODYKE 1973). In Kärlich entspricht ein Punkt dem paläomagnetischen Ergebnis von etwa 5 Probenahmestellen.

4.1. MATUYAMA / BRUNHES - Grenze

In diesem Fall besteht die entscheidende Frage darin, einen Aufschluß zu finden, in welchem der Grenzbereich beider Epochen durch Ablagerungen möglichst lückenlos überliefert ist. Ferner müssen die Ablagerungen die Voraussetzungen mitbringen, sinnvolle paläomagnetische Daten liefern zu können. Schließlich müssen die zeitlich anschließenden jüngeren Quartär-Bildungen einen lückenlosen Wechsel der nachfolgenden Eiszeiten und Zwischeneiszeiten erfassen lassen. Ein Profil, das diese drei Vorbedingungen vollständig erfüllt, gibt es in Deutschland nicht. Am nächsten kommt das Profil von Kärlich/Neuwieder Becken, das nach rd. 10jähriger Bearbeitung, sehr gut bekannt ist (BRUNNACKER 1975, Ergänzungen hierzu bei RAZI RAD 1976). Hier mangelt es aber daran, daß der für die Grenzziehung in Frage kommende „Abschnitt Bb“ in der Fazies des Mosel-Schotters ausgebildet ist (Abb. 4). Sein hangend abschließender Hochflutlehmb ist normal magnetisiert. Im Liegenden sind feinkörnige Lagen im Schotter des Abschnittes Ba revers magnetisiert. Die Grenze wird in den Schotter des Abschnittes Bb gelegt. Es besteht damit noch eine gewisse Möglichkeit dafür, daß die Umpolung etwas tiefer, im höchsten Sedimentbereich von Abschnitt Ba oder in dem ihn abschließenden Auenboden, erfolgt ist. Doch sollte sich auf längere Sicht hinsichtlich dieser Detailfrage eine Klärung ergeben. Im Schotter von Abschnitt Ba treten nämlich erstmals Eiskeile und sehr ausgeprägte Kryoturbationen am Rhein auf. Eine erste tiefgreifende Eiszeit mit Dauerfrostboden wird dadurch signalisiert. Hingegen ist der Schotter des Abschnittes Bb, in dem wir die Umpolung suchen, sehr gut geschichtet und als Schwemmfächer der Mosel in das Rhein-Tal hinein anzusehen. In dieser Ablagerung kann man keineswegs die Wirkungen einer ausgeprägteren Kaltzeit sehen. Gemäß den paläoklimatologischen Überlegungen wird in Kärlich, ausgehend von ähnlichen Beobachtungen am Niederrhein, der Bereich vom „Boden auf Abschnitt Ba bis einschließlich Boden des Abschnittes E“ dem „Ville-Interglazial-Komplex“ gleichgesetzt (Abb. 3).

Ein Vergleich mit der paläomagnetischen Interpretation von Tiefsee-Bohrkernen, die zugleich paläomagnetisch vermessen sind, bringt gute Ansätze für die Konnektierung mit dem marinen Bereich (Beispiel dafür in Abb. 4). Wenn eine solche Konnektierung bislang nicht versucht wurde, auch wenn sie seitens klassisch orientierter Geologie immer wieder gefordert wird, so hat dies seine Gründe: Die Stratigraphie des Quartärs im terrestrischen Bereich steht und fällt beim heutigen methodischen Stand mit der Frage ihrer Lückenhaftigkeit — es handelt sich gleichsam um eine Geologie der Überlieferungslücken, wobei zwei Forderungen zu erfüllen sind: diese Lücken zu erkennen und ihre Wertigkeit zu erfassen. Der grundsätzliche Irrtum besteht nun im Glauben, im marinen Bereich einen Raum ohne derartige Sediment-Lücken zu haben. Man hat sich jedoch leider noch nicht sehr ernsthaft bemüht, dieses Dogma kritisch zu überprüfen. Hinzu kommt die Frage der Signifikanz der Klimaschwankungen in den Sedimenten der Tiefsee.

Innerhalb der BRUNHES-Epoche wurde nicht systematisch nach Events, z. B. BLAKE und Laschamp, gesucht. Ob der letztere in Gönnersdorf anhand der Daten einer einzigen Probe erfaßt wurde (Methode Kočí), ist zweifelhaft, zumal die Probe an der Grenze einer Pararendzina (Boden III) zum hangenden Löß entnommen wurde, also in einer Position mit genereller Neigung zum Bodenfließen. Auch systematische Geländemessungen in Gönnersdorf (MEYER 1976) und in Lommersum/Niederrheinische Bucht haben keine Hinweise gebracht.

4.2. Pliozän und Tertiär / Quartär - Grenze

Selbstredend liegt bei der stratigraphischen Auswertung paläomagnetischer Daten ein Hauptgewicht auf der Fixierung der Tertiär/Quartär-Grenze. Dabei gibt es allerdings

noch viel weitergehende Schwierigkeiten als beim Zusammenfügen der MATUYAMA/BRUNHES-Grenze mit der Klimaentwicklung des mittleren Pleistozäns:

Die Definition der Tertiär/Quartär-Grenze wird nicht einheitlich gehandhabt. Insbesondere konnte gezeigt werden, daß die Grenze auf floristischer Basis anders in der Zeitfolge liegt als die Grenze aufgrund der terrestrischen Sägerfaunen (BOENIGK, v. d. BRELIE et al. 1976, BRUNNACKER, TOBIEN & v. d. BRELIE 1976, vgl. auch Abb. 5):

Flora:	Landsäugetiere:	
Prätiglum	Mittleres Villafranchium	— — — — Floengrenze
— — — —		— — — — Faunengrenze
Reuverium	Unteres Villafranchium	
— — — —		
Brunssumium	Csarnotium	
Susterium		

Nachfolgend wird der Floengliederung der Vorzug gegeben, da wir wenigstens für das Pliozän ausreichende Daten zur Verfügung haben (v. d. BRELIE).

Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, daß die Zahl und Zeitstellung der Events im älteren Teil der MATUYAMA-Epoche nicht voll gesichert sind. Manche Angaben dazu scheinen außerdem zumindest hinsichtlich der Interpretation bislang einer gewissen Willkür nicht zu entbehren.

Als dritte Schwierigkeit kommt die Beschaffenheit der Sedimente einmal im Hinblick auf deren Brauchbarkeit für paläomagnetische Messungen und zum anderen auf deren Pollenführung hinzu. Im Unterschied zum Pliozän besteht nämlich für das älteste Pleistozän am Niederrhein (z. B. in der Ville) noch ein Mangel an palynologischen Daten. Er wird in den kommenden Jahren gemildert werden.

Schließlich sind in den Aufschüssen in der Regel wesentliche Überlieferungslücken im tiefsten Pleistozän vorhanden. Doch glauben wir auch in diesem Fall, wenigstens in der Ville, eine weitgehende Einengung erreicht zu haben (Abb. 3).

Rückgrat für die Untersuchungen zur Tertiär/Quartär-Grenze sind die gewaltigen Aufschlüsse der R he i n b r a u n in der Ville. Doch war hierfür ein langer Weg nötig, angefangen von der Dissertation von KOWALCZYK (1970) bis zum heutigen Kenntnisstand (BOENIGK, v. d. BRELIE et al. 1974). Ergänzungen brachten die Tgb. im Horloff-Graben (BOENIGK, v. d. BRELIE et al. 1976), und schließlich ein Paläomagnet-Profil im Tgb. Fortuna der Ville, das tief in das Pliozän hinabreicht und das sich mit den Befunden der Palynologie kombinieren läßt (BOENIGK, KOČI & BRUNNACKER 1976).

Nach diesem Fortuna-Profil liegt im tieferen Brunssumium die GILBERT/GAUSS-Grenze. In den Ablagerungen des Brunssumium lassen sich Mammoth- und Kaena-Event fassen. Im Horloff-Graben (Abb. 5) liegt demgemäß die so wichtige csarnotische Sägerfauna im tiefsten, von oben nach unten gerechnet, noch normal magnetisierten Bereich des Brunssumiums, während nach der Flora sich bereits eine Annäherung an das Susterium bemerkbar macht.

Reuverium B und C, normal magnetisiert, gehören im wesentlichen noch in die GAUSS-Epoche. Doch ist das höhere Reuverium C revers magnetisiert. Und der alleroberste Bereich verhält sich wieder normal. Ob es sich bei diesen obersten Werten um eine sekundäre Veränderung handelt, ist offen. Ursprünglich stand zur Diskussion, ob der reverse Bereich im Reuverium C dem tieferen Teil der MATUYAMA-Epoche oder einem Event innerhalb der GAUSS-Epoche zuzuordnen ist. Dies war einer der Gründe, die Probenfolge bis weit in das Pliozän hinein fortzuführen. Es ist damit festzuhalten, daß die Grenze GAUSS/

MATUYAMA im Reuverium C liegt. Erhebliche Konsequenzen für die Zeitspanne des Quartärs auch auf floristischer Grundlage folgen daraus; denn sie muß damit deutlich jünger sein als 2,5 Mio. Jahre.

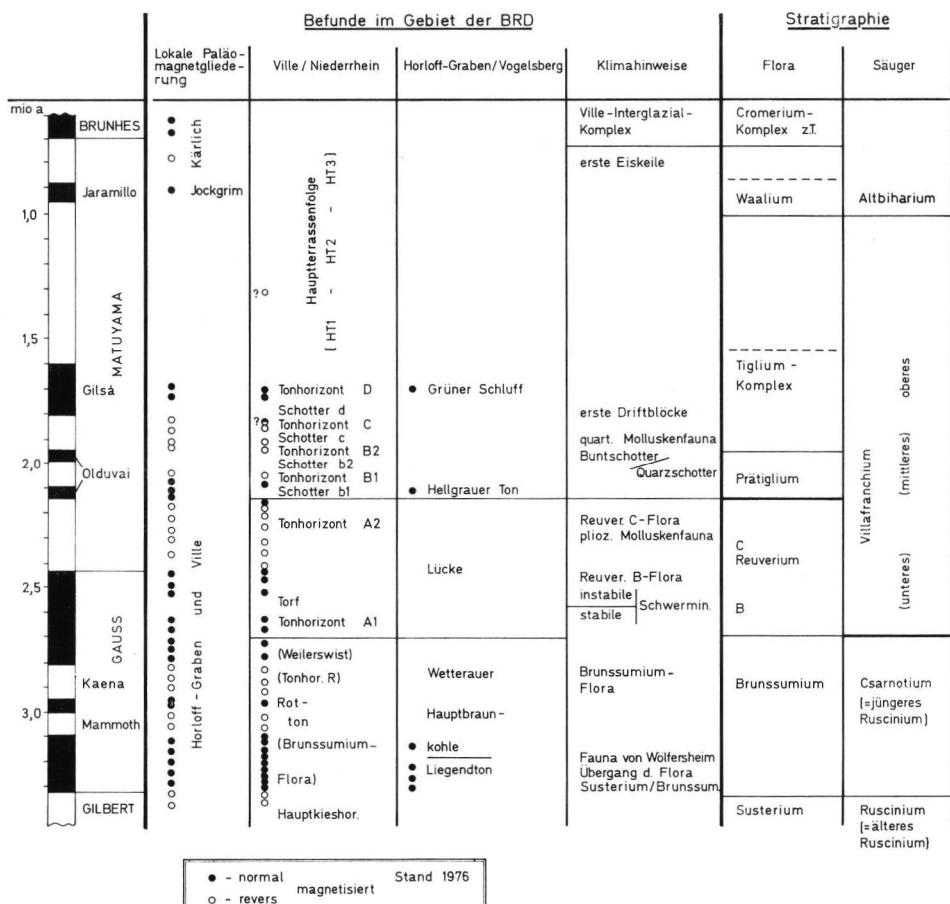


Abb. 5: Paläomagnetische Daten aus dem Pliozän und Altquartär in Beziehung zur Floren- und Faunengliederung (im wesentlichen nach BRUNNACKER, TOBIEN & V. D. BRELIE 1975).

Das floristisch angesprochene Prätigium in der Wetterau (BOENIGK, v. D. BRELIE et al. 1976) ist normal magnetisiert. Wenngleich es sich dabei um ein Sediment in Tertiär-Fazies handelt, ist doch unsicher, ob es tatsächlich dem Prätigium der Niederlande entspricht, da es sowohl vom Liegenden wie vom Hangenden durch Schichtlücken abgesetzt ist. Hingegen stehen in der Ville bisher keine meßbaren Sedimente in den hier als „Schotter b1“ bezeichneten Ablagerungen vom Typ der Kieseloolith-Fazies zur Verfügung.

Über einer ausgeprägten Erosionsdiskordanz folgt im Tgb. Frechen in Superposition der Schotter b2 in quartärer Buntschotter-Fazies (Abb. 5). Die Frage, wie groß die Lücke zwischen Schotter b1 und b2 ist, wurde immer wieder diskutiert (z. B. BURGHARDT & BRUNNACKER 1973). Inzwischen konnte ein Tonlager zwischen beiden Schottern identifiziert werden (BOENIGK 1977). Es handelt sich um den Tonhorizont, der seitens der

Rheinbraun teilweise als Tonhorizont 13 bezeichnet wird. Gemäß ersten pollanalytischen Befunden (KOERFER-URBAN) handelt es sich sicherlich um eine pleistozäne Ab Lagerung (Tonhorizont B1).

Wenn davon ausgegangen wird, daß zwischen Schotter b1 und dem als Tonhorizont B1 bezeichneten Lager keine wesentliche Lücke mehr besteht, dann ist dies unser ältester quartärer Tonhorizont in der Ville und er liegt im Bereich eines alten Events innerhalb der MATUYAMA-Epoche. Ein Vergleich mit den Befunden in den Niederlanden wird im nächsten Kapitel vorgenommen. Hier genügt es zu wiederholen, daß die GAUSS/MATUYAMA-Grenze im Reuverium C liegt. ZAGWIJN (1975) läßt das Prätiglum demgegenüber bereits im höheren Teil der GAUSS-Epoche beginnen, was eine Zeitdifferenz bis zu 500 000 Jahre ausmachen kann.

Der revers magnetisierte Tonhorizont R im Tgb. Frechen (KOWALCZYK 1970) gehört entsprechend seiner Position im Gesamt-Profil in einen der Events der GAUSS-Epoche (BOENIGK, KOWALCZYK & BRUNNACKER 1972). Der in Weilerswist seinerzeit aufgeschlossene Tonhorizont (BOENIGK 1974) zeigt normale Magnetisierung (BOENIGK, V. D. BRELIE et al. 1974). Doch weisen die unruhigen Werte auf die Nähe einer Umpolung hin. Gemäß dem Geländebe fund könnte es sich ebenfalls um die zeitliche Nachbarschaft zu einem Event oder um die Nähe der GILBERT-Epoche handeln.

4.3. Altquartär

Trotz einer erheblichen Zahl von Daten aus dem Ältestpleistozän ist deren Verknüpfung mit den konventionellen stratigraphischen Vorstellungen noch immer mit offenen Fragen belastet. Grund dafür ist die Unsicherheit hinsichtlich einer detaillierteren Kenntnis der Klimaschwankungen des Zeitraumes, der die Basis einer Gliederung abgeben müßte. Auf die Beziehungen der Stratigraphie zur MATUYAMA-Epoche werden wir deshalb in einem späteren Beitrag noch einmal eingehender zurückkommen müssen. Hinzu kommt im Altquartär am Rhein die palynologisch praktisch nicht faßbare Hauptterrassenfolge, was auch für entsprechende Deckschotter im Alpenvorland gilt. Hinzu kommt ferner die sich nur allmählich auflösende Unsicherheit hinsichtlich der in die MATUYAMA-Epoche eingeschalteten Events und deren genauere Datierung.

Wie gezeigt, kann nach den bisher vorliegenden Daten die Tertiär/Quartär-Grenze in einen frühen Event der MATUYAMA-Epoche eingestuft werden. Ob es sich um den Olduvai-, den Olduvai I- oder den Réunion-Event handelt, bleibt offen. Jedenfalls ist in den Tagebauen der Ville der bislang als ältester angesprochene quartäre Tonhorizont B1 unten normal und oben revers magnetisiert. Der folgende Tonhorizont B2, mit bereits eindeutig quartärer Molluskenfauna, ist revers magnetisiert. Dies gilt im wesentlichen auch für den Tonhorizont C. Hingegen ist der Tonhorizont D normal magnetisiert. Jüngstes Tiglum oder Waalium stehen für ihn zur Diskussion. Paläomagnetisch könnte bei ihm an den Gilsa-Event gedacht werden.

Im Raum Brüggen ist die Diskussion der zeitlichen Einstufung altquartärer Schichtglieder ebenfalls noch nicht abgeschlossen (BOENIGK 1970, ZAGWIJN 1975).

Im Tagebau Berstadt im Horloff-Graben ist der altquartäre „Grüne Schluff“ normal magnetisiert (BOENIGK, V. D. BRELIE et al. 1976). Er ist aus Löß-Material hervorgegangen und überlagert einen warmzeitlichen Torf. Vielleicht gehört er in eine Kaltzeit.

Üblicherweise wird das Waalium mit dem Jaramillo-Event in engeren zeitlichen Zusammenhang gebracht. Bei dem Tonlager von Jockgrim ergibt sich damit eine interessante Beziehung. Nach PETERS (1965) kann anhand der Pollen nicht entschieden werden, ob

Tiglum oder Waalium. Der Ton ist normal magnetisiert (Kočí et al. 1973) und gehört nach der Sägerfauna in das Altbiharium. Da das Tiglum etwa dem oberen Villafranchium entspricht, kann in Jockgrim das Waalium mit dem Altbiharium und dem Jármillo-Event zusammengefügt werden (Abb. 5).

Doch liegen die Verhältnisse meist nicht so günstig. So könnte bei der Lieth-Serie (BRUNNACKER et al. 1975) die normale Magnetisierung, mit noch zumal sehr schwacher Intensität der hier anstehenden sehr gut sortierten Feinsande, auf einem Sekundäreffekt beruhen, wie er in ähnlicher Weise nächst dem Liegenden von Tonhorizont C in der Ville gefunden wurde.

In Kärlich und in den Mosbacher Sanden ist der jeweils tiefste Horizont revers magnetisiert (Kočí, SCHIRMER & BRUNNACKER 1976). Doch ist in beiden Fällen eine Schichtlücke im Hangenden sicher (Mosbach — BOENIGK 1976) oder wahrscheinlich (Kärlich).

Das Profil vom Uhlenberg westlich Augsburg ist zu isoliert, um genauere Angaben zu erlauben (FILZER & SCHEUENPFLUG 1970). Unter einer Schieferkohle, die in das Waalium eingestuft wird, die aber wesentlich älter sein kann, liegen feinkörnige Stillwassersedimente. Sie sind unten normal und oben revers magnetisiert. Schotter bilden das Liegende. Eine Beziehung zum ältesten Quartärton B1 der Ville ist nicht von der Hand zu weisen. An dieser Lokalität hängt vorerst die Konnektierung des Altquartärs im Alpenvorland mit der Paläomagnetik-Skala.

In der Zgl.-Grube Strobel nördlich Regensburg ist folgende Situation gegeben: Die fluvialen Sedimente sind normal und die abschließenden Böden revers magnetisiert (BRUNNACKER et al. 1976). Bezüglich der besonderen genetischen Magnet-Probleme wird auf BOENIGK et al. (1976) verwiesen.

Auf Grund der Arbeiten von STÜCKL (1971) kann man die den Riesenböden zugehörige Landoberfläche um 370 bis 380 m NN veranschlagen, also nur wenige Zehner von Metern über der jungquartären Talsohle der Donau (NT-Oberfläche bei 330 m NN). Außerdem ist die Landoberfläche bruchtektonisch disloziert. Eine Einstufung der Riesenböden in das Altquartär hat Konsequenzen bezüglich der Taleintiefung. Die extreme Pseudovergleyning dieser Riesenböden muß keineswegs auf eine besonders warme Zeit zurückgehen; denn eine lange Übergangszeit zu einer nachfolgenden Kaltzeit kann einen gleichen Effekt auslösen. Bei einer noch älteren Datierung würde sich in landschaftsmorphologischer Hinsicht nichts an der Feststellung einer tief im Donau-Zug gelegenen alten Landoberfläche ändern. Lediglich für die Tektogenese wäre ein etwas größerer zeitlicher Bereich eröffnet (TILLMANNS 1976).

4.4. Ergebnis

Die Zusammenstellung zeigt, daß beim heutigen Kenntnisstand hinsichtlich der paläomagnetischen Interpretationen oft noch ein weiter Spielraum besteht. Sie zeigt aber weiter, daß durch Zusammenwirken der verschiedenen Quartär-Disziplinen, zu denen die Paläomagnetik gehört, teilweise recht genaue Aussagen möglich geworden sind. So ist gegenüber der Zeit vor nur 10 Jahren die Lage der Tertiär/Quartär-Grenze wesentlich präzisiert worden. Das nämliche gilt für die MATUYAMA/BRUNHES-Grenze. Wenngleich man von der Paläomagnetik keine Wunder verlangen kann, die Fragen zu lösen, die bislang mit anderen Methoden nicht geschafft werden konnten, so muß man doch dieser Methode einen sehr hohen Stellenwert innerhalb der Quartär-Forschung zuerkennen.

5. Korrelationsprobleme

Als Ausgangsbasis für Korrelationen im jüngeren Neogen und Quartär bieten sich in Westdeutschland die Ablagerungen in der Niederrheinischen Bucht an. Hier ist die relative Stellung der in Frage kommenden Schichtglieder zueinander aufgrund eindeutiger Superposition und durch sonstigen geologischen Verband gesichert. Auch sind Schichtlücken weniger gravierend als in vielen anderen Bereichen des terrestrischen Raumes. Ferner sind wenigstens für das jüngere Tertiär die vegetationsgeschichtlichen Grundlagen erarbeitet. Das Ergebnis einer daraus resultierenden Korrelation von Schichtfolge und Paläomagnetik ist in Abb. 4 u. 5 zusammengefaßt. Doch macht es vorerst Schwierigkeiten, bestimmte Befunde mit der Darstellung, wie sie für die Niederlande gebracht wurde, zu verbinden (ZAGWIJN 1974). Einer der Gründe ist die bei uns nur allmählich zunehmende Zahl pollanalytisch untersuchter Profile im älteren Quartär. Daneben ist zu bedenken, daß es sich bei den Differenzen um Größenordnungen handelt, die bis vor kurzer Zeit vernachlässigt werden durften. Die Forschung geht immer weiter in Details hinein und wirft damit ständig neue Fragen auf, deren Lösung mit zunehmend größerem Aufwand verbunden ist.

Abschließend darf gesagt werden: Die Korrelation der aus den Schichtenfolgen verschiedener Gebiete entwickelten Klimageschichte auf der Grundlage der Paläomagnet-Skala ist schon beim heutigen Kenntnisstand ein echter Fortschritt. Dies gilt auch dann, wenn genetische Mechanismen des paläomagnetischen Verhaltens von Sedimenten und Böden noch unklar sind.

Allerdings wird man nie, wie bei jeder anderen exakten Methode, die Aussagegrenzen und die Fehlermöglichkeiten, von denen eingangs einige genannt wurden, außer Acht lassen dürfen.

Schriftenverzeichnis

- ANGENHEISTER, G. & SOFFEL, H. (1972): Gesteinsmagnetismus und Paläomagnetismus. — Studienh. z. Physik Erdkörpers, **1**: 110 S.; Berlin/Stuttgart.
- BOENIGK, W. (1970): Zur Kenntnis des Altquartärs bei Brüggen (westlicher Niederrhein). — Sonderveröff. Geol. Inst. Univ. Köln, Nr. **17**: 138 S.; Köln.
- (1974): Zur Altersstellung des Tonlagers von Weilerswist (Südliche Niederrheinische Bucht). — Decheniana, **126**: 183—189; Bonn.
- (1976): Die petrographische Gliederung der Mosbacher Sande im Dyckerhoff-Steinbruch, Wiesbaden. — Mainzer naturwiss. Arch. [im Druck].
- (1977): Die Gliederung der altquartären Ablagerungen in der linksrheinischen Niederrheinischen Bucht. — Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **28** [im Druck].
- BOENIGK, W., v. d. BRELIE, G., BRUNNACKER, K., KEMPF, E., Kočí, A., SCHIRMER, W., STADLER, G., SREIT, R. & TOBIEN, H. (1976): Jungtertiär und Quartär im Horloff-Graben/Wetterau. — Abh. hess. Notizbl. Bodenforsch. Wiesbaden. — [im Druck].
- BOENIGK, W., v. d. BRELIE, G., BRUNNACKER, K., Kočí, W., SCHLICKUM, W. & STRAUCH, Fr. (1974): Zur Pliozän-Pleistozän-Grenze im Bereich der Ville (Niederrheinische Bucht). — Newsł. Stratigr., **3**: 219—241; Leiden.
- BOENIGK, W., HEYE, D. & BRUNNACKER, K. (1976): Grenzen bei der Interpretation paläomagnetischer Daten von Quartär-Sedimenten. — [Ms.].
- BOENIGK, W., HEYE, D., SCHIRMER, W. & K. BRUNNACKER, K. (1974): Paläomagnetische Messungen an vielgliedrigen Quartär-Profilen (Kärlisch/Mittelrhein und Bad Soden i. Taunus). — Mainzer Naturwiss. Arch., **12**: 159—168; Mainz.
- BOENIGK, W., Kočí, A. & BRUNNACKER, K. (1976): Paläomagnetische Untersuchungen im Pliozän in der Ville/Südlicher Niederrhein. — [Ms. i. Vorber.].
- BOENIGK, W., KOWALCZYK, G. & BRUNNACKER, K. (1972): Zur Geologie des Ältestpleistozäns der Niederrheinischen Bucht. — Z. dt. geol. Ges., **123**: 119—161; Hannover.

- BRUNNACKER, K. (1971): Beiträge zur Stratigraphie des Quartär-Profils von Kärlisch am Mittelrhein. — Mainzer Naturwiss. Arch., **10**: 77—100; Mainz.
- (1975a): Der stratigraphische Hintergrund von Klimaentwicklung und Morphogenese ab dem höheren Pliozän im westlichen Mitteleuropa. — Z. Geomorph. F. Suppl. Bd., **23**: 82—106; Stuttgart.
 - (1975b): The Mid-Pleistocene of the Rhine Basin. — In: BUTZER, K. W. & ISAAC, G. L.: After the Australopithecines: 189—224; the Hague/Paris.
- BRUNNACKER, K., BOENIGK, W., DOLEZALEK, B., Kočí, A., MENTZEN, H., KEMPF, E., RAZI RAD, M. & WINTER, K. P. (1976): Die Mittelterassen am Niederrhein zwischen Köln und Mönchengladbach. — Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf.; Krefeld. — [im Druck].
- BRUNNACKER, K., BOENIGK, W., Kočí, A. & TILLMANNS, W. (1976): Die MATUYAMA/BRUNHES-Grenze am Rhein und an der Donau. — N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **151**: 358—378; Stuttgart.
- BRUNNACKER, K., BOENIGK, W., WOLF, M. & Kočí, A. (1975): Die Sedimente der Lieth-Serie bei Elmshorn. — Geol. Jb., A, **26**: 153—171; Hannover.
- BRUNNACKER, K., TOBIEN, H. & v. d. BRELIE, G. (1975): Pliozän und Ältestpleistozän in der Bundesrepublik Deutschland. — Ein Beitrag zur Neogen/Quartär-Grenze. — IGCP-Project 73/1/41: Neogene-Quaternary-Boundary; Bologna. — [im Druck].
- BUCHA, V., HORAČEK, J. & Kočí, A. (1969): Paläomagnetische Messungen in Lössen. — In: DEMEK, J. & KUKLA, J.: Periglazialzone, Löß und Paläolithikum der Tschechoslowakei. — Tschechoslow. Akad. Wiss., Geogr. Inst. Brno: 156 S.; Brno.
- BUCHA, V., HORÁČEK, J., Kočí, A., ŠIBRAVA, V. & LOŽEK, V. (1975): Palaeomagnetic Correlations of Pleistocene Sediments of Central Europe. — Projekt 73/1/24: Quaternary Glaciations in the Northern Hemisphere, Rep. **2**: 9—36; Prague.
- BUREK, P. & NAIRN, A. E. M. (1966): Paläomagnetismus — ein neues Teilgebiet der Geophysik. — Physik. Bl., H. 3: 107—117.
- BURGHARDT, E. & BRUNNACKER, K. (1973): Quarzzahl und -rundung in Schottern der Niederrheinischen Bucht. — Decheniana, **126**: 335—352; Bonn.
- FILZER, P. & SCHEUENFLUG, L. (1970): Ein frühpleistozänes Pollenprofil aus dem nördlichen Alpenvorland. — Eiszeitalter u. Gegenwart, **21**: 22—32; Öhringen.
- HEYE, D. (1972): Ein Meßverfahren zur paläomagnetischen Untersuchung von Lockersedimenten im Gelände. — Z. Geophys., **38**: 1055—1057; Würzburg.
- (1975): Wachstumsverhältnisse von Manganknollen. — Geol. Jb., E 5: 3—122; Hannover.
- HEYE, D. & MEYER, H. (1972): Ein Meßverfahren zur paläomagnetischen Messung an Tiefseesedimentkernen an Bord eines Schiffes. — Z. Geophys., **38**: 937—947; Würzburg.
- Kočí, A. (1976): Paläomagnetik. — In: BRUNNACKER, K. (Koordinator): Geowissenschaftliche Untersuchungen in Gönnersdorf. — Gönnersdorf, 4; Wiesbaden. — [im Druck].
- Kočí, A., SCHIRMER, W. & BRUNNACKER, K. (1973): Paläomagnetische Daten aus dem mittleren Pleistozän. — N. Jb. Geol. Paläont., Mh., H. **9**: 545—554; Stuttgart.
- KOWALCZYK, G. (1970): Zur Kenntnis des Altquartärs der Ville (südliche Niederrheinische Bucht). — Sonderveröff. Geol. Inst. Univ. Köln, Nr. **18**: 147 S.; Köln.
- LÜTTIG, G. (1965): The Bilshausen Type Section, West Germany. — Geol. Soc. Amer. spec. Pap., **84**: 159—178; New York.
- MEYER, H. (1976): Paläomagnetische Geländemessungen. — In: K. BRUNNACKER (Koordinator): Geowissenschaftliche Untersuchungen in Gönnersdorf, — [Ms.].
- MONTFRANS, H. M. VAN (1971): Palaeomagnetic dating in the north sea basin. — Diss.: 113 S.; Rotterdam.
- PETERS, I. (1965): Zur Altersstellung der Torfe und Gyttjen von Herxheim, Jockgrim und Rheinabern. — Eiszeitalter u. Gegenwart, **16**: 121—131; Öhringen.
- RAZI RAD, M. (1976): Schwermineraluntersuchungen zur Quartär-Stratigraphie am Mittelrhein. — Sonderveröff. Geol. Inst. Univ. Köln, Nr. **28**: 164 S.; Köln.
- SHAKLETON, N. J. & ODPYKE, N. D. (1973): Oxygen and Palaeomagnetic Stratigraphy of Equatorial Pacific Core V 28—238; Oxygen Isotope Temperatures and Ice Volumes on a 10^5 Year and 10^6 Year Scale. — J. Quaternary Res., **3**: 39—55; Washington.
- SCHNÜTGEN, A. (1973): Die Hauptterrassenfolge am linken Niederrhein aufgrund der Schotterpetrographie. — Forsch. Ber. Landes Nordrhein-Westf. Nr. **2399**: 150 S.; Opladen.
- SCHNÜTGEN, A., BOENIGK, W., BRUNNACKER, M., Kočí, A. & BRUNNACKER, K. (1975): Der Übergang von der Hauptterrassenfolge zur Mittelterassenfolge am Niederrhein. — Decheniana, **128**: 67—86; Bonn.

- STÜCKL, E. (1971): Marmorierter Pseudogley als fossile Bodenbildung im Süden Regensburgs. — Acta Albertina Ratisbonensis, **31**: 151—164; Regensburg.
- TILLMANNS, W. (1976): Zur Geschichte von Urmain und Urdonau zwischen Bamberg, Neuburg/Donau und Regensburg. — Diss. Univ. Köln.
- WIEGANK, F. (1975): Paläomagnetische Untersuchungen zur Quartärstratigraphie in der DDR (Mittelpleistozän von Voigtstedt). — Gerlands Beitr. Geophys., **84**: 215—222; Leipzig.
- ZAGWIJN, W. H. (1974): Bemerkungen zur stratigraphischen Gliederung der plio-pleistozänen Schichten des niederländisch-deutschen Grenzgebietes zwischen Venlo und Brüggen. — Z. dt. geol. Ges., **125**: 11—16; Hannover.
- ZAGWIJN, W. H., MONTFRANS, H. M. VAN & ZANDSTRA, J. G. (1971): Subdivision of the „Cromerian“ in the Netherlands; pollen-analysis, palaeomagnetism and sedimentary petrology. — Geol. en Mijnbouw, **50**: 41—58; s'Gravenhage.

Manuskript eingeg. 1. 11. 1976.