

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 65 (1972)
Heft: 1

Artikel: Kalium-Argon-Altersestimmungen an tertiären Vulkaniten des Oberrheingrabens. Teil I, Gesamtgesteinalter
Autor: Horn, Peter / Lippolt, Hans Joachim / Todt, Wolfgang
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-164081>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Kalium-Argon-Altersbestimmungen an tertiären Vulkaniten des Oberrheingrabens I. Gesamtgesteinsalter

Von PETER HORN, HANS JOACHIM LIPPOLT und WOLFGANG TODT

Laboratorium für Geochronologie der Universität Heidelberg

ZUSAMMENFASSUNG

Gesamtgesteins-Kalium-Argon-Alter von 54 vorwiegend alkalibasaltischen Gesteinen des Oberrheingrabengebietes wurden ermittelt. Die Beeinflussung der Alterswerte durch Fremdeinschlüsse und unterschiedlichen Erhaltungsgrad der Proben wird diskutiert.

Die K-Ar-Daten überstreichen den Zeitraum zwischen Senon und Pliozän und häufen sich im Eozän. Der alttertiäre Vulkanismus tritt in allen Randgebirgen des Grabens auf und ist im kristallinen Odenwald und Sprenzlinger Horst besonders häufig. Ferner kann eine oberoligozäne-untermiozäne Otzberg-Altersgruppe erkannt werden. Die tholeiitischen Trappbasalte des Untermaingebietes haben mittel- bis obermiozäne Alter. Zwischen Einsetzen des Vulkanismus im Senon und dem Beginn der Grabensedimentation im Lutet besteht eine Zeitdifferenz von etwa 20 Ma. Bildung von Zerrspalten mit Magmenaufstieg ging der Bruchtektonik im Graben voraus.

ABSTRACT

Potassium-argon ages were determined on 54 whole rock samples of mainly alkali-basalts from the Upper Rhine Graben area. The influences which xenolithic inclusions and the degree of alteration of samples have upon the apparent ages are discussed.

The K-Ar data yield a range of Senonian to Pliocene ages with a frequency maximum of Eocene ages. These early Tertiary volcanics occur in all areas bordering the Rhine Graben, and are especially abundant in the Crystalline Odenwald and in the Sprenzlinger Horst. Further, a group of basalts of Upper Oligocene-Lower Miocene age can be distinguished in the Otzberg area. The tholeiitic Trapp Basalts of the Lower Main Area have Middle- to Upper Miocene ages.

A time span of some 20 Ma separates the onset of volcanism in Senonian and the beginning of Middle Eocene sedimentation in the Rhine Graben. Tension-faulting with concomitant magmatism preceded the step-faulting episode in the graben.

Einleitung

Der Oberrheingraben durchschneidet als 300 km langer und durchschnittlich 35 km breiter Zerrungs- und Bruchgraben die Erdkruste im westlichen Mitteleuropa und ist ein Teilstück der Mittelmeer-Mjösen-Zone, die genetisch mit den ost- und südafrikanischen Grabensystemen zusammenhängt.

Im Norden erweitert sich der Oberrheingraben in das Mainzer Becken, das im NW vom Rheinischen Schiefergebirge abgeschlossen wird; in der Hessischen Senke, die sich durch die Wetterau nach Osten versetzt an den Rheingraben anschliesst, findet das Grabensystem seine Verlängerung. Im Süden endigt der Graben im Sund-

gaubekken bzw. am Schweizer Jura; der nach Westen versetzte Rhonetalgraben jenseits der Burgundischen Pforte bildet die südliche Verlängerung des Grabensystems. Die Grabenränder bilden linksrheinisch die Hochschollen Vogesen, Pfälzer Wald und Pfälzer Bergland, rechtsrheinisch Schwarzwald, Odenwald und Sprenzlinger Horst. In seinem mittleren Abschnitt wird der Graben von der Depression der Zaber-ner und Kraichgauenke gequert.

Die ersten sicheren Anzeichen für Dehnungsbeanspruchung im Gebiet des heutigen Oberrheingrabens sind spätvariskische Granitporphyrgänge im Grundgebirge des Schwarzwaldes und Odenwaldes. Nur wenig jünger sind die einer eindeutig E-W gerichteten Zerrungstendenz entsprechenden N-S streichenden hydrothermalen Erz- und Mineralgänge im Schwarzwald (SCHNEIDERHÖHN 1941), nicht zu verwechseln mit den miozänen hydatogenen Mineralgängen im Pfälzer Wald (ILLIES 1963) und am Grabenostrand (HENGLEIN 1924).

In ähnlicher Weise deuten die entlang den heutigen Grabenrändern aufgereihten permischen Rhyolithe auf eine Bevorzugung der rheinischen Richtung, lange bevor sich im Tertiär der Graben ausbildete.

Die durch Sedimentation belegte Grabenbildung setzt im Mitteleozän ein (WAGNER 1953). Die anfängliche Absenkung wird an der Wende Chatt-Aquitan von Bruchtektonik abgelöst (WAGNER 1947). Es gibt jedoch Hinweise auf schon mesozoische Randstaffeln (WIRTH 1954) und prä-obereozäne ostwärts gerichtete Kippungen der späteren Grabenschollen (ANDRES und SCHAD 1959). Die Gesamtsprungshöhe beträgt heute bis zu 4500 m. Die Zone stärkster Absenkung hat sich, wie in den paläotektonischen Karten für das Tertiär dargestellt ist (ILLIES 1965), im Verlauf des Tertiärs von SW nach NE verlagert. Dabei wirkte die heutige Kraichgau-Zaber-ner-Senke als eine Art Scharnier. Wie zahlreiche Erdbeben beweisen, sind die Bewegungen im Graben auch heute noch nicht beendet. Diese Bebentätigkeit konzentriert sich heute im Nordgraben (AHORNER 1962).

Von einigen Autoren wird ein Zusammenhang zwischen den bei der Alpenentstehung wirksamen Kräften und den tektonischen und magmatischen Vorgängen im Graben angenommen; Anzeichen dafür finden sich besonders im Südteil des Grabens (THEOBALD 1950; WITTMANN 1952; SCHWARZBACH 1961 und TRUNKO 1970).

Die vulkanische Aktivität im Bereich des Oberrheingrabens, die seit dem Perm ruhte, äusserte sich im Tertiär durch das Auftreten alkalibasaltischer und tholeiitischer Vulkanite. Trachytische, phonolithische und karbonatitische Gesteine treten untergeordnet auf. Diese Gesteinsassoziation ist typisch für kontinentale Gräben.

Die Vulkanite, die als Schloten, Gänge und seltener als Decken vorliegen, drangen fast ausschliesslich an Störungen innerhalb von Rotliegend- oder Grundgebirgshochgebieten längs der Grabenränder auf. Dabei ist auffallend, dass die Hauptrandverwerfungen von Basalten frei sind.

Eine Ausnahme ist der Kaiserstuhl, der am Kreuzungspunkt des Rheingrabens mit dem Bonndorfer Grabensystem liegt. Es ist bemerkenswert, dass am Nordrand der Niederhessischen Senke (nördlich des Vogelsberges) zahlreiche Alkalibasalte aufdrangen, von denen einige mit Sicherheit nicht an Verwerfungen gebunden sind (MEIBURG 1969).

Die jüngere vulkanische Tätigkeit im Rheingrabengebiet begann nach geologischen Kriterien in der jüngsten Kreide oder im ältesten Tertiär und reichte in wech-

selnder Intensität bis ins Pliozän, wobei die Hauptaktivität miozänes Alter haben soll. Da ein ursächlicher Zusammenhang zwischen der Rheingrabentektonik und dem Grabenvulkanismus angenommen werden kann, erhebt sich die Frage nach der Altersverteilung dieses Vulkanismus.

LEPSIUS (1892) vermutete, dass die Nephelinbasalte im nördlichen Odenwald und im Mainzer Becken, die an keiner Stelle in Berührung mit tertiären Stufen treten, ein alttertiäres Alter besitzen und wesentlich älter als die miozänen Eruptionen des Vogelsberg und der unteren Maingegend sind.

Für den Katzenbuckel konnte RÜGER (1933) aus geomorphologischen Überlegungen ein alttertiäres Alter ableiten. Am Westrand des Rheingrabens liegen einige Vorkommen, deren Gerölle in mitteloligozänen Sedimenten aufgefunden wurden, so dass man dieses Minimalalter angeben konnte. Am Kaiserstuhl zeigten paläontologische Untersuchungen an Säugetieren, dass die Eruptionen im Untermiozän eingesetzt haben müssen (TOBIEN 1958).

Die ersten Anzeichen für eine vulkanische Tätigkeit im Hegau sind die obermiozänen Basisbentonite. Die Förderungen müssen nach Fossilfunden bis ins Unterpliozän gereicht haben. Die tholeiitischen Trappbasalte des Untermaingebietes konnten bisher stratigraphisch nur ungenau eingestuft werden. Die Angaben reichen vom älteren Mitteldiluvium (BAKKER 1930; zit. in WENZ 1933) über Oberpliozän (KINKELIN 1909; SCHOTTNER 1937), oberes Unterpliozän (MURAWSKI 1939), Unterpliozän (WENZ 1933) bis ins Sarmat (KLÜPFEL 1930). Nach neueren Untersuchungen ist das Liegende der Trappdecken Aquitan (NÖRING 1955; SCHENK 1968), so dass man für die Basalte selbst Mittel- bis Obermiozän annehmen kann.

Da die Mehrzahl der Oberrheingraben-Vulkanite in Hochgebieten ohne tertiäre Überdeckung auftreten, ist ihre Datierung nur mit isotopengeologischen Methoden möglich. Die ersten Altersbestimmungen nach der K-Ar-Methode an einigen dieser Gesteine oder an Mineralseparaten daraus stammen von LIPPOLT, GENTNER und WIMMENAUER (1963). Das an einem Biotit vom Katzenbuckel ermittelte Alter von 66 Ma unterstützt RÜGERS geologische und morphologische Überlegungen und seine Annahme eines alttertiären oder aber kretazischen Alters der Katzenbuckeleruption. Die K-Ar-Alter an den Gesteinen des Kaiserstuhls zeigen, dass dieser Vulkan vor 18 Ma bis 16 Ma tätig war (Burdigal-Helvet). Im Hegau ist das höchste gemessene Alter um 14 Ma, das jüngste 7 Ma (Torton-Pont). Diese Messungen widerlegten die gelegentlich vertretene Ansicht, dass der Vulkanismus im Gebiet des Oberrheingrabens ausschliesslich jungtertiär sei.

Mit der Absicht, die zeitliche Verteilung dieses Vulkanismus besser aufzulösen, haben wir weitere Altersbestimmungen nach der K-Ar-Gesamtgesteinmethode durchgeführt. Zu Beginn dieser Untersuchungen wurden jeweils ein oder zwei Vertreter der verschiedenen geographischen Gruppen gemessen. Dabei ergaben sich starke Streuungen der Alterswerte. Deshalb war es notwendig, alle zugänglichen Vorkommen miteinzubeziehen.

Gesamtgesteinssproben wurden deshalb verwendet, weil es sehr schwierig und oftmals unmöglich ist, aus den feinkörnigen Basalten geeignete Minerale abzutrennen. Darüber hinaus hat sich in den letzten Jahren gezeigt, dass K-Ar-Gesamtgesteinmessungen an basischen Vulkaniten durchaus realistische Alterswerte ergeben, wenn gewisse Bedingungen erfüllt sind: die Abkühlung des Magmas soll schnell

erfolgt sein, verglichen mit dem Alter des Gesteins. Weiter soll das Gestein über die zu messende Zeit hinweg bezüglich K und Ar ein geschlossenes System geblieben sein. Die Lagerungstemperatur des Gesteins war hinreichend niedrig, und die K- und Ar-führenden gesteinsbildenden Minerale sind nicht wesentlich durch Verwitterung verändert.

Wie z.B. WEBB und McDougall (1967) zeigten, hatten leichte verwitterungsbedingte Umwandlungen der Plagioklase und der Grundmasse keine Argonverluste zur Folge. AMARAL et al. (1966), die 35 kretazische Basalte und Diabase Brasiliens datierten, fanden nur eine einzige Diabasprobe mit 8% zu niedrigem Alter, verglichen mit dem wahrscheinlichen Wert. Ein Grund für diesen Argonverlust konnte nicht gefunden werden. Diese Arbeit bestätigt die Ansicht, dass basische Gesamtgesteine für K-Ar-Datierungen geeignet sind (siehe auch ARMSTRONG 1966; EVERNDEN et al. 1964; ERICKSON und KULP 1961). Wie Mikrosondenuntersuchungen von COX et al. (1966) und AMARAL et al. (1966) zeigen, sind K-(und Ar)-führende Phasen in der zuletzt verfestigten Grundmasse anzutreffen. Diese sollte deshalb frisch sein und keine Entglasungen zeigen. McDougall et al. (1966) fanden keine Argonverluste bei Proben, die bis zu 15% frisches Glas führten.

Entsprechend den weiter oben genannten Grundvoraussetzungen der K-Ar-Altersbestimmungen müssen bei der Interpretation von K-Ar-Altern auch die Argonverluste berücksichtigt werden, die eine Probe erleidet, wenn sie über geologische Zeiten bei erhöhter Temperatur lagert. LIPPOLT et al. (1963) haben an einer Sanidin-nephelinprobe des Katzenbuckels Entgasungsexperimente vorgenommen und daraus auf die Parameter für Volumendiffusion des Gesamtgestein bei verschiedenen Temperaturen extrapoliert. So erhalten sie bei einem gemessenen Alter von 57 Ma unter der Annahme, dass das Gestein bei 30°C gelagert hat, eine Alterskorrektur von 10%. Das tatsächliche Alter wäre also 63 Ma. Unter Berücksichtigung der geothermischen Tiefenstufe von normalerweise 30 m/°C ist eine Lagertemperatur von 30°C (\pm 1 km Überdeckung) für viele unserer Gesteine über längere Zeit durchaus realistisch. Es ist deshalb möglich, dass einige der von uns ermittelten Alterswerte durch thermisch bedingte Argonverluste leicht erniedrigt sind.

Als Ursache für mögliche Altersverfälschungen zu höheren Altern hin müssen Xenolithe und Fremdkristalle aus dem älteren Untergrund angesehen werden. Durch Fremdmaterial ererbtes Argon konnte DALRYMPLE (1964) in einem Lavastrom nachweisen. Ein 100 Ma alter Graniteinschluss in dieser 60000 Jahre alten Lavadecke führte noch 2% seines ursprünglichen radiogenen Argons. Diese Art von Überschussargon spielt jedoch vor allem bei der Datierung von schnell abkühlenden Tuffen eine Rolle (EVERNDEN et al. 1957; DALRYMPLE et al. 1965; CURTIS 1966). Siehe auch die Ausführungen im Abschnitt «Diskussion der Einzelergebnisse» dieser Arbeit.

Unter den von uns datierten Gesamtgesteinssproben befanden sich keine Tuffe, da diese im Gebiet des Oberrheingrabens in den allermeisten Fällen vollständig abgetragen sind. Über die von uns untersuchten Basalte berichten wir in den folgenden Abschnitten.

Probenbeschreibung

Die Proben sind nach ihrer geographischen Zusammengehörigkeit geordnet. Angegeben sind Laboratoriums-Probennummer und Lokalitätsbezeichnung; «Samm-

lungsstück» kennzeichnet eine Probe, die um 1900 in die Sammlung des Mineral.-Petrogr. Instituts in Heidelberg gelangte. Dann folgen Name des Messtischblatts, Koordinaten des Fundpunktes, Gesteinsbezeichnung mit Angabe des Erhaltungsgrades. Die Gesteinsbezeichnung richtet sich, falls sie nicht aus fremden Arbeiten übernommen wurde, nach den leukokraten Hauptgemengteilen. Führt das Gestein nur Plagioklas, wird es Alkali-Olivin-Basalt genannt; treten Plagioklas und Nephelin nebeneinander auf: Nephelin-Basanit; überwiegt Nephelin: Olivin-Nephelinit; Limburgite führen an Stelle auskristallisierter heller Gemengteile nur Glas. Die Unterscheidung der Alkali-Olivin-Basalte von den tholeiitischen Basalten erfolgte ausser nach dem Mineralbestand nach dem Chemismus. Im Falle der übernommenen Gesteinsnamen sind Autor und Erscheinungsjahr der Veröffentlichungen zitiert.

Für die Beurteilung des Erhaltungsgrades der Proben wurden folgende Kriterien benutzt, wobei kein Unterschied zwischen deuterischer und verwitterungsbedingter Umwandlung des ursprünglichen Mineralbestandes gemacht wurde:

sehr frisch: primärer Mineralbestand unverändert;

frisch: Olivin teilweise in Iddingsit oder Bowlineit umgewandelt;

unfrisch: Olivin vollständig umgewandelt; beginnende Karbonatisierung und Zeolithisierung;

sehr unfrisch: Karbonatisierung und Zeolithisierung grösserer Gesteinspartien; Brauneisenausscheidungen; der primäre Mineralbestand ist nicht mehr eindeutig zu erkennen.

Die im folgenden aufgeführten Proben wurden entweder von uns mit Hilfe der Lokalkenner (hinter den entsprechenden Probennummern genannt) aufgesammelt oder von diesen zur Verfügung gestellt:

Nr. 21, 25, 26, 28, 29, 30, 33, 35, 36: Prof. Frenzel, Heidelberg

3, 13, 30, 40, 41, 45: Dr. Negendank, Mainz

15, 59, 60, 61, 62: Dipl. geol. Gehnes, Freiburg

17, 18, 19, 20: Dr. Ehrenberg und Dr. Meisl, Wiesbaden

53, 54: Dr. Weinelt, München

47, 48: Cand. geogr. Bibus, Frankfurt

24: Dr. Barth, Heidelberg

Wir möchten diesen Herren für ihre Unterstützung an dieser Stelle herzlich danken.

Die untersuchten Proben

- | | |
|--|--|
| 1 <i>Katzenschneise</i> , Bl. Darmstadt-Ost
r 79400, h 26700
Nephelin-Basanit, frisch | 3 <i>Götzenhain</i> , Ringwäldchen, Bl. Messel
r 80800, h 39680
Limburgit (NEGENDANK 1969), sehr frisch |
| 2 <i>Hochstädtten I</i> , Ostabhang des Auerbacher
Schlossberges, Bl. Zwingenberg-Bens-
heim
r 74360, h 08170
Olivin-Nephelinit, sehr frisch | 4 <i>Stetteritz</i> , Bl. Roseldorf
r 85420, h 25100
Olivin-Nephelinit (NEGENDANK 1969),
frisch |
| 2a <i>Hochstädtten II</i> , südl. Bangertshöhe
Bl. Zwingenberg-Bensheim
r 75360, h 08030
Olivin-Nephelinit, unfrisch | 5 <i>Nierstein</i> , Rehbacher Steg, Bl. Alzey
Limburgit, sehr unfrisch
Das Vorkommen, das von ROSENBUSCH
(1923) beschrieben wurde, wurde von
Dr. SONNE (Mainz) bei der Neukartierung
wiederentdeckt. |

- 6 *Otzberg*, Bl. Gross-Umstadt
r 93 600, h 20 300
Olivin-Nephelinit, frisch
- 7 *Rossberg I*, Bl. Roseldorf
r 34 836, h 55 239
Olivin-Nephelinit, sehr frisch
- 7a *Rossberg II*
Andere Abbau-Etage des Steinbruch-
betriebes; petrographisch wie 7
- 8 *Reichshofen*, Bl. Niederbronn
Plagioklasbasalt (WIMMENAUER 1952),
frisch
- 9 *Traisa (Steinbuckel)*, Bl. Roseldorf
r 75 400, h 23 360
Nephelin-Basanit, frisch. Das Gestein
ist sehr einschlussreich. Die Einschlüsse
sind nach KLEMM (1938) Rotliegendes.
- 10 *Mitlechtern*, Bl. Lindenfels
etwa r 60 000, h 25 000
Hornblende führender Nephelin-Basanit,
sehr unfrisch
- 11 *Forstberg*, Bl. Gross-Umstadt
r 88 400, h 19 150
Rhonit führender Nephelin-Basanit,
frisch
- 12 *Forst*, Bl. Dürkheim-Ost
r 39 550, h 76 800
Olivin-Nephelinit (WIMMENAUER 1952),
frisch
Nach REIS (1910) und STELLBRECHT (1964)
ist das Alter des Gesteins prä-mitteloligo-
zän.
- 13 *Dieburg*, El. Messel
r 85 000, h 29 980
Olivin-Nephelinit (NEGENDANK 1969),
frisch
- 14 *Steinsberg*, Bl. Sinsheim
r 91 100, h 53 050
Nephelin-Basanit (WIMMENAUER 1952),
sehr frisch
Nach vorläufigen radiometrischen
Messungen (KIRSTEN, LIPPOLT 1965) ist
sein Alter paleozän.
- 15 *Hinterhauenstein I*, Bl. Triberg
r 34 402, h 53 397
Olivin-Nephelinit (WIMMENAUER 1952),
sehr frisch
Nach WIMMENAUER ist es mit Buntsand-
stein kontaminiert.
- 15a *Hinterhauenstein II* (Sammlungsstück),
wie 15 Olivin-Nephelinit, frisch
- Dieses Gestein ist nach petrographischen
Gesichtspunkten offensichtlich identisch
mit Nr. 15. Die Probe stammt aus der
«Badischen Sammlung» des Mineralo-
gisch-Petrographischen Instituts der Uni-
versität Heidelberg (Nr. 845) und wurde
unter der Lokalität «Carlsstein bei Horn-
berg» geführt. Von der Lokalität Karls-
stein bei Hornberg ist kein Basalt bekannt
(WIMMENAUER 1969).
MÄUSSNEST (persönl. Mitt. 1970) hat bei
magnetometrischen Messungen in der
Umgebung dieses Karlsstein kein Basalt-
vorkommen im Untergrund feststellen
können. SCHILL (1857) erwähnt, dass der
Hauenstein im Jahre 1789 nach einem
Besuch durch Herzog Karl von Württem-
berg in Karlsstein umbenannt wurde,
so dass bei der Sammlungsprobe wahr-
scheinlich diese Lokalitätsbezeichnung
verwendet wurde.
- 16 *Hillesheim*, Bl. Gau-Odernheim
r 46 700, h 15 850
Nephelin-Basanit (NEGENDANK 1969),
unfrisch
Nach WAGNER (1953) und DÖBL (1964)
ist das Alter prä-mitteloligozän.
- 17 *Eppstein, Bahnhofstunnel*, El. Königstein
Olivin-Nephelinit, unfrisch
- 18 *Bossenhain*, Bl. Eltville-Heidenfahrt
r 45 600, h 23 000
Olivin-Nephelinit, sehr frisch
- 19 *Waldburghöhe*, Bl. Presberg
r 34 199, h 55 437
Basanitischer Nephelinit, Analcim füh-
rend (EHRENBERG 1968), sehr frisch
- 20 *Hörkopf*, Bl. Presberg
r 34 245, h 55 469
Basanitischer Nephelinit, Analcim füh-
rend (EHRENBERG 1968), sehr frisch
- 21 *Neckarbischofsheim I*, Westgang, Bl.
Sinsheim
r 34 966, h 54 622
Hauyn führender Nephelinit (WIMMEN-
AUER 1952), sehr unfrisch
- 21a *Neckarbischofsheim II*, Ostgang, wie 21
Hauyn führender Nephelinit
(WIMMENAUER 1952), sehr unfrisch
- 22 *Spitalfeld*, Bl. Neunkirchen
r 87 520, h 15 200
Olivin-Nephelinit, frisch

- 23 *Webern*, Bl. Neunkirchen
r 82750, h 12800
Hauyn führender Olivin-Nephelinit,
unfrisch
- 25 *Klein Steinheim bei Hanau* (Sammlungsstück), Bl. Hanau
Tholeiitischer Basalt, frisch
- 26 *Teufelskaut bei Hanau* (Sammlungsstück), Bl. Hanau
Petrographisch kein Unterschied zu
Gestein Nr. 25, 28 und 30.
- 28 *Frankfurter Stadtwald, Bohrloch N*
(Sammlungsstück), Bl. Frankfurt-West
Tholeiitischer Basalt, frisch
Wie Gestein Nr. 25 und 26.
- 29 *Strütt I* (Sammlungsstück), Bl.
Aschaffenburg
r 06420, h 39970
Olivin-Nephelinit (WEINELT et al. 1965),
frisch
- 29a *Strütt II*, wie 29
Petrographisch kein Unterschied zu 29.
- 30 *Frankfurter Stadtwald* (Sammlungsstück),
Bl. Frankfurt-West
Tholeiitischer Basalt, frisch
Wie Gestein Nr. 25, 26, und 28.
- 33 *Wartenberg, Hegau* (Sammlungsstück),
Bl. Geisingen Olivin-Melilitit, frisch
Das Alter des Gesteins ist nach LIPPOLT
et al. (1963) und von ENGELHARDT (1965)
jünger als Obermiozän.
- 35 *St. Georgen bei Freiburg* (Sammlungsstück), Olivin-Nephelinit, sehr frisch
Die Herkunft des Gesteins ist unsicher,
da nach WIMMENAUER (1970) weder bei
St. Georgen im Schwarzwald noch in
St. Georgen bei Freiburg, Olivin-Nepheli-
nit-Vorkommen bekannt sind. Wahrschei-
nlich ist jedoch, dass es sich um eine
Probe aus einem Vorkommen in der Nähe
von St. Georgen bei Freiburg handelt.
- 37 *Oberlaudenbach* (Sammlungsstück), Bl.
Lindenfels
etwa r + 20000, h -29000
Limburgit, unfrisch
- 38 *Kühruh* (Sammlungsstück), Bl. Rossdorf
Nephelin-Basanit, frisch.
Als Einschlüsse Quarz und Plagioklas
mit Reaktionssauum aus neugebildeten
Klinopyroxenen.
- 40 *Sarmsheim*, Bl. Bingen-Rüdesheim
Olivin-Nephelinit, frisch
- 41 *Olm I*, Bl. Mainz
r 3442040, h 5532790
Bohrkern (1415,3 m–1420,5 m)
Limburgit (NEGENDANK 1969), unfrisch
Sein Alter ist nach einer K-Ar-Altersbe-
stimmung von LEUTWEIN und ZIMMER
MANN (Nancy) (in NEGENDANK 1969)
 58 ± 8 Ma \triangleq Paleozän-Eozän.
- 42 *Hamberg*, Bl. Mosbach
r 08500, h 68350
Hauyn führender Nephelinit
(WIMMENAUER 1952), unfrisch
- 43 *Hoher Berg* (ehemals Schönbornsche
Steinindustrie), Bl. Neu Isenburg
Trachyt, frisch
- 44 *Katzenbuckel, alter Gemeindesteinbruch*,
Bl. Zwingenberg
Natronshonkinit (FRENZEL 1955), frisch
Sein Alter ist nach K-Ar-Altersbestim-
mungen (LIPPOLT et al. 1963) an dem
benachbarten, etwa gleich alten Sanidin-
nephelinit 66 Ma (Biotit) bzw. 52 Ma
(Sanidinnephelinit, grob gekörnt), also
paleozän.
- 45 *Rochusberg*, Bl. Bingen
r etwa 21500, h etwa 36500
Nephelin-Basanit, frisch
- 47 *Galgenberg*, Bl. Friedberg
r 34806, h 55842
Olivinarmer Plagioklasbasalt, frisch
Gehört wohl zu den Anamesiten bzw.
zum Maintrapp. Der Mineralbestand ist
wie bei Nr. 25, 26 und 28. Viel Karbonat.
- 48 *Oberberg*, Bl. Usingen
r 71520, h 83120
Nephelin-Basanit, frisch
- 49 *Zotzenbach*, Bl. Birkenau
r 83500, h 30300
Hauyn führender Limburgit, frisch
- 50 *Eisenbach*, Bl. Obernburg
Hornblende führender Nephelin-Basanit,
unfrisch
- 52 *Farenberg*, Bl. Aschaffenburg
Alkali-Olivin-Basalt, frisch.
Nach WEINELT und SCHMEER (persönl.
Mitt. 1971) ist es wahrscheinlich, dass die
von uns gemessene Probe, die als Lese-
stein vom Feldweg wenige Meter westlich
der alten Abbaue entnommen wurde,
nicht aus dem dort auftretenden, stark
zersetzten Gestein stammt, sondern ver-

- schleppt ist. Nach SCHMEER und WEINELT handelt es sich bei dem Anstehenden um einen Ankaramit.
- 53 *Hohl-Hörstein*, Bl. Alzenau
r 07860, h 45 680
Nephelin-Basanit (SCHMEER 1968), frisch
- 54 *Hohl-Rückersbach*, Bl. Alzenau
r 08040, h 45 730
Nephelin-Basanit (SCHMEER 1968), frisch
Wie Nr. 53, die Fundpunkte liegen sehr nahe beieinander. Lesesteine
- 55 *Katzenbuckel, alter Gemeindesteinbruch am Michelsberg*, Bl. Zwingenberg
r 03 300, h 81 500
Sanidin-Nephelinit (FRENZEL 1955), frisch
- 59 *Valtin*, Bl. Epinal
zwischen Le Valtin und Le Grand Valtin, km 39/40, Hauyn führender Melilith-Ankaratrit (GEHNES persönl. Mitt. 1969), sehr unfrisch
- 60 *Mahlberg*, Bl. Ettenheim
r 34119, h 53 506
Melilith führender Olivin-Nephelinit (WIMMENAUER 1952), frisch
- 61 *Attental*, Bl. Freiburg
r 34208, h 53 184
Olivin-Nephelinit (WIMMENAUER 1952), frisch
- 62 *Hochkopf*, Bl. Feldberg
r 34287, h 53 027
Hauyn führender Olivin-Nephelinit, sehr unfrisch

Experimentelle Methoden

Probenaufbereitung

Aus dem vorliegenden Probenmaterial wurden etwa 500 g schwere, frische Stücke herausgesägt, in einer Scheibenschwingmühle zerkleinert, aus dem Gesteinspulver eine Kornfraktion von 200 bis 500 μm herausgesiebt, für 10 Min. im Ultraschallbad behandelt und mit Azeton gewaschen. Proben, in denen Entglasungsscheinungen des Grundmasseglasses oder Anzeichen von Verwitterung der Mineralien festzustellen waren, wurden nur dann verwendet, wenn kein besseres Material zu erhalten war. Die häufig zu beobachtende, mehr oder weniger starke Umbildung des Olivins zu Iddingsit wurde in Kauf genommen, da Olivin und Iddingsit keine Kaliumträger sind. Bei der Probennahme im Gelände und der Auswahl im Labor wurde darauf geachtet, möglichst Material ohne Fremdeinschlüsse zu entnehmen. Aus der 200–500 μm -Fraktion wurden unmagnetische Anteile (Zeolith, Karbonate) teils durch Handauslese, teils magnetisch abgetrennt bzw. mit HF weggelöst (DALRYMPLE und LAPHERE 1970). Die Proben wurden geteilt und auf Kalium und Argon hin analysiert.

Kaliumbestimmung

Kalium wurde mit einem Zeiss-Flammenspektralphotometer in Emission gemessen. Die Messlösungen und Vergleichslösungen wurden zur Beseitigung von Querbeeinflussungen mit Na und Ca gepuffert (modifiziert nach COOPER 1963). Messungen an Standards dienten zur Kontrolle des Verfahrens. Für den K-Gehalt des Diabas W-1 (USGS) wurde aus sechs Messungen ein Wert von $0,534 \pm 0,003$ gefunden. Der von FLEISCHER (1969) empfohlene Richtwert ist 0,532 % K.

Die K-Werte der K-Ar-Standards BERN 4M und USGS P-207 wurden zu $8,84 \pm 0,03$ (9 Messungen) bzw. $8,61 \pm 0,04$ (2 Messungen) ermittelt [%].

Die Reproduzierbarkeit unserer mindestens doppelt ausgeführten K-Analysen lässt sich aus dem Histogramm der Figur 1 ablesen. Es beinhaltet alle in dieser Arbeit verwendeten Analysen zusätzlich einiger anderer, die im gleichen Zeitraum durch-

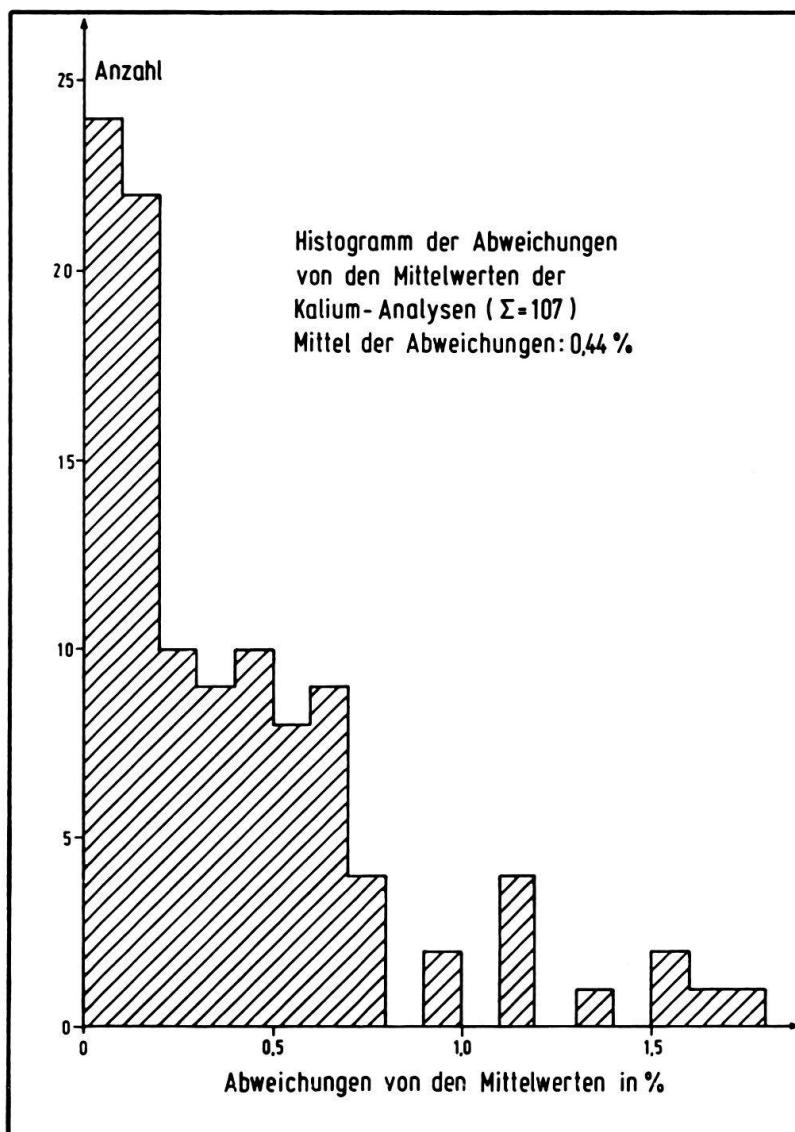


Fig. 1. Reproduzierbarkeit der Kaliumanalysen.

geführt wurden. Bei der Aufstellung des Histogramms wurden die Analysen nicht berücksichtigt, bei denen ein Analysenfehler sicher nachgewiesen werden konnte (Spritzen usw.).

Auf der Ordinate des Histogramms ist die Häufigkeit der Analysen, auf der Abszisse die Abweichung der Einzelmessungen vom jeweiligen Mittelwert aufgetragen. Das Histogramm entspricht einer Fehlerkurve mit einer mittleren Abweichung bei 107 Fällen von 0,44 % (1σ).

Argonbestimmung

Das Argon wurde mit einem ausheizbaren 180° -Sektorfeld-Massenspektrometer (5 cm Ablenkradius) statisch gemessen, wobei für den Massendurchlauf die Beschleunigungsspannung geändert wurde. Die Ionenströme werden in einem Faradaykäfig aufgefangen, mit einem Elektrometerverstärker ($R = 10^{11}$ Ohm) verstärkt und auf

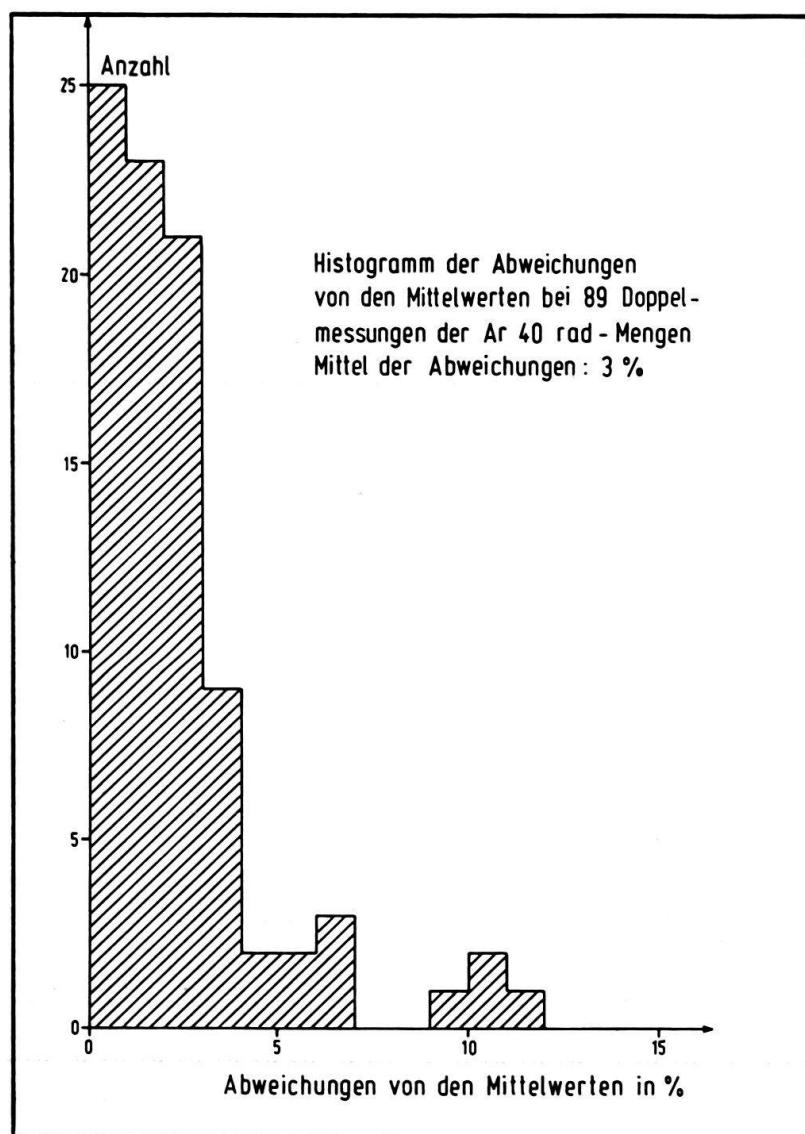


Fig. 2. Reproduzierbarkeit der Argonanalysen.

einem Kompensationsschreiber registriert. Bei Spaltweiten von 0,06 mm und 0,15 mm betrug die Auflösung $\frac{M}{\Delta M} = \text{etwa } 100$ (10% Tal-Definition). Die Partialdruckempfindlichkeit $U/(R \cdot p)$ war für Ar³⁸ bei einem Elektronenstrom von 250 μA etwa $2 \times 10^{-5} \text{ A/Torr}$.

Extraktion und Reinigung der Gase aus den Gesteinen erfolgte in einer Glasapparatur mit Hg-Sperren. Die in Al- bzw. Ni-Folie eingepackten Proben werden in einem Mo-Tiegel induktiv bei etwa 1700 °C geschmolzen und die extrahierten unedlen Gase sofort in einem Zirkonofen gegetttert. Nach dem Aufschluss wird über eine Messkapillare ($1,6 \times 10^{-6} [\text{cm}^3 \text{ STP}]$) Ar³⁸ als Spike zugegeben (Ar³⁶ = 0,005%; Ar³⁸ = 99,862%; Ar⁴⁰ = 0,134%; ZÜRICH).

Die Isotopenverhältnisse des Massenspektrometer-Untergrundes und des Probenargons werden auf den Zeitpunkt des Probeneinlasses extrapoliert. Messreihen bis

zu 15 Proben können mit demselben Schmelzofen ohne Brechen des Volumens durchgeführt werden.

Die Proben wurden vor dem Aufschluss 12 Stunden bei 220 °C im Vakuum ausgeheizt, um den Luftargonbeitrag zur Messung zu reduzieren. Der Ar⁴⁰_{rad}-Verlust liegt dabei nach LIPPOLT et al. (1963) und AMARAL et al. (1966) sicher unter 1 %. Zu Beginn und am Ende jeder Messreihe werden Blindmessungen gemacht. Die Blindwerte für atmosphärisches Argon gruppieren sich um 5×10^{-8} [cm³ STP]. Innerhalb jeder Messreihe wird mindestens ein Standard gemessen. Für den laborinternen Standard-Sanidin (Hohenburg, Eifel) ergab sich aus 18 Einzelmessungen ein Mittelwert von $4,10 \times 10^{-6}$ [cm³ STP Ar⁴⁰_{rad}] mit einer mittleren Abweichung (1σ) des Einzelwertes von $0,14 \times 10^{-6}$ [cm³], d.h. etwa 3,4 % des Messwertes. Die Luftargonanteile variierten bei unterschiedlichem Ausheizungsgrad zwischen 2 % und 54 %.

Die Reproduzierbarkeit der Ar-Bestimmungen ergibt sich aus dem Histogramm der Figur 2. Die mittlere Abweichung 1σ beträgt danach in Übereinstimmung mit den Ergebnissen an dem Laborstandard Hohenberg etwa 3 %. Für die Standards BERN 4M und USGS P-207 wurden die in Tabelle 1 angegebenen Werte ermittelt. Die den Einzelmessungen beigefügten Fehler sind aus den Analysenwerten errechnet. Die von uns an diesen Standards bestimmten Alter stimmen innerhalb von 5 % mit den als Bestwert für diese Proben angesehenen Altern überein (LANPHERE und DALRYMPLE 1965, 1967).

Die der Altersberechnung zugrunde gelegte Zerfallskonstante ist $0,532 \times 10^{-9}$ a⁻¹ bei einem Verzweigungsverhältnis von 0,123; der K⁴⁰-Anteil des Kaliums wurde mit 0,0118 % angenommen.

Nach den Fehlern der Kalium- und Argonmessungen zu schliessen, sind unsere Altersangaben bei Doppelbestimmungen für Proben mit einer Gesamtargonmenge von rund 2×10^{-6} [cm³] und 30 % atmosphärischem Argonanteil mit einem mittleren Fehler von etwa 4 % behaftet.

Tabelle 1. Argongehalte und Alterswerte der Standards BERN 4M und USGS P207.

Probe	Versuchs-Nr.	Einwaage (g)	Ar ⁴⁰ (rad) (cm ³ STP)	Ar ⁴⁰ (atm) (%)	Alter (10 ⁶ a)	(± Fehler) (%)
BERN 4 M	428	0,187	$6,31 \times 10^{-6}$	31,3	18,0	3,9
BERN 4 M	432	0,104	$6,35 \times 10^{-6}$	34,7	18,1	4,1
BERN 4 M	460	0,322	$5,98 \times 10^{-6}$	33,4	17,1	3,6
BERN 4 M	490	0,320	$5,93 \times 10^{-6}$	35,1	16,9	3,6
BERN 4 M	515	0,242	$6,06 \times 10^{-6}$	37,6	17,3	4,4
BERN 4 M	516	0,245	$6,15 \times 10^{-6}$	37,8	17,6	4,5
BERN 4 M	803	0,231	$6,39 \times 10^{-6}$	48,8	18,2	4,0
Mittelwerte:			$6,17 \times 10^{-6}$		17,7	$1,6 \pm 0,3$ Ma
P 207	517	0,143	$2,76 \times 10^{-5}$	9,0	79,7	3,4
P 207	804	0,214	$2,70 \times 10^{-5}$	6,9	77,9	3,1
Mittelwerte:			$2,73 \times 10^{-5}$		78,8	$2,3 \pm 1,8$ Ma

Tabelle 2. Analysenwerte der datierten Vulkanite des Oberrheingrabens.

In der ersten Spalte sind die Labornummern und die Lokalitätsbezeichnungen eingetragen. Dann folgt die Versuchs-Nr. (Spalte 2) der Argonbestimmung und die für die Ar-Messung eingewogene Probenmenge (Spalte 3). In Spalte 4 sind die Mittelwerte der K-Analysen eingetragen. In der 5. Spalte die radiogene Argonmenge (in cm³ STP) pro Gramm; darunter ist der Fehler der Argonbestimmung angegeben. Dieser ergibt sich aus den Fehlern der einzelnen Isotopenbestimmungen. In der 6. Spalte ist der Anteil des Luftargons-40 in % des Gesamtargons-40 angegeben. Die 7. Spalte umfasst die errechneten K-Ar-Alter und die quadratisch addierten Fehler der Argon- und Kaliumbestimmungen. Die letzte Spalte (Spalte 8) enthält die Mittelwerte für 2 und mehr Einzelmessungen. Zu den Fehlern der Alterswerte siehe das Kapitel «Argonbestimmung». Die verwendeten Konstanten sind: ($\lambda = 0,532 \cdot 10^{-9} \text{ a}^{-1}$; $R = 0,123$; $K^{40} = 0,0118\%$ des K_{ges}). $D - 05 \leq 10^{-5}$.

Probe	Ver- suchs- Nr.	Einwaage Gramm	Kalium	Ar/g (cm ³ STP)	Luft-Argon Anteil	Alter (Ma)	Mittelwert (Ma)
<i>Odenwald</i>							
3 Götzenhain	309	0,45904	0,702%	0,10817D-05 ± 16,45%	78,55%	38,67 ± 16,48%	
	248	0,48480	0,702%	0,11275D-05 ± 13,10%	71,35%	40,29 ± 13,14%	39,48
13 Dieburg	187	0,48248	0,881%	0,14157D-05 ± 5,19%	18,13%	40,31 ± 5,29%	
	214	0,47000	0,881%	0,14220D-05 ± 4,14%	30,34%	40,49 ± 4,26%	40,40
38 Kühruh	394	0,25262	1,110%	0,17860D-05 ± 4,96%	24,97%	40,36 ± 5,06%	
	335	0,48507	1,110%	0,18109D-05 ± 4,38%	42,90%	40,92 ± 4,49%	40,64
1 Katzen- schneise	250	0,48900	1,044%	0,18505D-05 ± 3,48%	13,31%	44,42 ± 3,62%	
	207	0,49341	1,044%	0,18045D-05 ± 5,81%	52,77%	43,32 ± 5,89%	43,87
4 Stetteritz	247	0,46010	0,822%	0,14091D-05 ± 3,86%	16,26%	42,97 ± 3,99%	
	209	0,48414	0,822%	0,14951D-05 ± 5,74%	49,26%	45,56 ± 5,83%	44,27
7 Rossberg I	43	0,46629	0,998%	0,16905D-05 ± 5,71%	50,89%	42,47 ± 5,80%	
	176	0,56440	0,998%	0,16950D-05 ± 5,36%	44,55%	42,58 ± 5,45%	42,52
7a Rossberg II	412	0,29217	0,996%	0,17029D-05 ± 4,84%	33,60%	42,86 ± 4,94%	
	378	0,28452	0,996%	0,16772D-05 ± 3,78%	36,09%	42,22 ± 3,91%	42,54
9 Traisa	210	0,49595	1,073%	0,14617D-05 ± 4,11%	28,58%	34,23 ± 4,23%	
	244	0,48533	1,073%	0,14956D-05 ± 3,90%	18,03%	35,02 ± 4,03%	34,62
11 Forstberg	211	0,48076	0,694%	0,12771D-05 ± 4,74%	40,74%	46,09 ± 4,85%	
	246	0,48325	0,694%	0,12254D-05 ± 4,19%	22,86%	44,24 ± 4,31%	45,17

Probe	Ver- suchs- Nr.	Einwaage Gramm	Kalium	Ar/g (cm ³ STP)	Luft-Argon Anteil	Alter (Ma)	Mittelwert (Ma)
6 Ötzberg	177	0,51605	0,959%	0,80929D-06 ± 4,05%	26,71%	21,28 ± 4,17%	
	525	0,61617	0,959%	0,83852D-06 ± 5,85%	49,38%	22,04 ± 5,94%	21,66
22 Spitalfeld	262	0,47904	0,708%	0,76726D-06 ± 5,50%	26,05%	27,28 ± 5,59%	
	54	0,49192	0,708%	0,79346D-06 ± 5,19%	29,83%	28,20 ± 5,29%	27,74
23 Webern	163	0,53361	0,400%	0,40394D-06 ± 8,69%	66,70%	25,43 ± 8,75%	
	261	0,47658	0,400%	0,37716D-06 ± 11,92%	66,53%	23,76 ± 11,96%	24,60
2 Hoch- städten I	249	0,48330	1,133%	0,20728D-05 ± 3,60%	21,87%	45,92 ± 3,74%	
	208	0,51325	1,133%	0,21350D-05 ± 4,21%	33,77%	47,18 ± 4,33%	46,50
2a Hoch- städten II	73	0,51257	1,520%	0,27802D-05 ± 3,67%	18,18%	45,81 ± 3,80%	
	260	0,47696	1,520%	0,29340D-05 ± 3,82%	24,42%	48,32 ± 3,94%	47,07
10 Mitlechtern	62	0,50043	2,010%	0,36157D-05 ± 3,26%	8,75%	45,07 ± 3,41%	
	212	0,48957	2,010%	0,36158D-05 ± 3,32%	13,02%	45,07 ± 3,47%	
	245	0,46789	2,010%	0,36719D-05 ± 3,27%	7,48%	45,76 ± 3,42%	45,30
37 Oberlau- denbach	334	0,47246	0,964%	0,14642D-05 ± 7,34%	54,52%	38,12 ± 7,41%	
	393	0,27264	0,964%	0,14644D-05 ± 4,93%	22,17%	38,13 ± 5,03%	38,13
49 Zotzenbach	409	0,26871	1,110%	0,20704D-05 ± 4,78%	37,02%	46,71 ± 4,88%	
	402	0,29821	1,110%	0,20936D-05 ± 4,31%	34,79%	47,23 ± 4,42%	
	373	0,30321	1,110%	0,20918D-05 ± 3,64%	37,05%	47,19 ± 3,77%	47,04
43 Hoher Berg	405	0,11502	4,560%	0,11805D-04 ± 2,97%	7,87%	64,52 ± 3,13%	
	406	0,12047	4,560%	0,11833D-04 ± 2,97%	7,78%	64,67 ± 3,14%	64,60
52 Farenberg	375	0,26135	1,150%	0,87937D-06 ± 3,20%	25,64%	19,29 ± 3,35%	
	533	0,61693	1,150%	0,90734D-06 ± 6,40%	56,75%	19,90 ± 6,48%	19,59
50 Eisenbach	294	0,46935	2,330%	0,44953D-05 ± 3,19%	10,90%	48,29 ± 3,35%	
	316	0,46521	2,330%	0,45682D-05 ± 3,00%	8,80%	49,07 ± 3,16%	
	408	0,27319	2,330%	0,46009D-05 ± 3,75%	21,45%	49,41 ± 3,88%	48,92

Probe	Ver- suchs- Nr.	Einwaage Gramm	Kalium	Ar/g (cm ³ STP)	Luft-Argon Anteil	Alter (Ma)	Mittelwert (Ma)
44 Katzen- buckel (Na- Shonkinit)	338	0,51876	4,590%	0,99986D-05 ± 3,04%	13,22%	54,44 ± 1,20%	
	131	0,50863	4,590%	0,10271D-04 ± 3,08%	11,31%	55,90 ± 3,24%	55,17
55 Katzen- buckel (Sa- Nephelinit)	413	0,29491	1,580%	0,32970D-05 ± 3,27%	13,53%	52,18 ± 3,42%	
	386	0,26644	1,580%	0,34098D-05 ± 3,34%	16,06%	53,94 ± 3,49%	53,06
<i>Vorspessart</i>							
29 Strütt I	252	0,51103	0,395%	0,70551D-06 ± 8,07%	61,29%	44,75 ± 8,14%	
	80	0,50795	0,395%	0,69069D-06 ± 7,81%	61,60%	43,82 ± 7,87%	44,29
29a Strütt II	295	0,47099	0,195%	0,33415D-06 ± 14,11%	74,63%	42,95 ± 14,15%	
53 Hohl-Hör- stein	563	0,31740	1,725%	0,48227D-05 ± 9,80%	65,36%	69,59 ± 9,86%	
	534	0,19567	1,725%	0,49222D-05 ± 8,67%	59,16%	70,99 ± 8,73%	70,29
54 Hohl-Rük- kersbach	562	0,32989	1,825%	0,44018D-05 ± 4,55%	39,28%	60,18 ± 4,66%	
	529	0,31867	1,825%	0,43444D-05 ± 3,79%	23,02%	59,41 ± 3,92%	59,80
<i>Kraichgau</i>							
42 Neckarelz- Diedesheim	399	0,33215	1,965%	0,45149D-05 ± 3,58%	26,21%	57,37 ± 3,71%	
	528	0,31637	1,965%	0,48909D-05 ± 3,64%	21,69%	62,08 ± 3,78%	59,73
21 Neckar- bischofsheim I-Westgang	34	0,50128	2,310%	0,60677D-05 ± 4,17%	30,36%	65,45 ± 4,29%	
	32	0,50583	2,310%	0,60421D-05 ± 3,85%	30,17%	65,18 ± 3,98%	
	243	0,20647	2,310%	0,59179D-05 ± 4,14%	31,62%	63,86 ± 4,26%	64,83
21a Neckar- bischofsheim II-Ostgang	251	0,47900	3,150%	0,82103D-05 ± 3,19%	11,81%	64,95 ± 3,34%	
	425	0,28237	3,150%	0,83309D-05 ± 3,84%	19,47%	65,89 ± 3,97%	65,42
14 Steinsberg	37	0,50001	1,860%	0,41594D-05 ± 3,70%	15,55%	55,86 ± 3,83%	
	36	0,50076	1,860%	0,40207D-05 ± 3,72%	16,50%	54,03 ± 3,85%	
	35	0,50015	1,860%	0,42402D-05 ± 3,79%	18,26%	56,93 ± 3,92%	
	307	0,46306	1,860%	0,40299D-05 ± 3,53%	22,45%	54,15 ± 3,67%	55,24

Probe	Ver- suchs- Nr.	Einwaage Gramm	Kalium	Ar/g (cm ³ STP)	Luft-Argon Anteil	Alter (Ma)	Mittelwert (Ma)
<i>Schwarzwald</i>							
15 Hinter- hauenstein	519	0,61857	0,963%	0,13835D-05 ± 5,67%	47,23%	36,08	
	186	0,50908	0,963%	0,12548D-05 ± 5,97%	32,47%	32,75	± 5,76%
15a Hinter- hauenstein II	303	0,46339	1,180%	0,16798D-05 ± 4,85%	43,27%	35,75	± 6,05%
	254	0,47388	1,180%	0,15936D-05 ± 5,34%	41,97%	33,93	± 4,95%
61 Attental	526	0,21308	1,610%	0,51345D-05 ± 3,76%	27,44%	79,17	
	384	0,25281	1,610%	0,53220D-05 ± 3,02%	11,12%	82,00	± 3,89%
35 St.Georgen	253	0,49384	0,857%	0,24455D-05 ± 3,91%	24,06%	71,00	
	302	0,45193	0,857%	0,23441D-05 ± 4,41%	34,54%	68,11	± 4,03%
62 Hochkopf	370	0,32539	1,111%	0,18923D-05 ± 16,07%	79,05%	42,70	
	536	0,24247	1,111%	0,18134D-05 ± 16,65%	75,03%	40,94	± 16,10%
						41,82	± 16,68%
<i>Vogesen</i>							
8 Reichshofen	235	0,48257	0,707%	0,12255D-05 ± 5,03%	40,89%	43,45	
	243	0,47336	0,707%	0,12518D-05 ± 4,46%	30,66%	44,37	± 5,13%
	188	0,48666	0,707%	0,12668D-05 ± 5,92%	35,73%	44,89	± 4,57%
59 Le Valtin	382	0,29089	1,540%	0,39515D-05 ± 5,30%	50,64%	63,96	
	535	0,26797	1,540%	0,35892D-05 ± 4,85%	40,50%	58,19	± 5,39%
	564	0,23620	1,540%	0,37195D-05 ± 6,22%	51,43%	60,26	± 4,95%
	367	0,26636	1,540%	0,37483D-05 ± 5,40%	52,81%	60,72	± 6,30%
						60,78	± 5,49%
<i>Taunus</i>							
20 Hörkopf	70	0,50639	0,893%	0,14327D-05 ± 4,02%	32,36%	40,25	
	263	0,50147	0,893%	0,14906D-05 ± 3,93%	24,29%	41,85	± 4,14%
	305	0,45744	0,893%	0,14671D-05 ± 4,34%	33,19%	41,20	± 4,06%
						41,10	± 4,45%

Probe	Ver- suchs- Nr.	Einwaage Gramm	Kalium	Ar/g (cm ³ STP)	Luft-Argon Anteil	Alter (Ma)	Mittelwert (Ma)
19 Waldburg- höhe	284	0,47594	1,000%	0,16367D-05 ± 3,58%	12,12%	41,05	
	264	0,49070	1,000%	0,16418D-05 ± 3,59%	10,90%	41,17	
	237	0,49559	1,000%	0,16318D-05 ± 3,72%	18,18%	40,93	
	237	0,49701	1,000%	0,16127D-05 ± 3,62%	12,91%	40,45	
	237	0,47233	1,000%	0,16108D-05 ± 3,69%	13,28%	40,41	
	419	0,28615	1,000%	0,16096D-05 ± 5,60%	19,08%	40,38	
	420	0,30113	1,000%	0,16299D-05 ± 4,51%	17,97%	40,88	
	421	0,28546	1,000%	0,15827D-05 ± 4,65%	15,61%	39,71	
						± 4,75%	40,62
18 Bossenheim	55	0,52075	0,813%	0,16543D-05 ± 3,76%	22,34%	50,90	
	241	0,48479	0,813%	0,16986D-05 ± 3,80%	22,33%	52,24	
17 Eppstein	265	0,48673	1,540%	0,46367D-05 ± 3,36%	17,53%	74,83	
	236	0,27167	1,540%	0,47918D-05 ± 3,72%	19,65%	77,29	
	286	0,48426	1,540%	0,47225D-05 ± 3,25%	16,73%	76,19	
48 Oberberg	411	0,27298	0,967%	0,26363D-05 ± 4,65%	46,16%	67,89	
	401	0,25789	0,967%	0,26740D-05 ± 4,71%	45,54%	68,84	
						± 4,82%	68,36
<i>Mainzer Becken</i>							
45 Rochusberg	165	0,49369	0,790%	0,16095D-05 ± 4,55%	44,79%	50,96	
	130	0,51245	0,790%	0,16200D-05 ± 6,69%	53,48%	51,29	
40 Sarmsheim	164	0,50636	0,772%	0,15396D-05 ± 3,67%	22,92%	49,90	
	257	0,47271	0,772%	0,14923D-05 ± 3,97%	21,63%	48,39	
41a Olm I	424	0,26891	1,520%	0,31664D-05 ± 3,62%	28,20%	52,09	
	527	0,29739	1,520%	0,30418D-05 ± 4,04%	31,75%	50,07	
41b Olm I (un- magn. Fraktion)	371	0,23848	0,975%	0,22739D-05 ± 3,61%	34,26%	58,23	
	5 Nierstein	304	0,44696	0,900%	0,16731D-05 ± 4,26%	32,37%	46,55
	176	0,52243	0,900%	0,17427D-05 ± 3,32%	21,44%	48,47	
						± 3,47%	47,51

Probe	Ver- suchs- Nr.	Einwaage Gramm	Kalium	Ar/g (cm ³ STP)	Luft-Argon Anteil	Alter (Ma)	Mittelwert (Ma)
16 Hillesheim	161	0,50474	0,753%	0,13577D-05 ± 4,88%	47,26%	45,17 ± 4,60%	
	240	0,48640	0,753%	0,12905D-05 ± 6,69%	53,48%	42,96 ± 6,77%	44,07
12 Forst	213	0,48898	0,636%	0,13714D-05 ± 4,40%	33,28%	53,89 ± 4,51%	
	239	0,47260	0,636%	0,13416D-05 ± 4,13%	22,03%	52,74 ± 4,25%	53,32
<i>Untermain-Gebiet</i>							
47 Galgenberg	410	0,27019	0,815%	0,52500D-06 ± 12,22%	51,43%	16,26 ± 12,26%	
	400	0,29119	0,815%	0,52435D-06 ± 10,07	30,15%	16,24 ± 10,12%	16,25
25 Kl. Stein- heim	74	0,50218	0,892%	0,49234D-06 ± 10,46%	65,50%	13,94 ± 10,51%	
26 Teufelskaute	75	0,50783	0,872%	0,45157D-06 ± 9,59%	57,69%	13,09 ± 9,64%	
28 Bohrloch N (Frankfurt)	77	0,49675	0,637%	0,42390D-06 ± 10,04%	62,68%	16,80 ± 10,09%	
30 Frankfurt	82	0,50225	0,921%	0,49143D-06 ± 7,15%	45,83%	13,48 ± 7,22%	
<i>Kaiserstuhlgebiet</i>							
60 Mahlberg	368	0,32756	1,050%	0,65028D-06 ± 9,83%	61,46%	15,64 ± 9,88%	
	383	0,31732	1,050%	0,70219D-06 ± 9,37%	59,27%	16,88 ± 9,42%	16,26
<i>Hegau</i>							
33 Wartenberg	783	0,36218	0,906%	0,31399D-06 ± 14,28%	79,58%	8,77 ± 14,31%	
	84	0,50560	0,906%	0,29628D-06 ± 11,76%	64,08%	8,27 ± 11,80%	8,52

Ergebnisse

Die Analysenwerte sind in Tabelle 2 nach ihrer geographischen Zusammengehörigkeit geordnet aufgeführt; die Alterswerte sind ausserdem der besseren Übersichtlichkeit wegen nach Altersgruppen in Figur 3 eingetragen.

Es ergibt sich, dass die höchsten K-Ar-Alter der obersten Kreide und dem Paleozän entsprechen. Zu dieser Altersgruppe (60 Ma) gehören im Südteil des Grabens Le Valtin in den Vogesen (Nr. 59), Attental (Nr. 61) und St. Georgen (Nr. 35) im Schwarzwald. Im mittleren Grabenabschnitt sind die ältesten Proben die vom Steinsberg (Nr. 14), Neckarbischhofsheim (Nr. 21 und 21a), Neckarelz-Diedesheim (Nr. 42) und vom Katzenbuckel (Nr. 44 und Nr. 55). Linksrheinisch gehören dazu die Basalte von Forst (Nr. 12), Nieder-Olm (Nr. 41a) und vom Rochusberg (Nr. 45), im Taunus Bossenheim (Nr. 18), Eppstein (Nr. 17) und Oberberg (Nr. 48). Aus dem

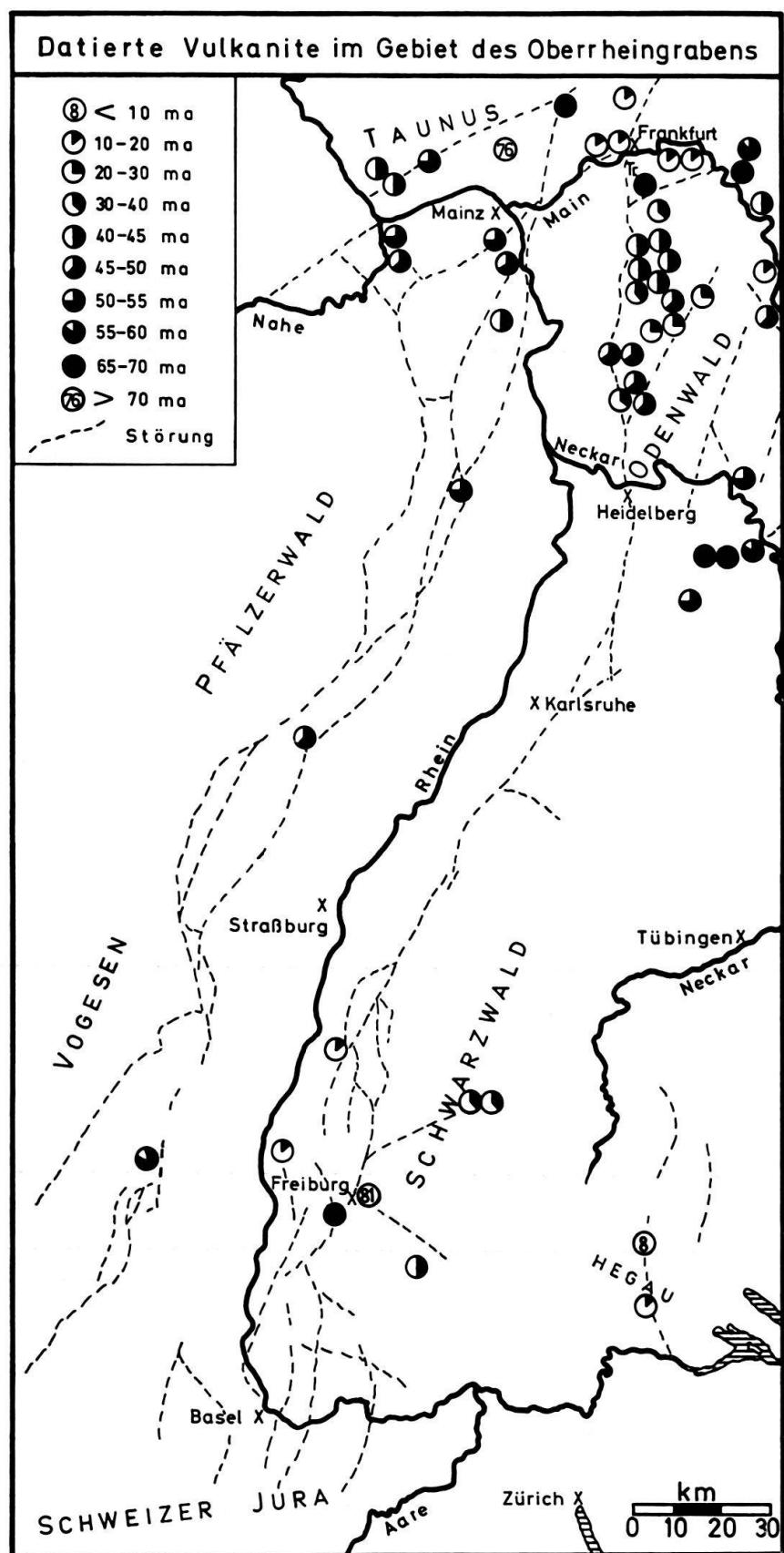


Fig. 3. Datierte Vulkanite im Gebiet des Oberrheingrabens.

kristallinen Vorspessart stammen die alttertiären Basalte von Hohl-Hörstein und Hohl-Rückersbach (Nr. 53 und Nr. 54). Aus dem Bereich des Sprendlinger Horstes ist die einzige paleozäne Probe der Trachyt Hoher Berg (Nr. 43), der untersucht wurde, um einen Anhaltspunkt für die Altersbeziehung Basalt–Trachyt zu erhalten. Dabei ergab sich, dass dieser Trachyt gleichzeitig mit den ältesten Basalten des Oberrheingrabengebietes gefördert wurde. Wichtig ist die Tatsache, dass diese hohen Alter im Bereich des gesamten Rheingrabens gefunden werden, d. h. dass als Folge einer tiefreichenden Spaltenbildung entlang dem ganzen Graben Vulkanite aufdrangen.

Die meisten Alter weisen auf Mittleres und Oberes Eozän, auf die Zeit, in der mit beginnender Grabenbildung die Sedimentation einsetzt (ILLIES 1965; TOBIEN 1969). Zu dieser Gruppe (40–60 Ma) gehören fast alle untersuchten Basalte des kristallinen Odenwaldes und des Sprendlinger Horstes, der Basalt Strütt (Nr. 29 und Nr. 51) im Vorspessart, der Basalt von Eisenbach (Nr. 50) und ein Vorkommen im Schwarzwald (Hochkopf, Nr. 62).

Der Basalt vom Hauenstein im Schwarzwald (Nr. 15 und 15a) ist mit 35 Ma oligozän.

Im Elsass weist der Basalt von Reichshofen (Nr. 8) ein obereozänes Alter auf, im Mainzer Becken die Basalte von Sarmsheim (Nr. 40), Nierstein (Nr. 5) und Hillesheim (Nr. 16).

Die in Figur 3 eingetragenen Probenpunkte spiegeln etwa die relative Häufigkeitsverteilung der Vulkanite im Grabengebiet wider und zeigen daher, dass der Vulkanismus zur Zeit des Mittleren und Oberen Eozäns die grösste Intensität hatte. Der eozäne Vulkanismus ist auf die östlichen Ränder des nördlichen Grabens konzentriert – in räumlicher Nähe des Gebietes, in dem die grössten Mächtigkeiten der jungtertiären Grabenfüllung gefunden wurde (DOEBL 1964; ILLIES 1965). Starker Absenkung ist hier intensiver Vulkanismus vorausgegangen.

Im mittleren kristallinen Odenwald erscheinen, vermutlich im Zusammenhang mit Spaltenbildungen im Bereich der «Otzbergzone», einige Vulkanite, deren K-Ar-Alter in die Zeit des Chatt–Burdigal gehören (Otzberg, Nr. 6; Spitalfeld, Nr. 22; Webern, Nr. 23 und Farenberg, Nr. 52).

Die nächst jüngere Gruppe von Basalten des Untersuchungsbereiches ist dem Mittleren Miozän zuzuordnen; so der Melilitbasalt vom Mahlberg (Nr. 60) nördlich des Kaiserstuhls. Seine Eruption dürfte in Zusammenhang mit dem Kaiserstuhl-vulkanismus stehen (LIPPOLT et al. 1963).

Miozän ist auch der Maintrapp aus verschiedenen Vorkommen zwischen Frankfurt und Hanau. Das Mittel aus den von uns gemessenen Werten liegt bei 15,0 Ma und entspricht der Torton-Sarmat-Grenze. Wegen der Fehler von 2 Ma in diesen Messungen ist nicht mit Sicherheit zu sagen, ob die Proben Nr. 25, 26 und 30 (Kl. Steinheim, Teufelskaute und Frankfurt) jünger sind als die Proben Nr. 47 und 28 (Galgenberg und Bohrloch N). Die drei erstgenannten Proben entstammen mit Sicherheit ein und derselben Decke, während die Zuordnung der beiden letztgenannten Proben zu dieser Trappdecke nicht eindeutig möglich ist. So gesehen, könnte der Altersunterschied echt sein. Die Probe Bohrloch N (Nr. 28) ergab ein Alter von 17 ± 2 Ma; dieser Wert widerspricht nicht der Feststellung von KINKELIN (1909) und NÖRTING (1953), dass das Liegende der angeblich oberpliozänen Sedimente, in die der Basalt eingeschaltet ist, durch Ostrakoden belegtes Untermiozän ist. Nach SCHENCK (1968) liegen mehrere

Basaltdecken übereinander. Anhand von eingelagerten Braunkohlevorkommen ist ihre stratigraphische Stellung Burdigal bis Torton. Isotopengeologische Altersbestimmung dieser Basalte ist in Vorbereitung.

Das niedrigste Alter in unserem Messprogramm hat mit $8,5 \pm 1,8$ Ma der Melilith-Ankaratrit vom Wartenberg im Hegau (Nr. 33). Dies bestätigt die von v. ENGELHARDT und WEISKIRCHNER (1963) vertretene Auffassung, dass die Melilith-Ankaratrite des Hegaus zu den jüngsten Förderungen in diesem Gebiet gehören; vgl. dazu auch LIPPOLT et al. (1963). Nach den bisherigen Messungen gehört dieses Alter zu den niedrigsten Vulkanitaltern der Rheingrabenprovinz.

Die Alter der tertiären Vulkanite im Oberrheingrabengebiet stehen nicht in eindeutiger Beziehung zu dem Gesteinscharakter bzw. -chemismus. Die Olivin-Nepheliniten und Basanite finden sich sowohl unter den ältesten Proben (z. B. Nr. 61, Attental) als auch unter den jüngeren (Lützelberg bei Sasbach, LIPPOLT et al. 1963) – sie fehlen in der jüngsten Altersgruppe (8–16 Ma). Diese wird entweder von tholeiitischen Basalten (Trappbasalte des Vogelberges) oder von Melilith-Ankaratiten und Phonolithen (Mahlberg, Hegau) gebildet. Andererseits sind unter den alttertiären Basalten jeweils ein Vertreter der Melilith-Ankaratite (Nr. 59, Le Valtin) bzw. der tholeiitischen Basalte (Nr. 8, Reichshofen) zu finden.

Sieht man jedoch von den letztgenannten Ausnahmen ab, so lässt sich sagen, dass die ältesten tertiären Vulkanite olivinnephelinitisch oder basanitisch sind. Die Trachyten des nördlichen Odenwaldes gehören wahrscheinlich ebenfalls an den Beginn des tertiären Grabenvulkanismus (von den drei im nördlichen Odenwald bekannten Trachyten wurde ein Vorkommen datiert). Die Olivin-Nepheliniten wurden bis ins Obermiozän gefördert. Die tholeiitischen Basalte sind zeitlich auf das Mittlere bis Obere Miozän beschränkt, während die Melilithankaratite und Phonolithe ein miozänes bis pliozänes Alter aufweisen. Inwieweit diese relativen Altersbeziehungen der tertiären Vulkanite des Oberrheingrabens genetische Bedeutung haben, soll hier nicht diskutiert werden (siehe dazu WIMMENAUER 1963).

Diskussion der Einzelergebnisse

Obwohl bei der Auswahl der Proben darauf geachtet wurde, dass möglichst frische Gesteine verwendet wurden, haben einige davon sekundäre Umwandlungen erlitten. So sind die Grundmassegläser der untersuchten Limburgite fast immer teilweise entglast, oder bestimmte Mineralien des Gesteins sind zeolithisiert oder karbonatisiert. Von den letztgenannten Umwandlungen sind bevorzugt K-freie Mineralien betroffen (Olivin). Außerdem dürften Verwitterungseinwirkungen gegenüber deuterischer Umwandlung quantitativ zurücktreten, so dass die Zeolithisierung und Iddingsitbildung nicht wesentlich später als die Verfestigung des Gesteins erfolgt sein wird.

Der Grad der sekundären Umwandlung eines Basaltes scheint ohne wesentlichen Einfluss auf das gemessene Alter zu sein. Das kann am Beispiel der beiden jeweils sicher zusammengehörigen Gangpaare von Neckarbischofsheim (Nr. 21 und 21a) und Hochstädtten (Nr. 2 und 2a) demonstriert werden. Wie aus der Probenbeschreibung ersichtlich ist, sind die primären Minerale der Gänge sekundär unterschiedlich verändert. An den zusammengehörigen Proben wurde aber dasselbe Alter von 65 Ma bzw. 47 Ma gemessen. Daraus darf geschlossen werden, dass deuterische Umwandlungen oder Verwitterung oder beide Prozesse in derartigen Fällen keine Altersver-

fälschung zur Folge hatten. Da die Umwandlungerscheinungen an den anderen Basalten dieser Untersuchung quantitativ meist geringer, qualitativ jedoch gleichartig sind, nehmen wir an, dass auch an diesen Basalten keine wesentlichen Altersverfälschungen durch die genannten Prozesse aufgetreten sind.

Messungen an Einzelmineralien mit bekanntem Ar-Retentivität aus den hier untersuchten Gesteinen werden zeigen, ob wesentliche Argonverluste durch andere Vorgänge als Verwitterung und deuterische Umwandlung am Gesamtgestein erfolgt sind. Nach den bereits vorliegenden Ergebnissen wissen wir, dass die Alter der Gesamtgesteine gegenüber den Altern, die am Augit, Biotit, Nephelin und Sanidin gemessen wurden, bis 20% erniedrigt sein können, wobei die Augite stets die niedrigsten Mineralalter ergeben.

Gesamtgesteinsalter an frischen Basalten können also niedriger sein als die Alter bewährter K-Ar-Mineralien desselben Gesteins (LIPPOLT et al. 1963; HORN et al. 1969). Wesentlich scheint das Diffusionsverhalten des Argon in den am Aufbau der untersuchten Basalte beteiligten K-Mineralien zu sein.

Weiter ist zu berücksichtigen, dass die meisten der untersuchten Basalte Einschlüsse von Fremdmaterial führen. Dabei handelt es sich um während des Basaltaufstieges von den Schlot- und Gangwänden mitgerissene Gesteine, die entweder dem variskischen Grundgebirge oder dessen sedimentären Deckschichten entstammen. Die Grösse solcher Einschlüsse kann von wenigen Mikron bis zu einigen Metern reichen. Die Häufigkeit der Einschlüsse schwankt stark. Von den granitischen Einschlüssen sind meist nur noch die Quarze erhalten, während die Glimmer und Feldspäte vom Magma resorbiert wurden. Im Dünnschliff ist der Saum von neugebildeten Klinopyroxenen für saure Einschlüsse typisch.

Da es gelegentlich nicht vermeidbar war, dass bei der Aufbereitung der Proben Xenolithe oder Fremdminerale miterfasst wurden, haben wir getestet, inwieweit Xenolithe beim Einschluss ihren bisherigen Argongehalt verloren. Dabei zeigte sich, dass bis zu 20 cm grosse Granitpegmatit-Einschlüsse aus dem variskischen Untergrund keine messbaren Mengen von radiogenem Argon ererbt haben, während das ursprüngliche Gefüge und der Mineralbestand weitgehend erhalten blieben. Die Temperatur und die Zeit waren also ausreichend, die Xenolithe vollständig zu entgasen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden gesondert publiziert (HORN et al., in Vorbereitung).

Im folgenden seien notwendige Bemerkungen zur Interpretation einiger K-Ar-Daten dieser Arbeit gemacht.

Im westlichen kristallinen Vorspessart wurde neben dem Vorkommen Strütt (Nr. 29) der Nephelin-Basanit von Hohl-Rückersbach (Nr. 54) und der von Hohl-Hörstein (Nr. 53) untersucht. Obwohl die zuletzt genannten Proben eng benachbarten Gängen entstammen, die diskordant in Staurolith-Granat-Plagioklas-Gneis aufsitzen (SCHMEER 1968; WEINELT und SCHMEER, persönl. Mitt. 1971), zeigen sie einen Altersunterschied, der knapp ausserhalb der Fehlergrenzen liegt (Nr. 53: 69 ± 5 Ma; Nr. 54: 59 ± 3 Ma). Unter dem Mikroskop ergeben sich keine Unterschiede zwischen den beiden Proben, welche die unterschiedlichen Alter erklären könnten. Nach WEINELT (persönl. Mitt. 1971) handelt es sich bei dem Vorkommen Nr. 53 um einen steckengebliebenen Gang. Die Probe Nr. 54 ist insofern unsicher, als es sich um Lesesteine handelt. Ob das eine oder das andere Alter dieses Gangpaars (?) ver-

fälscht ist (Überschussargon bzw. Argonverluste), konnte bislang nicht geklärt werden. Es wäre auch denkbar, dass der Altersunterschied echt ist, d. h. dass die Magmen zu verschiedenen Zeiten gefördert wurden. Unter der Proben-Nr. 7 werden zwei verschiedene Rossberg-Proben geführt, welche aus unterschiedlichen Abbauniveaus stammen. Petrographisch lässt sich kein Unterschied zwischen beiden Proben feststellen. Ebenso sind die K- und Ar-Werte übereinstimmend. Die Proben 41a und b (Bohrung Olm-1) wurden mit dem Handmagneten voneinander abgetrennt. Wie die unterschiedlichen K-Gehalte von 1,52 % und 0,975 % zeigen, sind durch die Trennung zwei deutliche verschiedene Mineralseparate entstanden. Für das niedrigere Alter ergebnis (51 ± 3 Ma) der K-reicherem Probe (Nr. 41a) machen wir die Tatsache verantwortlich, dass das von Erzmikrolithen durchsetzte K-reiche Grundmasse-Glas sich in der dunkleren, magnetischeren Fraktion angereichert hat und durch seine Argonverluste den Alterswert reduziert. Den Wert von 58 ± 3 Ma betrachten wir als das wahrscheinlichere Alter für die Intrusion des Lagerganges. Am Gesamtstein von Bohrung Olm-1 wurde von LEUTWEIN und ZIMMERMANN (zit. in NEGENDANK 1969) ein Alter von 58 ± 8 Ma ermittelt; dieses stimmt innerhalb der Fehlergrenzen mit den von uns gemessenen Altern überein.

Schlussfolgerungen

Im Gebiet des Oberrheingrabens findet sich altertiärer, alkalibasaltischer Vulkanismus in den südlichen, mittleren und nördlichen Randgebirgen; einige Alterswerte belegen einen noch kretazischen Vulkanismus, da nach Übereinkunft die Wende Kreide – Tertiär bei 65 Ma (HARLAND et al. 1964) liegt. Im Zusammenhang mit diesen Altern sind die Auffassungen von GOGUEL (1957), SCHWARZBACH (1961) und TRUNKO (1970) zu erwähnen, «dass man mit Interferenzen zwischen dem orogenen Geschehen [Alpenfaltung] und taphrogenen Zerrungszonen [Rheingraben]» (TRUNKO) zu rechnen habe. Durch die Arbeiten von SCHMIDT et al. (1967), MILLER et al. (1967), LAMBERT (1970) und JÄGER (persönl. Mitt. 1970) wurde eine frühalpine Phase in den Ost- und Westalpen erkannt, die sich zu etwa 80 Ma datieren lässt. Diese Zeit entspricht ungefähr dem Einsetzen des Vulkanismus in unserem Gebiet.

Das Maximum des Vulkanismus im Rheingraben, gemessen an der Häufigkeit der Vorkommen, lag in der Zeit des Mittleren und Oberen Eozäns. Siehe dazu auch das Histogramm der Alterswerte (Fig. 4). Der Schwerpunkt des Vulkanismus verlagerte sich dabei vom Südabschnitt des Grabens nach Norden in den kristallinen Odenwald und den Sprenzlinger Horst. Im Odenwald haben entlang einer NE streichenden Zone («Otzbergzone») einige wenige Basalte ein oberoligozänes/untermiozänes Alter. Der dem Bereich des Vogelsberges angehörige tholeiitische Trappbasalt wurde während des Mittleren und/oder Oberen Miozäns gefördert. Die Förderungen im Kaiserstuhl beginnen im Untermiozän und reichen bis in das Obermiozän (LIPPOLT et al. 1963). Die jüngsten vulkanischen Ereignisse im Gebiet des Oberrheingrabens dürften während des Unterpliozän im Hegau stattgefunden haben (LIPPOLT et al. 1963).

Ein Zusammenhang zwischen dem Alter eines Gesteins und seinem Chemismus besteht wahrscheinlich insofern, als zuerst olivin-nephelinitische und trachytische Magmen gefördert wurden. Dann folgten tholeiitische, phonolithische und melilithankaratritische Magmen.

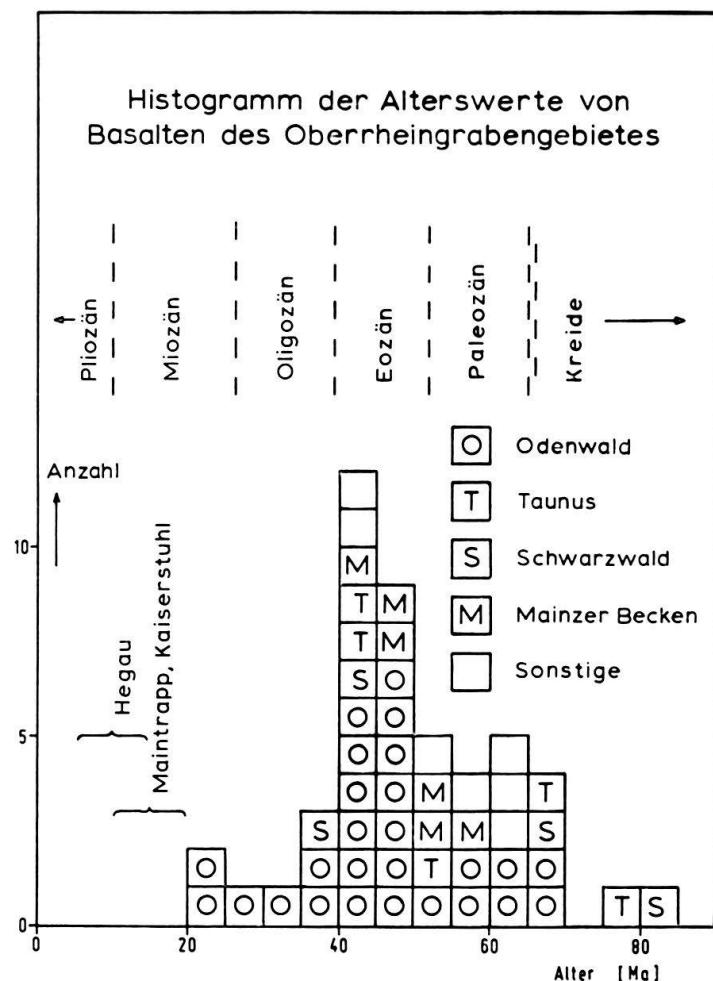


Fig. 4. Altersverteilung der datierten Basalte.

Die Tektonik, die das Aufdringen der Basalte initiierte, setzte in der Oberkreide (80–70 Ma) ein. Da die Sedimentation erst ab dem Mittleren Eozän (Unteres Lutet; TOBIEN 1969) belegt ist, setzte sie also rund 20 Ma später ein. Räumlich häufen sich die Vulkanite am Ostrand des nördlichen Grabenteils; zeitlich liegt das Maximum des Vulkanismus im Mittleren und Oberen Eozän. Aber erst ab dem Miozän erreichen die Sedimente ihre grösste Mächtigkeit, d. h. wieder etwa 20 Ma später.

Erwähnenswert ist, dass die Vulkanite des Oberrheingrabens, die während des Miozäns oder später gefördert wurden, ausnahmslos an Kreuzungspunkten der Grabenstörungen mit anderen markanten Störungszonen liegen. So laufen im Gebiet des Vogelsberges der Rheingraben und die Störungszonen zusammen, welche die Hessische Senke im Süden begrenzen. Der Kaiserstuhl liegt an der Kreuzung des Bonndorfer Grabensystems mit den östlichen Randstörungen des Oberrheingrabens. Auch die jungtertiären Hegau-Vulkanite, die wegen ihrer Entfernung vom Ostrand des Grabens (etwa 70 km) nicht mehr zum eigentlichen Graben gerechnet werden, sind in einem Gebiet aufgedrungen, in dem sich das Bonndorfer Grabensystem mit einer etwa N–S verlaufenden Störungszone schneidet. MURAWSKI (1951) hat für den Leinetalgraben gezeigt, dass dort der basaltische Vulkanismus an den Beginn der tertiären Grossentwicklung zu setzen ist; und zwar trat er dann auf, als sich präexistierende

Brüche durch neu einsetzende Bewegungen im tieferen Stockwerk öffneten. Diesem Geschehen in der Tiefe folgte das obere Stockwerk mit Verzögerung (siehe auch RÜGER 1932). Aus der Verbreitung der Basalte des Leinetalgrabens schliesst MURAWSKI (1951, S. 116). «Es scheint so, als ob diese Abbiegungszone im Gegensatz zu den Zonen mit scharf markierten steileren Brüchen für den Aufstieg vulkanischen Materials günstige Bedingungen bot.»

Ähnlich könnten die Verhältnisse auch im Gebiet des Rheingrabens sein. Dort sitzen die Basaltvorkommen mit Ausnahme des Kaiserstuhls mehrere Kilometer vom eigentlichen Grabenrand entfernt in den spröden Randgebirgen auf, die durch die Relativbewegungen des Grabeninneren verspannt und von zahlreichen kleineren Störungen durchzogen sind. MURAWSKI prägte dafür den Begriff «Scharniervulkanismus». Nach den vorliegenden Altersbestimmungen trat der Vulkanismus im Oberrheingrabengebiet zu einer Zeit auf, zu der tiefreichende Spalten geöffnet wurden. Die Oberfläche senkte sich dabei allmählich ab. Beim Einsetzen ausgeprägter Bruchtektonik erlosch der Vulkanismus, weil die Förderspalten dabei zugeschmiert wurden. Es ist anzunehmen, dass auch in anderen kontinentalen Grossgräben ähnliche Beziehungen zwischen Vulkanismus und Taphrogenese anzutreffen sind.

Aus einigen der hier besprochenen Basalte ist es möglich, für die K-Ar-Datierung geeignete Minerale abzutrennen und zu datieren. Die Ergebnisse werden in einem zweiten Teil publiziert. Weiter ist geplant, Basalte aus den nördlichen und südlichen Abschnitten der Mittelmeer-Mjösen-Zone zu datieren, um Aufschluss über die zeitliche Entwicklung dieses grossen Grabensystems insgesamt zu erhalten.

Anerkennung

Wir danken den Herren Dr. Brewer, cand. geol. v. Drach und Prof. Dr. W. Simon für kritisches Lesen des Manuskriptes. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft unterstützte die Arbeit mit einer Sachbeihilfe.

LITERATURVERZEICHNIS

- AHORNER, L. (1962): *Das Erdbeben im Saar-Nahe-Becken vom 17. August 1960*. Sonderveröff. Geol. Inst. Univ. Köln 7, 1–24.
- AMARAL, G., CORDANI, U.G., KAWASHITA, K., und REYNOLDS, J.H. (1966): *Potassium-Argon Dates of Basaltic Rocks from Southern Brazil*. Geochim. Cosmochim. Acta 30, 159–189.
- ANDRES, J., und SCHAD, A. (1959): *Seismische Kartierung von Bruchzonen im mittleren und nördlichen Teil des Oberrheintalgrabens und deren Bedeutung für die Ölansammlung*. Erdöl und Kohle 12, 323–334.
- ARMSTRONG, R.L. (1966): *K-Ar Dating of Plutonic and Volcanic Rocks in Orogenic Belts*. 117–131, in SCHAEFFER, O.A., und ZÄHRINGER, J., eds., Potassium-Argon Dating, New York, Springer-Verlag.
- COOPER, J.A. (1963): *The Flame Photometric Determination of Potassium in Geological Materials Used for Potassium-Argon Dating*. Geochim. Cosmochim. Acta 27, 525–546.
- COX, A., HOPKINS, D.M., und DALRYMPLE, G.B. (1966): *Geomagnetic Polarity Epochs, Pribilof Islands, Alaska*. Bull. Geol. Soc. Amer. 77/9, 883–910.
- CURTIS, G.H. (1966): *The Problem of Contamination in Obtaining Accurate Dates of Young Geologic Rocks*. 151–162, in SCHAEFFER, O.A., und ZÄHRINGER, J., eds., Potassium-Argon Dating, New York, Springer-Verlag
- DALRYMPLE, G.B. (1964): *Argon Retention in a Granitic Xenolith from a Pleistocene Basalt, Sierra Nevada, California*. Nature 201, 282.
- DALRYMPLE, G.B., COX, A., und DOELL, R.R. (1965): *Potassium-Argon Age and Paleomagnetism of the Bishop Tuff, California*. Geol. Soc. America Bull. 76, 665–674.

- DALRYMPLE, G. B., und LANPHERE, M. A. (1970): *Potassium-Argon-Dating*. Verlag W. H. Freeman und Co., San Francisco.
- DOEBL, F. (1964): *Ein Beitrag zur Frage der Altersstellung des Basaltes von Hillesheim (Rheinhessen)*. Oberrhein. geol. Abh. 13, 123–129.
- EHRENCHEM, K. H. (1968): *Erl. z. geol. Karte Hessen 1:25000*, Bl. 5913 Presberg, 72–78.
- ENGELHARDT, W. VON (1965): *Neuere Untersuchungen über den Hegau-Vulkanismus*. Jber. u. Mitt. oberrh. geol. Ver. N. F. 47, 139–152 (Stuttgart).
- ENGELHARDT, W. VON, und WEISKIRCHNER, W. (1963): *Einführung zu den Exkursionen der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft; Exkursion in den Hegau am 16. und 17. Sept. 1961*. Fortschr. Miner. 40, 5–28.
- ERICKSON, G. P., und KULP, J. L. (1961): *Potassium-Argon Dates on Basaltic Rocks*. Ann. New York Acad. Sci. 91, 321–323.
- EVERNDEN, J. F., CURTIS, G. H., und KISTLER, R. W. (1957): *Potassium-Argon Dating of Pleistocene Volcanics*. Quarternaria IV, 1–5.
- EVERNDEN, J. F., SAVAGE, D. E., CURTIS, G. H., und JAMES, G. T. (1964): *Potassium-Argon Dates and the Cenozoic Mammalian Chronology of North America*. Amer. J. Sci. 262, 145–198.
- FLEISCHER, M. (1969): *U.S. Geological Survey Standards I. Additional data on rocks G-1, and W-1, 1965–1967*. Geochim. Cosmochim. Acta 33, 81–120.
- FRENZEL, G. (1955): *Einführung in die Geologie und Petrographie des Katzenbuckels im Odenwald*. Der Aufschluss, Sonderh. 2, 48–56.
- GOGUEL, J. (1957): *Gravimétrie et fossé rhénan*. Verh. Nederl. Geol. Mijnbouwk. Genootsch., Geol. ser. 18, 125–147.
- HARLAND, W. B., SMITH, A. G., und WILCOCK, B., Hrsg. (1964): *The Phanerozoic Time-scale*. Quarterly Jour. Geol. Soc. London 120S, 458 S.
- HENGLEIN, M. (1924): *Erz- und Minerallagerstätten des Schwarzwaldes*. 23–141 (Stuttgart).
- HORN, P., LIPPOLT, H. J., und TODT, W. (1969): *Alttertiäre Vulkanite im Oberrheingraben*. Vorgetragen beim Paneth-Kolloquium, Heidelberg, 5.–6. Mai.
- (in Vorbereitung): *K-Ar-Altersbestimmungen an Grundgebirgseinschlüssen in Basalten*.
- ILLIES, H. (1965): *Bauplan und Baugeschichte des Oberrheingrabens, ein Beitrag zum «Upper Mantle Project»*. Oberrhein. geol. Abh. 14, 1–54.
- (1963): *Der Westrand des Rheingrabens zwischen Edenkoben (Pfalz) und Niederbronn (Elsass)*. Oberrhein. geol. Abh. 12, 1–23.
- KINKELIN, F. (1909): *Vorgeschichte vom Untergrund und von der Lebenswelt des Frankfurter Stadtgebietes*. Eine geologische Skizze. Verlag D. Rosenheim, Frankfurt, 52–53.
- KIRSTEN, T., und LIPPOLT, H. J. (1965): unveröffentlichte Laborarbeit.
- KLEMM, G. (1938): *Erl. z. geol. Karte Hessen 1:25000*, Bl. Rossdorf (Darmstadt-Ost). 3. Aufl., Darmstadt 81 S.
- KLÜPFEL, W. (1930): *Die Burdigal-Helvet-Transgression im Rheintalgraben zwischen Basel und Giessen*. Geol. Rdsch. 21, 163–174.
- LAMBERT, R. St.: *A Potassium-Argon Study of the Margin of the Tauernfenster at Döllach, Austria*. Eclogae geol. Helv. 63/1, 197–205.
- LANPHERE, M. A., und DALRYMPLE, G. B. (1965): *P-207 – an Interlaboratory Standard Muscovite for Argon and Potassium Analysis*. J. Geophys. Res. 70, 3497–3503.
- (1967): *K-Ar und Rb-Sr Measurements on P-207, U.S.G.S. Interlaboratory Standard Muscovite*. Geochim. et Cosmochim. Acta 31, 1091–1094.
- LEPSIUS, G. R. (1887–1892): *Geologie von Deutschland und den angrenzenden Gebieten. 1. Teil*. (Stuttgart) 739 S.
- LIPPOLT, H. J., GENTNER, W., und WIMMENAUER, W. (1963): *Altersbestimmungen nach der Kalium-Argon-Methode an tertiären Eruptivgesteinen Südwestdeutschlands*. Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg 6, 507–538.
- MCDougall, I., ALLSOOPP, H. L., und CHAMALAUN, F. H. (1966): *Isotopic Dating of the Newer Volcanics of Victoria, Australia, and Geomagnetic Polarity Epochs*. J. Geophys. Res. 71, 6107–6118.
- MEIBURG, P. (1969): *Die Wartburger Störungszone*. Diss. Univ. Münster, 169 S.
- MILLER, D. S., JÄGER, E., und SCHMIDT, K. (1967): *Rb-Sr-Altersbestimmungen an Biotiten der Raibler Schichten des Brenner-Mesozoikums und am Muskovitgranitgneis von Vent (Ötztaler Alpen)*. Eclogae geol. Helv. 60, 537–541.

- MURAWSKI, H. (1939): *Die Blasenzüge des Steinheim-Dietesheimer Basaltvorkommens*. Geol. Rdsch. 30, 659–664.
- (1951): *Zusammenhänge zwischen Basaltvulkanismus und Tektonik in Niedersachsen*. Geol. Rdsch. 39, 114–119.
- NEGENDANK, J. (1969): *Beschreibung einiger tertiärer Alkali-Basalte im nördlichen Oberrheingraben*. Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch. 97, 283–295.
- NÖRING, F. (1955): *Diskussionsbemerkung zu TOBIEN, H.: Eine miozäne Säugerfauna aus vulkanischen Tuffen des Vogelsberges*. Z. deutsch. geol. Ges. 105, (Jahrg. 1953), 588.
- REIS, O. M. (1910): *Geologischer Spaziergang von Dürkheim nach der Limburg und zurück nach Seebach*. Ber. Vers. Oberrhein. geol. Ver. 43, 13–19.
- RÜGER, L. (1932): *Hundert Jahre geologischer Forschung am Rheintalgraben*. Bad. geol. Abh. 4, 81–114.
- (1933): *Paläomorphologische Probleme aus dem Odenwald und das Alter der Katzenbuckelerup- tion*. Zbl. Miner. etc., Abt B., 542–552.
- SCHENK, E. (1968): *Die Fortsetzung des Rheingrabens in Hessen*. Kolloquium der Internationalen Rheingraben-Forschungsgruppe im «Upper Mantle Projekt» vom 10. bis 12. Okt., Karlsruhe.
- SCHILL, I. (1857): *Der Basaltgang im Granit des Hausteins im Schwarzwalde*. N. Jb. Min., 36–39.
- SCHMEER, D. (1968): *Erläuterungen z. Geol. Karte von Bayern 1:25000, Bl. Nr. 5920 Alzenau i. Ufr.*, 123–142.
- SCHMIDT, K., JÄGER, E., GRÜNENFELDER, M., und GRÖGLER, N. (1967): *Rb-Sr- und U-Pb-Altersbe- stimmungen an Proben des Ötzalkristallins und des Schneeberger Zuges*. Eclogae geol. Helv. 60, 529–536.
- SCHNEIDERHÖHN, H. (1941): *Lehrbuch der Erzlagerstättenkunde. 1. Band*. 858 S. Verlag W. Fischer, Jena.
- SCHOTTLER, W. (1937): *Der Vogelsberg*. Notizbl. Hess. Geol. Landesanstalt zu Darmstadt, V. Folge, 18, 3–86.
- SCHWARZBACH, M. (1961): *Eine Karte des quartären und tertiären Vulkanismus in Europa*. Eiszeitalter und Gegenwart 12, 5–8.
- STELLRECHT, R. (1964): *Der tertiäre Vulkanismus bei Forst am Pfälzer Rand des Oberrheingrabens*. Jber. u. Mitt. oberrh. geol. Ver. NF. 46, 97–128.
- THEOBALD, N. (1950): *Etude tectonique du Horst de Mulhouse*. Bull. Soc. géol. France, 5. sér. XX, 407–419.
- TOBIEN, H. (1958): *Das Alter der Eruptionen am Limberg (Kaiserstuhl)*. Z. deutsch. geol. Ges. 110, 4–5.
- (1969): *Die alttertiäre (mitteleozäne) Fossilfundstätte Messel bei Darmstadt (Hessen)*. Mz. Naturw. Arch. 8, 149–180.
- TRUNKO, L. (1970): *Rheingraben, Karpatenbecken und die Interferenz von Orogenese und Taphrogenese*. Oberrhein. geol. Abh. 19, 61–71.
- WAGNER, W. (1947): *Miozänes Steinsalz im Hessischen Rheintalgraben*. Wiss. Veröffentl. T.-H. Darmstadt 1/3, 93–96.
- (1953): *Das Gebiet des Rheintalgrabens während des Mesozoikums und zu Beginn seiner tertiären Ablagerungen*. Notizbl. hess. Landesamt Bodenforsch. 81, 164–194.
- WEBB, A. W., und McDougall, I. (1967): *A Comparison of Mineral and Wholerock Potassium-Argon Ages of Tertiary Volcanics from Central Queensland, Australia*. Earth Planet. Sci. Letters 3, 41–47.
- WEINELT, W., SCHMEER, D., und WILD, A. (1965): *Durchbrüche jungtertiärer Vulkanite im westlichen kristallinen Vorpessart*. Geol. Bavarica, 55, 317–340.
- WENZ, W. (1933): *Zur Stratigraphie und Tektonik der jüngeren Ablagerungen des Mainzer Beckens*. Senckenbergiana 15, 250 S.
- WIMMENAUER, W. (1952): *Petrographische Untersuchungen an einigen basischen Eruptivgesteinen des Oberrheingebietes*. N. Jb. Mineral., Abh. 83, 375–432.
- (1963): *Die Bedeutung der Olivinnepheline und Melilithkaratrite im tertiären Vulkanismus Mitteleuropas*. N. Jb. Miner. Mh. 9/10, 278–282.
- WIRTH, E. (1954): *Grundlagen und Aussichten der Erdölsuche im Rheintalgraben*. Z. deutsch. geol. Ges. 105, 32–46.
- WITTMANN, O. (1952): *Erläuterungen zum Blatt Lörrach und Blatt Weil der geologischen Spezialkarte von Baden*. Freiburg i. Br., 22 S.