

## Werk

**Jahr:** 1975

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 Z NAT 2148:41

**Digitalisiert:** Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

**Werk Id:** PPN1015067948\_0041

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN1015067948\\_0041](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN1015067948_0041)

**LOG Id:** LOG\_0015

**LOG Titel:** K-Ar-Altersbestimmungen an Vulkaniten bekannter paläomagnetischer Feldrichtung

**LOG Typ:** article

## Übergeordnetes Werk

**Werk Id:** PPN1015067948

**PURL:** <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN1015067948>

**OPAC:** <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=1015067948>

## Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

## Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen  
Georg-August-Universität Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen  
Germany  
Email: [gdz@sub.uni-goettingen.de](mailto:gdz@sub.uni-goettingen.de)

# K-Ar-Altersbestimmungen an Vulkaniten bekannter paläomagnetischer Feldrichtung.

## I. Oberpfalz und Oberfranken

W. Todt und H. J. Lippolt

Laboratorium für Geochronologie der Universität, Heidelberg

Eingegangen am 17. Juli 1974

## K-Ar Age Determinations on Volcanics with Known Paleomagnetic Field Parameters.

### I. Oberpfalz and Oberfranken

*Abstract.* Potassium-argon age determinations on 18 basaltic rocks from Oberpfalz and Oberfranken (Germany) and on a lava from western Bohemia have been made.

The ages cover the interval from 24 to 19 m.y., which corresponds to Aquitanian – Helvetian times. The basalt from Steinwitzhügel and the lava from Kammerbühl are exceptions (29 m.y., Upper Oligocene; <2 m.y., Pleistocene respectively). The alleged occurrence of Pliocene volcanics in this area is thus excluded. The coal deposits of Klausen considered to be slightly older than this volcanism are consequently of Lower Miocene age.

These age determinations together with paleomagnetic data taken from the literature date two reversals of the terrestrial magnetic field: one from reverse to normal at  $23.0 \pm 1.4$  m.y., the other from normal to reverse at  $20.7 \pm 1.0$  m.y. ago.

*Key words:* Potassium-Argon Dating – Upper Tertiary Volcanics – Paleomagnetism.

### *Einführung*

Die Basaltvorkommen der Oberpfalz und von Oberfranken lassen sich stratigraphisch nur sehr ungenau als Tertiär datieren (Schröder, 1962; Schröder und Siegling, 1966). Die genauere zeitliche Einstufung kann nur mit Hilfe von isotopischen Altersbestimmungen gelöst werden.

An Basalten dieses Gebietes sind von Seiten des Instituts für Angewandte Geophysik, München, paläomagnetische Untersuchungen durchgeführt worden. Dabei fanden sich sowohl normal magnetisierte Vorkommen als auch solche mit inverser Magnetisierungsrichtung. Diese Vulkanite haben demnach zu verschiedenen Zeiten den Curiepunkt unterschritten.

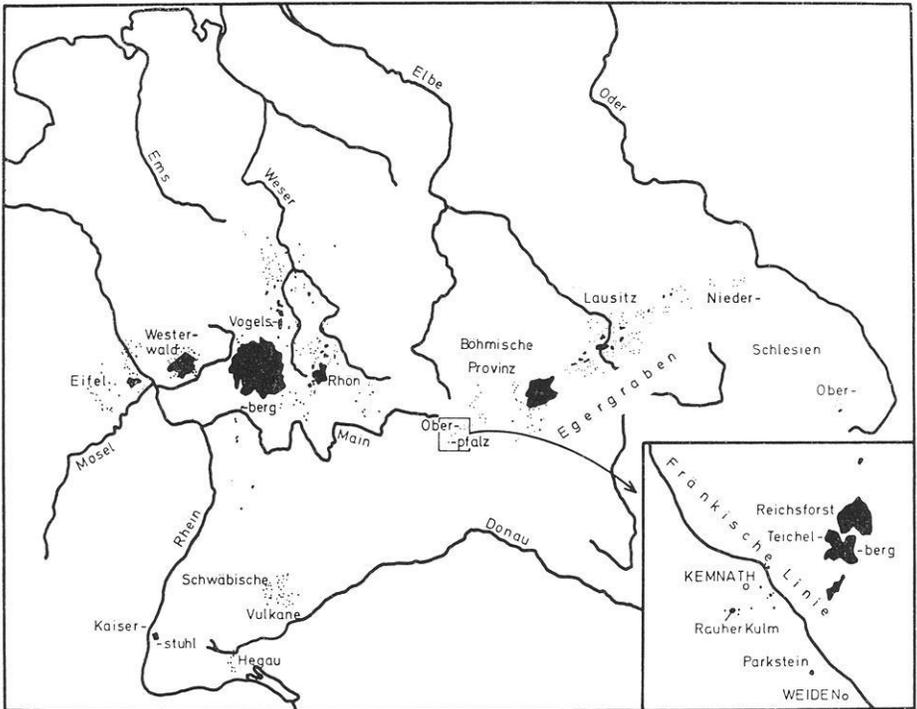


Abb. 1. Karte der tertiären Vulkanite Mitteleuropas (nach Soffel und Supalak, 1968) mit Lage des Gebietes der datierten Vulkanite

Es war zu hoffen, mittels Kalium-Argon-Altersbestimmungen an diesen Basalten die Unsicherheit bezüglich ihrer Alter beseitigen zu können. Außerdem sollten die Altersbeziehungen des Vulkanismus dieses Gebietes zu dem der Nachbargebiete aufgeklärt und mindestens eine im Tertiär aufgetretene Umkehrung der Richtung des Erdmagnetfeldes zeitlich festgelegt werden. Zu diesem Zweck wurden neunzehn vulkanische Gesteine der Oberpfalz, von Oberfranken und von Böhmen untersucht.

### *Geologische Grundlagen*

Die untersuchten Basaltvorkommen stellen die westlichsten Ausläufer einer Zone von Vulkaniten dar, die im benachbarten, tertiär angelegten Eger-Graben aufgedrungen sind (Abb. 1). Im Osten des Eger-Grabens bilden die vulkanischen Durchbrüche zwei große und einheitliche Gebirge, das Böhmisches bzw. das Duppauer Gebirge. In Richtung Westen sind die Vulkanit-Vorkommen in Form kleinerer Eruptionszentren räumlich

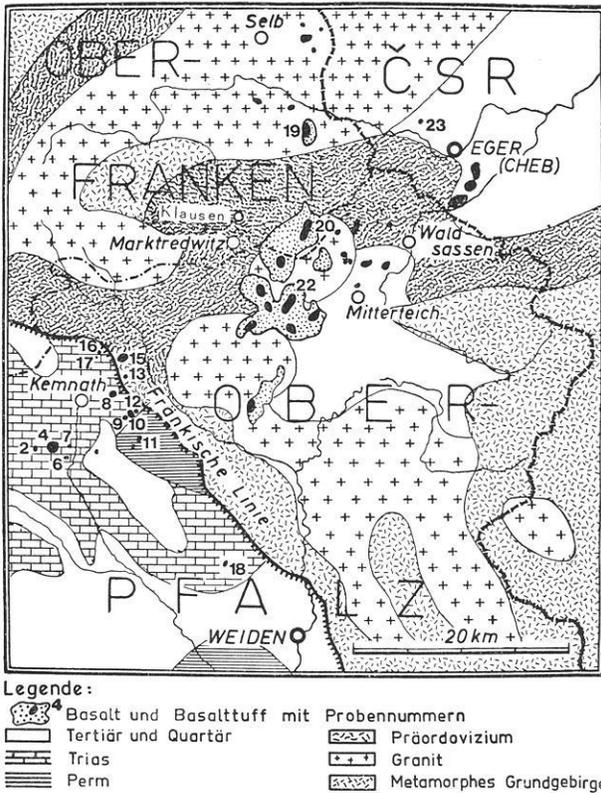


Abb. 2. Geol. Karte (nach Wurm, 1961 vereinfacht) der tertiären Vulkanite Oberfrankens, der Oberpfalz und Westböhmens mit den Proben-Nummern (Nr. 2 bis Nr. 23) der datierten Gesteine

getrennt (Abb. 2). Der Reichsforst (Nr. 20) und der Teichelberg (Nr. 22) bilden noch relativ große zusammenhängende Eruptionsgebiete. Weiter westlich im Bereich der Fränkischen Linie, dem Verwerfungssystem zwischen dem sogenannten Alten Gebirge und dem mesozoischen Sedimentbecken, finden sich nur noch sehr kleine Basaltvorkommen. Es gibt sowohl gangförmige Eruptionen, wie z. B. am Parkstein (Nr. 18), als auch auf Spalten aufsitzende Vorkommen mit voneinander getrennten Durchbrüchen. Beispiele sind die drei Vorkommen Kusch (Nr. 9), Schloßberg (Nr. 10) und Galgenberg (Nr. 12) bei Waldeck. Die Spalten streichen NE–SW, also parallel dem Streichen der Vulkanzone, die sich von der Oberpfalz bis zur Niederlausitz erstreckt, und parallel dem Streichen des tertiären Egergrabens. Daneben kommen deckenförmige Oberflächenergüsse vor. Diese sind aber nur in Form von Denudationsresten wie z. B. den

Basaltvorkommen Großer Teichelberg (Nr. 22) und Reichsforst (Nr. 20) vorhanden. Die Basalte der Oberpfalz befinden sich heute in einem fortgeschrittenen Abtragungsstadium. Das Auftreten von Tuffen und Laven deutet auf Eruptionen mit Explosions- und Effusionsphasen hin.

In den meisten Fällen ist der ganze vulkanische Oberbau zerstört und bis auf den Magmenzufuhrkanal abgetragen. Der Rauhe Kulm (Nr. 4) und der Parkstein (Nr. 18) stellen solche aus ihrer Umhüllung herauspräparierte Schlotfüllungen dar. Der Parkstein (Nr. 18) trägt noch einen Kranz tertiärer Sande und Konglomerate. Das Auftreten von Tuffen bei einigen Basaltvorkommen zeigt, daß es sich um Effusiv-Gesteine handelt. Die Eruptionen haben im Nebengestein keine oder nur geringe Störungen hervorgerufen, die nicht weiter als ca. einen Meter vom Kontakt reichen (Küh-Hübel, Nr. 7, Wurm, 1961, S. 320). Die Umwandlung an den Fremdeinschlüssen, die aus dem Untergrund mitgerissen wurden, sind dagegen wesentlich stärker als die des Nebengesteins.

Nach geologischen Kriterien begannen die vulkanischen Eruptionen im Böhmisches Mittelgebirge im Oligozän und reichten bis ins Miozän, im Dubbauer Gebirge haben sie im Aquitan begonnen (Wurm, 1961; Schröder, 1962; Schröder und Siegling, 1966). Für die stratigraphische Einstufung der Basalte der Oberpfalz und von Oberfranken liegen nur wenige Indizien vor. So findet man örtliche Verknüpfungen der Basalte mit tertiären Ablagerungen, zum Teil mit Braunkohlen. Gümbel (1868) stellte die Basalteruptionen der Oberpfalz und Oberfrankens kurz vor oder spätestens in die Zeit der Bildung der tertiären Braunkohlenschichten. Die Braunkohlenflöze wurden von Kirchheimer (1937) und Gothan (1941) hauptsächlich aufgrund von Fossilfunden im Klausener Vorkommen mit den Rheinischen Braunkohlen parallelisiert. Das Rheinische Hauptflöz wird ins untere bis mittlere Miozän gestellt (Anderson, 1966), so daß auch für die hier untersuchten Basalte miozäne oder jüngere Alter zu erwarten wären. Da man in den tertiären Schichten nirgends Basaltgerölle gefunden hat, ist es jedoch wahrscheinlich, daß der Basaltvulkanismus jünger als die tertiären Sedimente ist (Wurm, 1932). Ausführliche Darstellungen weiterer Argumente finden sich bei Wurm (1961, S. 313). Eine weitere zeitliche Festlegung der Basalte ist mit Hilfe von Gesteineinschlüssen denkbar, deren Alter bekannt sind. Die meisten gefundenen Einschlüsse stammen aus dem Keuper oder aus der Oberkreide. Schröder (1962) fand in zwei Schloten Sedimenteinschlüsse, die eventuell auf ein jungpliozänes bis pleistozänes Alter der Schlotte hindeuten. Allerdings ist das pliozäne Alter der fraglichen Schottereinschlüsse nicht sicher. Tillmann (1956) hatte diese Schotter an das Tertiär der miozänen Braunkohle des Naab-Raumes angeknüpft, doch das Alter dieser etwa 30 km von dem Basaltgebiet entfernt liegenden Braunkohlen ist nicht gut durch Fossilien gestützt. Einzelne Eruptionen (z. B. Kammerbühl und Eisenbühl bei Eger) erfolgten erst im

Pleistozän, was man aus der lockeren Aufschüttung ihrer Förderprodukte bzw. aus deren Lage zum Fluß-Terrassensystem ableitet (vgl. z. B. Lochmann, 1961). Aufgrund dieser geologischen Hinweise allein kann daher nicht eindeutig geschlossen werden, daß sich die vulkanische Aktivität im Raum Oberpfalz und Oberfranken vom Tertiär bis ins Pleistozän fortgesetzt hat.

#### *Die untersuchten Proben*

Die Gesteine der Oberpfalz und Oberfrankens sind dichte, dunkelgraue Gesteine und gehören ausschließlich in die Basalt-Gruppe, im Gegensatz zu der Vielfalt der Magmen-Differentiate im Osten des Eger-Grabens (Wurm, 1961, S. 317). Einzelne Vorkommen sind außerordentlich reich an endogenen Einschlüssen, z. B. Peridotit und Pyroxenit. Der mikroskopische Befund der Basalte zeigt meist eine sehr feinkörnige Grundmasse aus Augit, Magnetit, Plagioklas, meist auch Biotit und in ihr Einsprenglinge von Olivin und Augit. In einigen Basalten ist Glas in der Grundmasse vorhanden. Der Feldspat kann durch Nephelin ganz oder teilweise vertreten sein. Nach Richarz (1920) werden die Basalte der Oberpfalz in die Gesteinsgruppen Feldspatbasalt, Nephelinbasalt und Nephelinführender Feldspatbasalt unterteilt. Nach der Definition von Wimmenauer, (1972) sind von den 18 untersuchten Gesteinen dieses Gebietes 15 Olivin-Nephelinite und 3 Alkali-Olivin-Basalte. Die Lava vom Kammerbühl/Eger ist als Olivin-Nephelinit anzusprechen. Refai (1960) teilte die Olivin-Nephelinite der Oberpfalz in zwei Typen ein: 1. Basalte vom Schloßbergtyp, mittel- bis feinkörnig, die sich durch Einschlüsse von Olivinknollen auszeichnen. Dazu zählte sie neben den Gesteinen vom Schloßberg (Nr. 10) die vom Rauhen Kulm (Nr. 4). 2. Basalte des Kuschbergtyps, die eine porphyrische Struktur zeigen und als Einsprenglinge idiomorphe Olivine enthalten. Dieser Typ führt sehr viele, zumeist weitgehend assimilierte Nebengesteinseinschlüsse. Neben dem Gestein vom Kuschberg (Nr. 11) rechnete Refai (1960) zu dieser Gruppe diejenigen vom Küh-Hübel (Nr. 7), vom Lerchenbühl (Nr. 6) und von den beiden Aigner Kuppen (Nr. 16 und Nr. 17).

Im folgenden sind die datierten Gesteine aufgeführt. Angegeben sind jeweils Lab.-Nr., Lokalität, Meßtischblatt, Koordinaten sowie die Gesteinbezeichnungen (nach Wimmenauer, 1972; in Klammern nach Richarz, 1920) mit Angabe des Erhaltungsgrades (Definition nach Horn *et al.*, 1972).

Angaben über Einschlüsse (exogene Einschlüsse) beziehen sich naturgemäß nur auf die untersuchten Dünnschliffe; es ist nicht gesagt, jedoch auch nicht auszuschließen, daß solche Einschlüsse auch im Probenmaterial waren.

## Oberpfalz

Proben-  
nummer

- 2 Kleiner Kulm bei Neustadt, Blatt Kemnath 6137 r 448800, h 552115; Olivin-Nephelinit (Feldspatbasalt), sehr frisch, wenig braungelbes Glas.
- 4 Rauher Kulm bei Neustadt, Blatt Kemnath, r 448918, h 552125. Olivin-Nephelinit (Nephelinbasalt), frisch.
- 6 Lerchenbühl bei Weha, Blatt Kemnath, r 449055, h 552089. Olivin-Nephelinit, sehr frisch.
- 7 Küh-Hübel bei Weha, Blatt Kemnath, r 449070, h 552127. Olivin-Nephelinit (Nephelin-Basalt), unfrisch, Quarz als Einschluß mit Reaktionssaum, Sanidin als Neubildung?
- 8 Anzenberg bei Kemnath, Blatt Kemnath, r 449430, h 552577. Olivin-Nephelinit, frisch, Glas (geschmolzene Quarze), Einschlüsse.
- 9 Kusch, SW vom Schloßberg bei Waldeck. Blatt Kemnath, r 449590, h 552420. Olivin-Nephelinit, unfrisch, sehr wenig Biotit.
- 10 Schloßberg bei Waldeck, Blatt Kemnath, r 449630, h 552455. Olivin-Nephelinit, frisch. Glasbutzen bis zur Größe der Augiteinsprenglinge, Entglasungserscheinungen.
- 11 Kuschberg bei Atzmannsberg, Blatt Kemnath, r 449745, h 552210. Olivin-Nephelinit, unfrisch, keine Augiteinsprenglinge, Glas, (Grundgebirgs-?) Einschlüsse.
- 12 Galgenberg (Kalvarienberg) bei Waldeck. Blatt Kemnath, r 449680, h 552495. Olivin-Nephelinit, sehr frisch, sehr wenig Biotit.
- 13 Armesberg (Armannsberg) bei Zisst. Blatt Kemnath, r 449632, h 552830. Alkali-Olivin-Basalt, frisch. Erz als Einsprenglinge, Rhönit, Biotit?.
- 13M2 Mineralpräparat: ca. 60% Augit,  $\geq$  25% Plagioklas, wenig Olivin und Matrix, hergestellt aus Probe 13.
- 14 Aigner Kuppe-Nord, Lesestein, Blatt Ebnath 6037. Olivin-Nephelinit, unfrisch, keine Einschlüsse.
- 15 Steinwitzhügel bei Wunschenberg, Blatt Ebnath, r 449757, h 552925. Alkali-Olivin-Basalt (Nephelin-führender Feldspatbasalt), frisch.
- 16 Aigner Kuppe – Nord, Blatt Ebnath, r 449410, h 553015. Olivin-Nephelinit, unfrisch, mit Feldspat -Nestern.
- 17 Aigner Kuppe – Süd, Blatt Ebnath, r 449400, h 553000. Olivin-Nephelinit, unfrisch.
- 18 Parkstein, Blatt Parkstein 6238, r 450520, h 551063. Olivin-Nephelinit (Feldspat-Basalt), frisch, als Einschlüsse korrodierte Quarze mit Pyroxenkränzen.
- 22 Großer Teichelberg bei Großschlattengrün, Blatt Waldershof 6038, r 451190, h 553590. Olivin-Nephelinit (Nephelin-Basalt), frisch.

## Oberfranken

- 19 Steinberg bei Hohenberg, Blatt Waldsassen 5939, r 451312, h 555065, Olivin-Nephelinit, frisch.
- 20 Reichsforst bei Brand, Blatt Marktredwitz 5938.  
20E: r 451116, h 554120 Alkali-Olivin-Basalt, unfrisch.  
20C: r 451154, h 554212 Alkali-Olivin-Basalt, unfrisch, abgerundeter Feldspat-Einschluß.

## Böhmen

Proben-  
nummer

- 23 Kammerbühl bei Eger (verlassener Steinbruch ca 4 km NW von Eger auf tschechoslowakischem Gebiet).  
Limburgitischer Olivin-Nephelinit, blasig; im Handstück große Einschlüsse sichtbar (ca. mm-groß); im Dünnschliff ein granitischer Einschluß mit Reaktionsssaum aus basischem Glas.

*Paläomagnetismus*

Von den datierten Basalten der Oberpfalz und von Oberfranken sind paläomagnetische Messungen an orientiert entnommenen Handstücken oder Bohrkernen durchgeführt worden (Refai, 1960/1961; Soffel und Supalak, 1968; private Mitteilung Pohl und Soffel).

In der Tabelle 1 sind die paläomagnetische Polarität der untersuchten Vorkommen und die jeweiligen Autoren angegeben.

Das Vorkommen Großer Teichelberg (Nr. 22) hat nach magnetischen Feld-Untersuchungen von Söllner (1960) normal gerichtete Magnetisierung.

Unveröffentlichte Messungen an Basaltproben von Pohl und Soffel (private Mitteilung) deuten aber darauf hin, daß das Vorkommen invers magnetisiert ist.

Tabelle 1. Paläomagnetische Polarität der untersuchten Proben. N: normale Magnetisierung, R: inverse Magnetisierung

Proben-Nr.	Vorkommen	Polarität	Autoren
2	Kleiner Kulm	N	Refai, 1960; Refai, 1961
4	Rauher Kulm	N	Refai, 1960; Refai, 1961
6	Lerchenbühl	R	Refai, 1960; Refai, 1961
7	Küh-Hübel	R	Refai, 1960; Refai, 1961
8	Anzenberg	N	Refai, 1960; Refai, 1961
9	Kusch	N	Refai, 1960; Refai, 1961
10	Schloßberg	N	Refai, 1960; Refai, 1961
11	Kuschberg	R	Refai, 1960; Refai, 1961
12	Galgenberg	N	Refai, 1960; Refai, 1961
13	Armesberg	N	Refai, 1960; Refai, 1961
15	Steinwitzhügel	N	Refai, 1960; Refai, 1961
16	Aigner Kuppe N	R	Refai, 1960; Refai, 1961
17	Aigner Kuppe S	R	Refai, 1960; Refai, 1961
18	Parkstein	R	Soffel und Supalak, 1968
19	Steinberg	nicht untersucht	
20	Reichsforst	R	priv. Mitt. Pohl und Soffel
22	Gr. Teichelberg	R	priv. Mitt. Pohl und Soffel
		N	Söllner, 1960

*Experimentelle Arbeiten*

*Probennahme.* Bei der Probennahme im Gelände und der Auswahl der Proben im Labor wurde darauf geachtet, möglichst Material ohne Fremdeinschlüsse zu erhalten. Von allen gesammelten Proben wurden Dünnschliffe untersucht, um zu klären, ob und wie gut sich diese Gesteine für eine K-Ar-Datierung eignen. Es zeigte sich, daß alle Gesteine ausreichend frisch waren, d.h. der primäre Mineralbestand unverändert war oder die feststellbaren Veränderungen nur die kaliumfreien Minerale betrafen. Auch zeigten die Untersuchungen, daß die gelegentlich auftretenden Fremdeinschlüsse in den Gesteinen so weit umgewandelt waren, daß kein wesentlicher Beitrag von ererbtem Argon zu erwarten war. Von den Basaltproben wurden Gesamtgesteinsalter bestimmt. Von den Vorkommen Armesberg (Nr. 13) wurden zusätzlich Augite zusammen mit Plagioklasen abgetrennt und daran das Mineralalter bestimmt.

*Probenaufbereitung.* Es wurden frische, von Verwitterungskrusten freie Stücke zerkleinert und aus dem Zerkleinerungsgut eine Konfraktion von 200–500  $\mu$  abgeseibt. Die Proben wurden anschließend im Ultraschallbad in destilliertem Wasser gewaschen. Zeolithe und Karbonate wurden teils durch Handauslesen, teils magnetisch entfernt. Zum Teil wurden sie mit HF weggelöst. Die Proben wurden geteilt und auf Kalium und Argon analysiert.

*Kalium-Bestimmung.* Das Kalium wurde mit Hilfe eines Zeiss-Flammenspektralphotometer in Emmission gemessen. Die Meßlösungen und die Vergleichslösungen wurden zur Beseitigung von Querbeeinflussungen mit Na und Ca gepuffert (Cooper, 1963). Der 1- $\sigma$ -Fehler des Einzelwertes der Messungen liegt bei 0,5% (Horn *et al.*, 1972). Alle Bestimmungen wurden mindestens doppelt durchgeführt und aus den jeweiligen Ergebnissen wurden die Mittelwerte gebildet.

*Argon-Bestimmung.* Die in Nickelfolie eingepackten Proben von ca. 1/2 g wurden vor dem Aufschließen ca. 12 Std. lang bei 220° C im Vakuum ausgeheizt, um den Luftargonbeitrag zu reduzieren.

Der Verlust an radiogenem Argon liegt dabei nach Messungen von Lippolt *et al.* (1963) und Amaral *et al.* (1966) unter 1%. Danach wurden die Proben in einem Molybdäntiegel induktiv bei mehr als 1700 °C geschmolzen. Die Extraktion und die Reinigung der Gase aus den Gesteinen erfolgte in einer Glasapparatur mit Hg-Sperren. Das Argon wurde an einem ausheizbaren 180°-Sektorfeld-Massenspektrometer mit 5 cm Ablenkradius statisch gemessen. Für den Massendurchlauf wurde die Beschleunigungsspannung variiert. Die Auflösung  $M/\Delta M$  betrug etwa 130 (5% Taldefinition).

Der Argon-Blank betrug bei diesen Messungen etwa  $10^{-8}$  cm<sup>3</sup>. Als Spike wurde  $2,1 \cdot 10^{-6}$  cm<sup>3</sup>STP <sup>38</sup>Ar zugegeben. Die Fehler für die Argon-

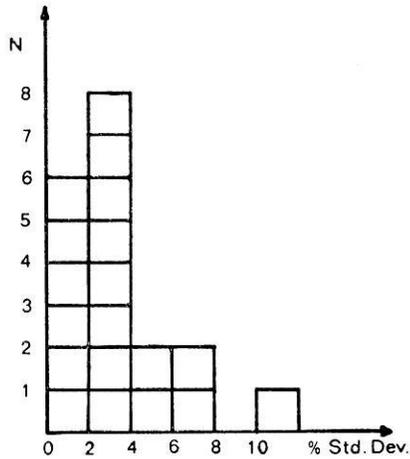


Abb. 3. Darstellung der Reproduzierbarkeit der vorliegenden Argon-Analysen in einem Histogramm. Aufgetragen ist die Häufigkeit der Standard-Abweichung (N) der Einzelwerte (aus jeweils 2–5 Messungen) gegen die Standard-Abweichungen (%)

Bestimmungen waren im Mittel ca. 4%. Die Häufigkeit der Standard-Abweichung der Einzelwerte ist im Histogramm Abb. 3 dargestellt. Von jeder Probe wurden zwei bis fünf Ar-Analysen durchgeführt und die Mittelwerte gebildet. Zwei der Vorkommen (Aigner Kuppe/Nord Nr. 16 und Nr. 17 und Reichsforst Nr. 20E und C) wurden anhand zweier verschiedener Proben datiert. Die Mittelwerte für die beiden jeweiligen Proben liegen einmal ca. 1,5%, im anderen Fall ca. 0,4% auseinander. Dies kann als Maß für die Reproduzierbarkeit der Mittelwerte angesehen werden.

*Standards.* Messungen an den internationalen Standards Bern 4M und USGS P-207 zeigten Übereinstimmung innerhalb von 5% (Horn *et al.*, 1972) mit den als Bestwert für diese Proben angesehenen Ergebnissen (Dalrymple und Lauphere, 1969). Messungen an dem Biotit-Standard LP-6 Bio des U. S. Geological Survey ergaben einen K-Gehalt von 8,37% und einen Argon-Gehalt von  $4,32 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^3 \text{ STP/g}$ . Das Alter wurde zu 126,5 Ma berechnet.

#### *Datierungsergebnisse und Diskussion*

Die Ergebnisse der Kalium- und Argon-Analysen und die aus ihnen errechneten K-Ar-Alter sind in Tab. 2 aufgeführt und in Abb. 4 mit den Ergebnissen der paläomagnetischen Messungen korreliert. Einige vorläufige Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden als Kurzfassung an anderer Stelle vorgestellt (Todt und Lippolt, 1972). Die Alterswerte sind

Tabelle 2. Analysenwerte der datierten Vulkanite. Die einzelnen Argon-Messungen einer Probe wurden innerhalb verschiedener Serien analysiert. Die radiogene Argonmenge (Mittelwert) ist in Spalte 4 in  $\text{cm}^3 \text{STP/g}$  Material angegeben. Der Anteil des Luftargonbeitrages ist je nach dem Ausheizungsgrad der jeweiligen Probe verschieden; die Extremwerte sind in der Spalte 5 in % angegeben. Die 7. Spalte gibt den quadratisch addierten Fehler der Argon- und Kaliumbestimmungen (1%-Fehler) an. Die verwendeten Konstanten sind:  $\lambda = 0,532 \cdot 10^{-9} \text{a}^{-1}$ ;  $R = 0,123$ ;  $^{40}\text{K} = 0,0118\%$  des K<sub>gesamt</sub>

Proben-Nr.	Lokalität	Kalium in Gew.-%	$^{40}\text{Ar}$ rad in $10^{-6} \text{cm}^3 \text{STP/g}$	Luftargon in %	Zahl der Ar-Messungen	Alter in Ma
	Oberpfalz					
2	Kleiner Kulm bei Neustadt	0,780	0,6777	16-66	5	$21,9 \pm 0,7$
4	Rauher Kulm bei Neustadt	0,975	0,7999	18-64	3	$20,7 \pm 0,8$
6	Lerchenbühl bei Weha	1,415	1,1494	39-53	4	$20,5 \pm 0,6$
7	Küh-Hübel bei Weha	0,861	0,6905	36-56	3	$20,2 \pm 0,9$
8	Anzenberg bei Kernath	1,008	0,8903	30-54	4	$22,3 \pm 0,8$
9	Kusch SW vom Schloßberg	0,803	0,7211	26-49	4	$22,6 \pm 0,6$
10	Schloßberg bei Waldeck	1,213	0,9994	11-40	4	$20,8 \pm 0,7$
11	Kuschberg	0,505	0,3849	24-60	3	$19,2 \pm 0,9$

12	Galgenberg bei Waldeck	0,888	0,7782	18—58	3	22,1 ± 0,7
13	Armsberg	0,869	0,8021	26—55	4	23,3 ± 0,9
13M	Augit und Plag. aus 13	1,060	0,52591	38—77	2	23,2 ± 1,7
14	Aigner Kuppe Nord Lesestein	0,774	0,7028	51—76	3	22,9 ± 1,2
15	Steinwitzhügel bei Wunschenberg	0,526	0,6032	49—59	3	28,8 ± 1,8
16	Aigner Kuppe Nord	0,728	0,6705	62—70	3	23,2 ± 2,5
17	Aigner Kuppe Süd	0,688	0,5657	55—64	3	20,7 ± 1,2
18	Parkstein	0,793	0,7493	39—44	2	23,8 ± 1,1
22	Gr. Teichelberg	0,959	0,8126	57—60	2	21,4 ± 1,1
	Oberfranken					
19	Steinberg	0,799	0,7295	57—66	2	23,0 ± 1,3
20E	Reichsforst bei Brandt/Süd	1,060	0,9641	52—40	2	22,9 ± 1,0
20C	Reichsforst bei Brandt/Nord	0,872	0,7874	41—49	2	22,8 ± 1,8
	Westböhmen					
23	Kammerbühl bei Eger	1,450	0,1113	95	1	2,0 ± 1,8

Abb. 4.

Zusammenfassung der Ergebnisse:

Ober:  
Stratigraphische Skala nach Funnel (1964). Mitte:

Histogramm der K-Ar-Alters-

ergebnisse. Waag-

rechte Schraffur:

Typ Schloßberg,

schräge Schraffur:

Typ Kuschberg

(nach Refai, 1960);

— inverse

Magnetisierung,

+ positive

Magnetisierung.

A—Alkali-Olivin-

Basalte, alle

anderen: Olivin-

Nephelinite.

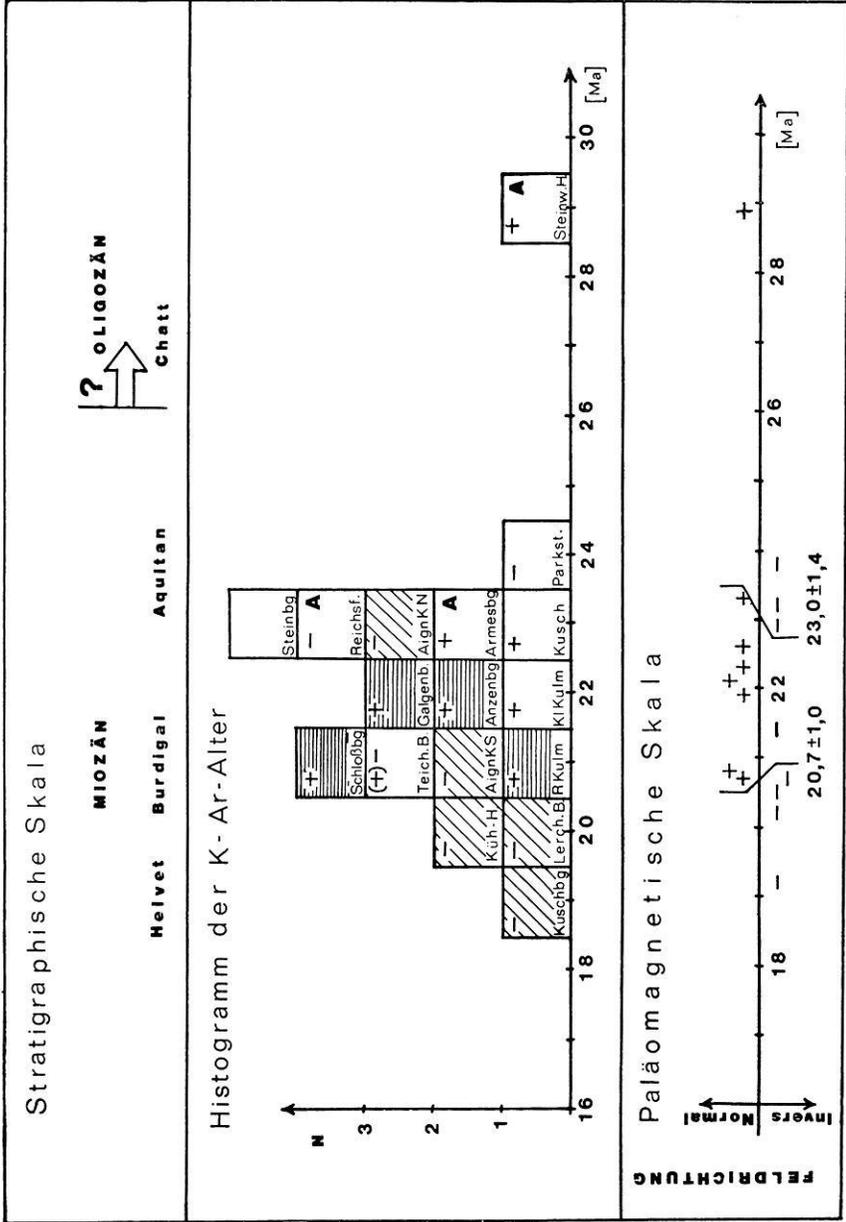
Unten: Ausschnitt

der paläomag-

netischen Skala

nach den hier ver-

wendeten Daten



Modellalter, die unter den folgenden zwei Voraussetzungen aus den Analysenergebnissen errechnet wurden:

1. Es lagen geschlossene Systeme für Kalium und Argon vom Zeitpunkt der Eruption an bis heute vor.

2. Zur Zeit der Bildung enthielten die Gesteine nur Argon das der heutigen Zusammensetzung des Luftargons entspricht.

Aus den Alterswerten ergibt sich, daß die Aktivität einer ersten tertiären Eruptionsphase in Oberpfalz und in Oberfranken ca. 10 Ma gedauert hat. Alle untersuchten Vorkommen bis auf Kammerbühl haben Modellalter zwischen 19 Ma und 29 Ma mit einem deutlichen Schwerpunkt bei 22 Ma. Neun der 19 untersuchten Vorkommen liegen zwischen ca. 21 und 23 Ma. Der Höhepunkt der vulkanischen Tätigkeit in diesem Gebiet lag damit im Unteren Miozän, der Beginn spätestens an der Wende Oligozän/Miozän (nach Funnel, 1964). Falls man das Modellalter des Steinwitzerhügels (Nr. 15) mit 29 Ma als Eruptionsalter deutet (siehe folgende Diskussion), begann die vulkanische Aktivität im unteren Ober-Oligozän. Die Probe Kuschberg (Nr. 11) zeigt das jüngste Modellalter mit 19,2 Ma — etwa die Grenze Unter-/Mittel-Miozän. Die Eruptionen dieser Phase müssen mindestens bis in diese Zeit fortgedauert haben. Die vulkanische Aktivität in der Oberpfalz und in Oberfranken fällt demnach in denselben Zeitabschnitt, der für das Böhmisches bzw. das Duppauer Gebirge aufgrund stratigraphischer Beobachtungen angenommen wird.

Die Probe (Nr. 15) vom Vorkommen Steinwitzerhügel ergab ein Modellalter von 29 Ma. Die Eruption dieses Basaltes fand somit im Oligozän statt, wenn man nach Funnel (1964) die Grenze Oligozän/Miozän bei  $\geq 26$  Ma annimmt. Da dieses Alter deutlich von den Altern der übrigen Basalte abweicht, liegt der Verdacht nahe, daß das hohe Alter auf Überschuß-Argon zurückzuführen ist. Einmal könnte der Basalt beim Auskristallisieren radiogenes Argon aus dem umgebenden Gestein und/oder aus Einschlüssen aufgenommen und eingebaut haben, zum anderen könnten unvollständig entgaste Einschlüsse im Probenmaterial zu einer Erhöhung des gemessenen Alters führen (Horn *et al.*, 1972). Um einen Hinweis hinsichtlich der zweiten Fehlermöglichkeit zu bekommen, haben wir Dünnschliffe von dem zur Analyse verwendeten Körnermaterial hergestellt. Untersuchungen dieser Dünnschliffe gaben keinen Hinweis auf derartige Einschlüsse. Ganz ausgeschlossen könnte Exzess-Argon nur durch Analysen an mehreren Mineralseparaten werden, die aber bei diesen feinkörnigen Basalten nur mit großem Aufwand hätten gewonnen werden können. Die von uns analysierten Proben waren frisch, d.h. K-haltige Mineralien waren nicht angegriffen. Daher ist ein durch K-Verlust erhöhtes Alter der Probe vom Steinwitzerhügel sehr unwahrscheinlich. Obwohl wir keine Anzeichen für Exzess-Argon verdächtige Einschlüsse unmittelbar

im untersuchten Material haben, kann das Vorhandensein von Überschuß-Argon nicht ausgeschlossen werden. Der zum Steinwitzhügel direkt benachbarte Armesberg (Nr. 13) ist mit einem Modellalter von 23 Ma fast um 6 Ma jünger als dieser. Ein Mineralseparat aus Augit und Plagioklas aus dem Gestein vom Armesberg ergab ein zum Gesamtgesteinsalter konkordantes Ergebnis. Bei dieser Probe dürfte daher kein Exzess-Argon aufgetreten sein. Beide Vorkommen bestehen aus Alkali-Olivin-Basalten. Es muß daher offenbleiben, ob zwischen den Eruptionen dieser beiden benachbarten Basalte eine Zeitspanne von 6 Ma liegt oder ob der Alterswert des Vorkommens Steinwitzhügel überhöht ist.

Der Kammerbühl bei Eger (Nr. 23) ergab wegen des hohen Anteils von atmosphärischem Argon ( $> 95\%$ ) nur ein ungenaues K-Ar-Ergebnis von  $2 \pm 1$  Ma. Dieser Alterswert bestätigt, daß im Quartär eine zweite Phase des jungen Vulkanismus auflebte. Das gefundene Alter sollte jedoch wegen des makroskopischen und mikroskopischen Auftretens von Einschlüssen in diesem Basalt und des eventuellen Vorhandenseins von ererbtem Argon im Analysenmaterial nur als Maximalalter verstanden werden. Die vorgenommene Altersabschätzung ordnet dem Kammerbühl also ein Alter jünger (oder gleich) 3 Ma zu.

### *Geologische Schlußfolgerungen*

Schröder (1962) hatte aufgrund von Schottereinschlüssen für die Vorkommen Lerchenbühl (Nr. 6), Küh-Hübel (Nr. 7) pliozäne bis pleistozäne Alter abgeleitet. Soellner (1960) vermutete für das Gestein vom Teichelberg (Nr. 22) pliozänes Alter. Nach den Ergebnissen dieser Arbeit sind alle diese Vorkommen ins untere Miozän zu stellen. Die von Schröder gefundenen Schottereinschlüsse können deshalb nicht pliozänen Alters sein, sondern müssen aus älteren, vermutlich kretazischen Schottern stammen.

Betrachtet man als erwiesen, daß die oberfränkischen Braunkohlenflöze erst kurz vor oder während der Zeit der Basalruptionen gebildet wurden, so stufen unsere K—Ar-Altersbestimmungen diese Braunkohlenflöze in das untere Miozän bzw. in das obere Oligozän ein. Die mehr oder weniger zeitliche Gleichstellung der oberfränkischen Braunkohlen mit dem Rheinischen Hauptflöz (Kirchheimer, 1937; Gothan, 1941) ist somit zurecht erfolgt. Unveröffentlichte Altersbestimmungen zum Alter des Rheinischen Hauptflözes (Todt, 1971) sowie dessen stratigraphische Einordnung in das untere bis mittlere Miozän (Anderson, 1966) belegen ebenfalls die Altersübereinstimmung.

Die Vulkanitvorkommen, die längs einer NE—SW gerichteten Spalte aufgereiht sind, weisen untereinander kein einheitliches Alter auf. Bei den Vorkommen Kusch-Schloßberg-Galgenberg sind unter Berücksichtigung der  $1\sigma$ -Fehler die beiden äußeren, kleineren Eruptionen gleich alt ( $22,6 \pm 0,6$

und  $22,1 \pm 0,7$ ), die zentrale Eruption des Schloßberges fand nicht ganz 2 Ma später statt ( $20,8 \pm 0,7$ ). Ein zweites Beispiel sind die Aigner Kuppen. Die hohen Fehler lassen aber keinen eindeutigen Schluß zu. Es kann aus der Verteilung der Vulkanitalter am Kusch-Schoßberg-Galgenberg geschlossen werden, daß die Tektonik, welche die Zufuhrwege für diese Basalte öffnete, über einen Zeitraum von ca. 2 Ma aktiv war.

Die Zeit vor dem Basaltvulkanismus war in diesem Gebiet durch starke Abtragung und Einebnung gekennzeichnet, der eine Heraushebung des Gebirges vorausgegangen war (Wurm, 1961, S. 473). Die Basalte der Oberpfalz und von Oberfranken sind also nach dem Schema Hebung — Spaltung — Vulkanismus entstanden. Die Eruptionen werden als Zeitmarken zwischen der vorbasaltischen und einer nachbasaltischen Einebnung dieses Gebietes angesehen. Nach den Ergebnissen der vorliegenden Datierungen erscheint es möglich, daß die nachbasaltische Einebnung nicht erst im Pliozän (Wurm, 1961, S. 474), sondern bereits im mittleren bis oberen Miozän begonnen hat.

Ein strenger Zusammenhang zwischen K—Ar-Altern und Gesteinstyp ist nicht erkennbar. Die drei untersuchten Alkali-Olivin-Basalte (Nr. 15; Nr. 13; Nr. 20) gehören zu den älteren der analysierten Gesteine. Refai (1960) hatte einige Olivin-Nephelinite der Oberpfalz in die Gesteinstypen „Schloßberg“ und „Kuschberg“ unterschieden. Die Gesteine des Kuschberg-Typs sollen u. a. häufiger meist assimilierte Fremdgesteinseinschlüsse führen. Da alle Vorkommen des Gesteinstyps Kuschberg invers magnetisiert sind, während dem Schloßbergtyp nur Gesteine mit normaler Feldrichtung angehören, kann man schließen, daß diese Gesteine nicht zum selben Zeitpunkt gebildet worden sind. Nach den K—Ar-Altersbestimmungen kann man aber nicht jedem Typ einen eigenen Altersbereich zuordnen, vielmehr überlappen sich die Altersverteilungen beider Typen (Abb. 4 Mitte). Das von Refai (1960) beobachtete häufige Auftreten von Nebengesteinseinschlüssen in den Gesteinen des Kuschbergtyps ist nicht mit einem höheren Modellalter korreliert.

### *Geophysikalische Schlußfolgerungen*

Trägt man die Altersergebnisse zusammen mit der jeweiligen paläomagnetischen Polarität der einzelnen Vorkommen in ein Diagramm auf, so erhält man eine Zeitskala für die Richtung des Erdmagnetfeldes (Abb. 4 unten). Die paläomagnetische Skala, die sich auf die Alter und die paläomagnetische Polarität der Oberpfälzer und der Oberfränkischen Basalte gründet, zeigt mindestens zwei Umklappungen des Magnetfeldes. Dabei wurden die Umklappzeitpunkte in Anlehnung an Cox und Dalrymple (1967) bestimmt. Im Altersbereich von 23,8 Ma bis 22,8 Ma haben drei untersuchte Proben inverse Polarität. Zwischen 23,3 Ma und 20,7 Ma

haben sieben untersuchten Vorkommen normale Polarität und im Bereich jünger als 20,7 Ma sind 4 Proben invers magnetisiert.

Das Vorkommen Großer Teichelberg (Nr. 22), das nach Söllner (1960) normal magnetisiert ist, fällt mit einem Alter von 21,4 Ma in einen Bereich mit Proben normaler Polarität. Nach neueren Messungen von Pohl und Soffel (private Mitteilung) ist das Gestein invers magnetisiert. Durch die Fehler der Altersbestimmung ist nicht zu entscheiden, ob dieses Vorkommen bereits in den Bereich jünger als 20,7 Ma mit inverser Feldrichtung fällt oder ob zwischen ca. 22 Ma und 21 Ma zwei weitere Umklappungen liegen.

Für den Altersbereich der letzten 70 Ma haben Heirtzler *et al.* (1968) eine paläomagnetische Skala auf der Grundlage der Paläomagnetisierung der Meeresbodengesteine aus dem Indischen, Pazifischen und Atlantischen Ozean aufgestellt. Bisher ist diese Skala nur durch wenige Altersbestimmungen geeicht. Zwischenwerte wurden unter der Annahme einer konstanten "sea-floor-spreading-rate" bestimmt. Das bedeutet, daß sowohl die Dauer als auch die zeitliche Einstufung der einzelnen Epochen einheitlicher Feldrichtung noch nicht befriedigend bestimmt sind. Nach dieser Heirtzler-Skala sollen in den Zeitraum von 29 Ma bis 18 Ma mehr als 30 Umklappungen des Erdmagnetfeldes fallen. Die durchschnittliche Länge einer Epoche einheitlicher Feldrichtung war demnach kleiner als 0,5 Ma.

Weitere Eichpunkte für diese Skala können grundsätzlich durch die Datierung von solchen Umklappungen des Erdfeldes gewonnen werden, die in kontinentalen Eruptivgesteinen konserviert sind.

Wegen der geringen Dauer einer Epoche mit einheitlicher Feldrichtung im Vergleich zu den Fehlern der K—Ar-Altersbestimmungen an den Vulkaniten der Oberpfalz und von Oberfranken ist eine Zuordnung der beiden Feldumklappungen zu einer bestimmten Feldumkehr nach der Heirtzler-Skala jedoch nicht möglich.

Unter der Annahme, daß die Heirtzler-Skala keiner wesentlichen Revision bedarf, ist anzunehmen, daß zwischen die beiden datierten Umklappungen noch weitere einzuordnen sind.

Nach der Heirtzler-Skala war die Zeitdauer einer Epoche mit einheitlicher Feldrichtung im Durchschnitt kleiner als 0,5 Ma. Der Vulkanismus im Raum Oberfranken und Oberpfalz dauerte über einen wesentlich längeren Zeitraum (4,6 Ma: Parkstein Nr. 18 bis Kuschberg Nr. 11). Bei kontinuierlichem Auftreten der Eruptionen würde man auf der paläomagnetischen Zeitskala (Abb. 4 unten) eine statistische Verteilung der normalen und inversen Feldrichtungen erwarten. Da dies nicht der Fall ist, sondern sich deutlich drei Gruppen einheitlicher Feldrichtung abzeichnen, muß man schließen, daß die Vulkanite in dem betrachteten Gebiet nicht zeitlich statistisch verteilt gefördert wurden. Es müssen wenige (evtl. drei) nur kurz anhaltende Schübe ( $\leq 1$  Ma) gewesen sein, in denen zeitlich nacheinander

die einzelnen Eruptionen stattgefunden haben. Unter der Annahme, daß zwischen Tektonik und Vulkanismus ein enger Zusammenhang besteht, ist dieser Schluß auch auf die Bruchtektonik übertragbar.

Für den hier interessierenden Altersbereich von etwa 30 bis 16 Ma gibt es weitere an Eruptivgesteinen ermittelte paläomagnetische Daten. So haben York *et al.* (1971) in Zentralcolorado 26 tertiäre Basaltströme paläomagnetisch vermessen und K—Ar-Alter bestimmt. Die K—Ar-Alter der normal magnetisierten Bereiche und der Basalt-Lagen in einer Übergangszone waren ca.  $24,0 \pm 1,0$  Ma, die invers magnetisierten Lagen waren  $21,5 \pm 1,0$  Ma alt.

Gromme *et al.* (1972) bestimmten die Richtung des paläomagnetischen Feldes und die Zeitpunkte der Eruptionen von mitteltertiären Tuffen in Nevada und Utah. Innerhalb des uns hier interessierenden Altersbereichs fanden sie an Tufflagen mit inverser Magnetisierung K—Ar-Mineral-Alter um 30 Ma. Eine Lage mit normaler Magnetisierung datierten sie zu  $23,1 \pm 0,6$  Ma und eine weitere mit inverser Magnetisierung zu  $22,1 \pm 0,6$  Ma.

K—Ar-Altersergebnisse an miozänen Basalten Südfrankreichs haben Bout *et al.* (1966) vorgelegt. Vor  $18 \pm 1$  Ma (Gergovie-Intrusion) erwies sich die paläomagnetische Feldrichtung als invers und vor  $16 \pm 1$  Ma (Gergovie coulée supérieure) als normal.

Die Messungen dieser Autoren belegen mehrere Umklappungen des Erdmagnetfeldes innerhalb des genannten Zeitraumes. Die eine oder andere der zitierten Umklappungen könnte mit einer der von uns gefundenen identisch sein.

Wegen der relativ großen Fehler der Altersbestimmung läßt sich aber in keinem Fall ein exakter Nachweis führen.

#### *Lage des magnetischen Poles*

Außer der Richtung des paläomagnetischen Feldes kann aus den paläomagnetischen Daten der Gesteine auch die Lage des virtuellen Poles bestimmt werden. Von den untersuchten Gesteinen können dazu nur die Daten des Parksteins verwendet werden, da die Ergebnisse aller anderen Proben nicht durch Entmagnetisierungstests gesichert sind. Soffel und Supalak (1968) bestimmten die Lage des virtuellen geomagnetischen Poles auf der Nordhalbkugel zu  $\varphi = 72^\circ$  und  $\lambda = 199^\circ$  E. Das Ergebnis liegt im Vergleich zu den Ergebnissen tertiärer Gesteine anderer Gebiete am Rande der Verteilung. Während die meisten virtuellen Pole der Tertiär-Zeit in der Nähe des heutigen Poles liegen (Irving 1964), befindet sich der aus den Gesteinen des Parksteins bestimmte Pol im Nord-Polarmeer in der Nähe der NW-Spitze Alaskas. Diese abweichende Lage wird von Soffel und Supalak (1968) mit der fehlenden zeitlichen Mittelung erklärt, weil bei der raschen Abkühlung des Parksteins nur die momentane Lage des magneti-

schen Poles innerhalb der Schwankungsbreite der Säkularvariation konserviert wurde. Das in dieser Arbeit bestimmte Alter für die Eruption des Parkstein beträgt  $23,8 \pm 1,1$  Ma.

*Anerkennung.* Die Dünnschliffuntersuchungen wurden von den Herren Dr. P. Horn und Dr. I. Baranyi durchgeführt, wofür wir an dieser Stelle danken. Den Herren Dipl. Geol. V. v. Drach und Dr. F.-P. Oesterle sind wir für kritisches Lesen unseres Manuskripts und Verbesserungsvorschläge zu Dank verpflichtet. Den Herren H. I. Funke und A. Lutz danken wir für sorgfältige Mitarbeit bei den Analysen. Die vorliegende Arbeit wurde dankenswerter Weise partiell durch die DFG unterstützt.

### *Literatur*

- Amaral, G., Cordani, U. G., Kawashita, K., Reynolds, J. H.: Potassium-argon dates of basaltic rocks from southern Brazil. *Geochim. Cosmochim. Acta* 30, 159–189, 1966
- Anderson, H.-J.: Die Schichtenfolge des Tertiär und Quartär. in: Geologische und bergbauliche Übersicht des rheinischen Braunkohlenreviers. Herausgegeben v. d. Deutschen Geol. Ges., Frühjahrstagung Köln 1966: 2–5, Krefeld 1966
- Bout, P., Frechen, J., Lippolt, H.-J.: Datations stratigraphique et radiochronologique de quelques culées basaltiques de Limagne. *Rev. d'Auvergne*. 80, 208–231, 1966
- Cooper, J. A.: The flame photometric determination of potassium in geological materials used for potassium argon dating. *Geochim. Cosmochim. Acta*. 27, 525–546, 1963
- Cox, A., Dalrymple, G. B.: Statistical analysis of geomagnetic reversal data and the precision of potassium-argon dating. *J. Geophys. Res.* 72, 2603–2614, 1967
- Dalrymple, G. B., Lauphere, M. A.: Potassium-argon dating, W. H. Freeman and Company, 110–120, 1969
- Funnel, B. M.: The tertiary period. The Phanerozoic time-scale. A Symposium dedicated to Arthur Holmes. *Quart. J. Geol. Soc. (London)*. 120, Suppl., 179–191, 1964
- Gothan, W.: Über eine kleine Oberkreide-Flora von Friedersreuth bei Neustadt a. d. Waldnaab (Opf.). *Jahrb. Reichsst. f. Bodenf. f. d. Jahr* 1939, 60, 240–274, 1941
- Grommé, C. S., McKee, E. H., Blake, Jr., M. C.: Paleomagnetic correlations and potassium-argon dating of middle tertiary ash-flow sheets in the eastern great basin, Nevada and Utah. *Geol. Soc. Am. Bull.* 83, 1619–1638, 1972
- Gümbel, C. W.: Geognostische Beschreibung des Ostbayerischen Grenzgebirges. Gotha 1868
- Heirtzler, J. R., Dickson, G. O., Herron, E. M., Pitman III, W. C., Le Pichony, X.: Marine magnetic anomalies, geomagnetic field reversals, and motions of the ocean floor and continents. *J. Geophys. Res.* 73, 2119–2136, 1968
- Horn, P., Lippolt, H. J., Todt, W.: Kalium-Argon-Altersbestimmungen an tertiären Vulkaniten des Oberrheingrabens. I. Gesamtgesteinsalter. *Ecol. Geol. Helv.* 65/1, 131–156, 1972
- Irving, E.: Paleomagnetism, and its application to geological and geophysical problems. New York: Wiley 1964

- Kirchheimer, F.: Grundzüge einer Pflanzenkunde der deutschen Braunkohlen (S. 102–103). Halle: Knapp 1937
- Lippolt, H. J., Gentner, W., Wimmenauer, W.: Altersbestimmungen nach der Kalium-Argon-Methode an tertiären Eruptivgesteinen Südwestdeutschlands. Jahrb. Geol. Landesamt Baden-Württemberg 6, 507–538, 1963
- Lochmann, Z.: Železná Hůrka (Eisenbühl). Anthropozoikum 11, 69–88, 1961
- Refai, E.: Magnetfeld und Magnetisierung der Basaltvorkommen im Raum von Kemnath (Oberpfalz). Diss. Univ. München 1960
- Refai, E.: Magnetic anomalies and magnetisation of basalts in the area around Kemnath (Oberpfalz). Z. Geophysik, 27, 175–187, 1961
- Richarz, St.: Die Basalte der Oberpfalz. Z. deutsch. geol. Ges. 72, 1–100, 1920
- Schröder, B.: Zur Altersstellung der oberpfälzer Vorlandsbasalte. — Geol. Bl. NO-Bayern 12, 1–15, 1962
- Schröder, B., Siegling, M.: Erläuterung zur geologischen Karte von Bayern, 1:25000, Blatt Nr. 6137 Kemnath, München 1966
- Söllner, K.: Das Basaltvorkommen vom Teichelberg bei Großschlattengrün. Aufschluß-Sonderheft: Fichtelgebirge, 90–103, 1960
- Soffel, H., Supalak, P.: Paläomagnetische Messungen am Basalt des Parkstein bei Weiden (Bayern). Geophys., 34, 287–296, 1968
- Tillmann, H.: Zur Geologie des Oberpfälzer Tertiärs und seiner Lagerstätten. Festschrift der Bayer. Braunkohlen-Ind. AG Schwandorf, Schwandorf 1956
- Todt, W.: Kalium-Argon-Altersbestimmungen an mitteleuropäischen miozänen Vulkaniten bekannter paläomagnetischer Feldrichtung. Diss. Univ. Heidelberg 1971
- Todt, W., Lippolt, H.-J.: Kalium-Argon-Altersbestimmungen an Basalten der Oberpfalz. Fortschr. Miner. 50, Beih. 3, 8–9, 1963
- Wimmenauer, W.: Charakteristische Gesteine des tertiären u. quartären Vulkanismus in Mitteleuropa. Zitiert von v. Gehlen. In: DFG Forschungsbericht: Unternehmen Erdmantel, 248. Wiesbaden 1972.
- Wurm, A.: Erläuterungen zur Geol. Karte von Bayern, Blatt Wunsiedel, 1932
- Wurm, A.: Geologie von Bayern: Frankenwald, Münchberger Gneismasse, Fichtelgebirge, Nördlicher Oberpfälzer Wald. Berlin: Borntraeger 1961
- York, D., Strangway, D. W., Larson, E. E.: Preliminary Study of a Tertiary Magnetic Transition in Colorado. Earth Plan. Sci. Letters 11, 333–338, 1971

Dr. Wolfgang Todt  
Prof. Dr. Hans Joachim Lippolt  
Laboratorium für Geochronologie  
der Universität Heidelberg  
D-6900 Heidelberg 1  
Berliner Str. 17  
Bundesrepublik Deutschland

