Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

Band: 55 (1975)

Heft: 1

Artikel: Radioaktive Wärmeproduktion in Gesteinen der Ivrea-Zone

Autor: Höhndorf, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-43067

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: 13.07.2025

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

Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 55, 89–102, 1975

Radioaktive Wärmeproduktion in Gesteinen der Ivrea-Zone

Von *A. Höhndorf* (Hannover)*)

Mit 3 Figuren und 2 Tabellen im Text

Abstract

For the calculation of the temperature field in the earth crust surface heat flow data and the distribution of sources of heat generation are necessary. The main source of heat generation is the radioactive heat production of uranium, thorium, and potassium.

The heat production of samples from representative rock-units of the Ivrea-zone was determined by γ-ray spectrometric measurement of the concentration of the three natural radioactive elements. The following average heat production rates were found: granite $\approx$ 7 HGU ($= 10^{-13}$ cal cm^{-3} s^{-1}), kinzigite $\approx$ 6 HGU, gneiss (Serie dei laghi) $\approx$ 5 HGU, gabbro, amphibolite $\approx$ 0.8 HGU, ultrabasic rocks $<$ 0.1 HGU.

1. EINLEITUNG

Bei der Erforschung der Krustenstruktur kommt der Bestimmung des Temperaturfeldes eine entscheidende Rolle zu, da wegen der Druck- und Temperaturabhängigkeit der meisten gesteinsphysikalischen Parameter die Temperatur die geodynamischen Prozesse wesentlich beeinflusst. Aber selbst für die Erdkruste ist bis heute die Temperaturverteilung nur recht ungenau bekannt. Das hat seinen Grund einerseits in der Tatsache, dass die für grössere Tiefen bekannten Grössen, wie Schubmodul, Druck und Dichte nur lose mit der Temperatur verknüpft sind und daher aus ihrem Verhalten keine eindeutigen Schlüsse auf den Temperaturverlauf gezogen werden können, und andererseits darin, dass die für die Berechnung des Temperaturfeldes notwendigen thermischen Parameter z. T. nur schlecht bekannt sind.

Der Wärmetransport geschieht im festen Erdkörper im wesentlichen durch die Wärmeleitung. Das Temperaturfeld lässt sich daher aus der Wärmeleitungsgleichung berechnen:

---

*) Dr. A. Höhndorf, Bundesanstalt für Bodenforschung D-3 Hannover, Stilleweg 2.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{\rho c}(-\operatorname{div} q + A)$$

mit

$$q = -\lambda \operatorname{grad} T.$$

Hierin bedeuten:

T = Temperatur
t = Zeit
ρ = Dichte
c = spezifische Wärme
λ = Wärmeleitfähigkeit
A = Wärmeproduktion
q = Wärmestrom

Für die Lösung der Differentialgleichung sind die Oberflächenwerte für Temperatur T (z = 0) und Wärmestrom q (z = 0) sowie die räumliche Verteilung der Wärmequellen A (x, y, z) und der Wärmeleitfähigkeit λ (x, y, z) erforderlich.

Die Oberflächenwerte von T und q sind direkt messbar, und speziell für den Wärmestrom sind in den letzten Jahren eine Anzahl von Messungen veröffentlicht worden (Hänel, 1974).

Wesentlich weniger leicht zugänglich sind die räumliche Verteilung von A und λ. Da für beide Grössen auch nur Werte nahe der Oberfläche gemessen werden können, ist man auf Modellvorstellungen für eine Extrapolation in die Tiefe angewiesen.

Im Rahmen des internationalen Projekts «Oberer Erdmantel» wurden in der Ivrea-Zone eine Vielzahl von geologischen und geophysikalischen Untersuchungen durchgeführt, die zu Strukturmodellen der Kruste in diesem Bereich führten (Giese, 1968, Berckhemer, 1968).

Im wesentlichen offen blieb jedoch die Frage des Temperaturfeldes, dessen Kenntnis zur Deutung der unter dem Ivrea-Körper gefundenen Zone der Geschwindigkeitsinversion der seismischen Wellen wertvolle Beiträge liefern könnte. Es war daher wünschenswert, die für die Berechnung des Temperaturfeldes notwendigen Parameter zu bestimmen. Da insbesondere keine Daten für die Wärmeproduktion der Gesteine der Ivrea-Zone bekannt waren, wurde mit dieser Arbeit versucht, diese Lücke zu schliessen.

In jüngster Zeit sind Werte für die Wärmeproduktion von Gesteinen der Schweizer Alpen veröffentlicht worden (Rybach, 1973), die eine wertvolle Ergänzung für die hier gefundenen Werte sind.

2. PROBENMATERIAL

Es wurde bei der Probennahme versucht, von den Hauptgesteinstypen der Ivrea-Zone repräsentative Proben zu sammeln.

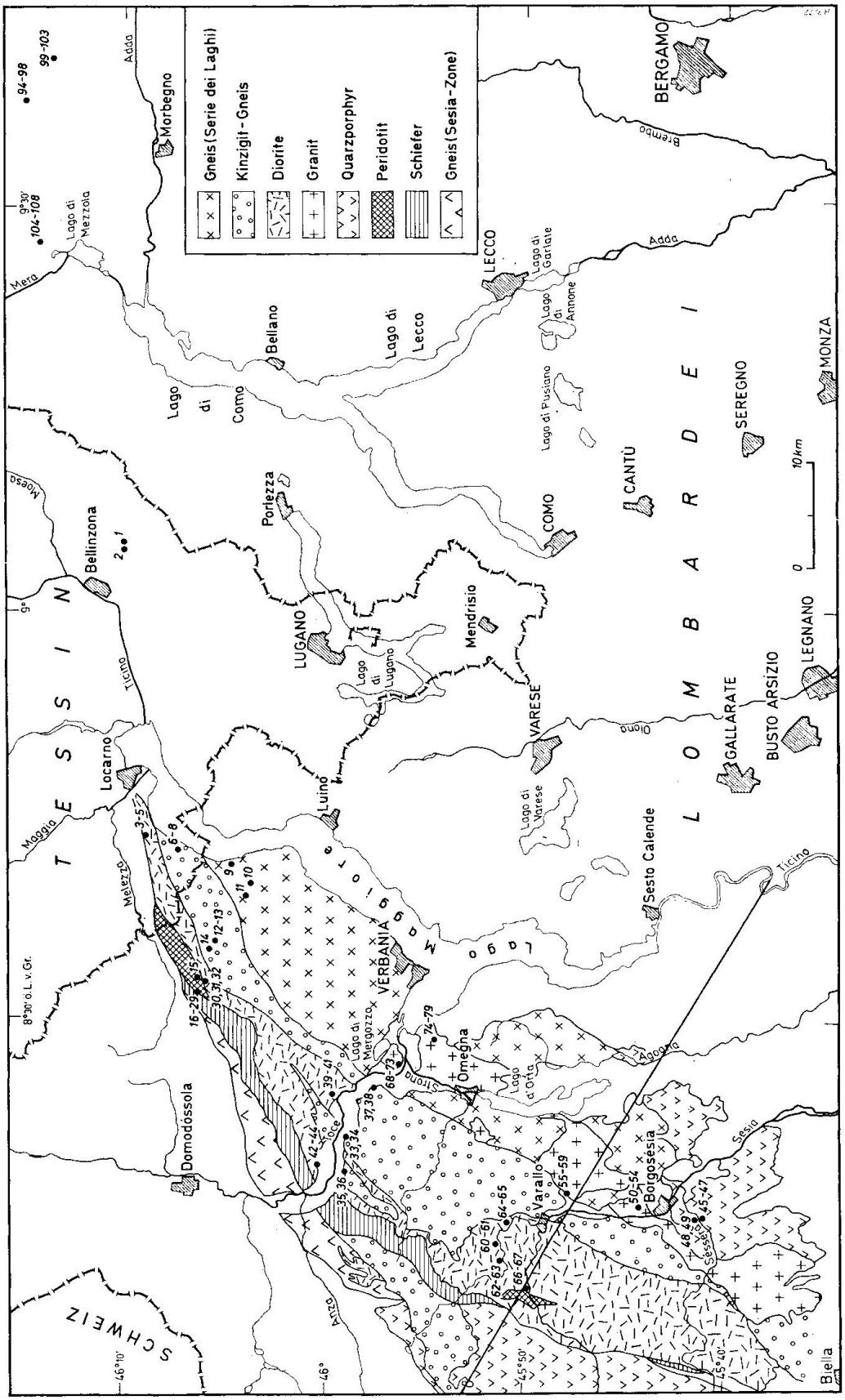

Fig. 1. Geologische Übersicht des Untersuchungsgebietes und Lage der Probenpunkte (vereinfacht nach F. Hermann, 1937).

Die Entnahmepunkte sind mit den Probennummern in der geologischen Übersichtsskizze Fig. 1 eingetragen. Im Anhang sind die petrographischen Beschreibungen und die genauen Lokalitäten zusammengestellt. In die Untersuchungen eingeschlossen wurden einige Proben aus dem Bergell-Massiv.

Von jeder Probe wurden ca. 5 kg Material gesammelt, von dem etwa 2–3 kg für die Wärmeproduktionsmessungen auf eine Korngrösse < 0,3 mm gemahlen wurden.

3. EXPERIMENTELLES

3.1. DURCHFÜHRUNG DER MESSUNGEN

Die Hauptquelle der Wärmeproduktion ist die beim radioaktiven Zerfall der natürlichen Radioelemente Kalium, Uran und Thorium frei werdende Wärme. Da die Wärmetönungen der drei Radioelemente bekannt sind (Birch, 1954; Rybach, 1973), genügt es, zur Bestimmung der Wärmeproduktion die Konzentration dieser Elemente zu messen.

Als Messmethode wurde die für solche Untersuchungen sehr gut geeignete γ-Spektrometrie mit einem 3″ ⌀ × 3″-Na J (Tl)-Kristall als Szintillationsdetektor gewählt (Höhndorf, 1973). Bei dieser Messmethode werden anstelle von Uran und Thorium tatsächlich die radioaktiven Folgeprodukte ^{214}Bi und ^{208}Tl bestimmt, deren Aktivität nur dann der des Mutterisotops entspricht, wenn die radioaktiven Zerfallsreihen im Gleichgewicht sind, was für unverwitterte Gesteine im allgemeinen erfüllt ist.

Der Detektor mit seiner Bleiabschirmung war in einer temperaturstabilisierten Klimakammer (± 0,5° C) untergebracht, um die Stabilität der Verstärkung des Photomultipliers zu gewährleisten.

Das gemahlene Probenmaterial wurde in Ringschalen von 1,4 l Inhalt stets bis zur gleichen Höhe eingefüllt, die dann zur Messung auf den Detektor aufgesetzt wurden. Damit war für alle Proben die gleiche Zählgeometrie gegeben.

Die gemessenen Impulshöhenspektren wurden für die Datenverarbeitung mit einem PDP-15-Rechner auf Lochstreifen ausgegeben. Zur Berechnung der Konzentration der drei Radioelemente wurden die gemessenen Spektren durch eine Linearkombination der Einzelspektren der drei Elemente nach der Methode der kleinsten Quadrate angeglichen (Höhndorf, 1973).

Die Nachweisgrenze des Messverfahrens für die quantitative Bestimmung der drei Radioelemente liegt für die vorliegende Anordnung unter realistischen Zählbedingungen (Zählzeit ≦ 1000 min.) bei 0,1 % K, 0,1 ppm U und 0,1 ppm Th. Die relative Genauigkeit der Konzentrationsangaben wurde für Proben bekannter Zusammensetzung zu ± 5 % bestimmt. Wie aus den nachfolgenden Ergebnissen erkennbar ist, genügt die Empfindlichkeit für die Analyse basischer und saurer Gesteine.

Bei den ultrabasischen Gesteinen liess sich dagegen wegen ihrer sehr schwachen Aktivität die Analyse der Spektren nicht mehr durchführen. Für diese Proben wurde aus der integralen Nettozählrate unter der Annahme konstanter Gewichtsverhältnisse der Radioelemente $K/U = 10^4$ und $Th/U = 3{,}7$ (WASSERBURG, 1964) ein Näherungswert für die Wärmeproduktion berechnet, der sicherlich in der richtigen Grössenordnung liegt, da für magmatische Gesteine die Th/U- und K/U-Verhältnisse nur in engen Grenzen variieren (CLARK et al., 1966). (Wählt man statt der oben genannten Verhältnisse $K/U = 0{,}3 \cdot 10^4$ und $Th/U = 3$, ergeben sich um 15% grössere Werte für die Wärmeproduktion).

Für die Berechnung der Wärmeproduktion aus den Konzentrationen der Radioelemente wurden die von BIRCH (1954) angegebenen Konstanten benutzt:

Uran (nat.)	$2{,}32 \cdot 10^{-8}$ cal g^{-1} s^{-1}
Thorium	$0{,}64 \cdot 10^{-8}$ cal g^{-1} s^{-1}
Kalium	$0{,}86 \cdot 10^{-12}$ cal g^{-1} s^{-1}

3.2. DICHTEBESTIMMUNG

Bei dem angewandten Messverfahren erhält man primär die Wärmeproduktion bezogen auf das Gewicht der Probe. Um daraus die für Modellrechnungen interessierenden auf das Volumen bezogenen Wärmeproduktionswerte zu erhalten, muss die Dichte des Probenmaterials bekannt sein. Die Dichte wurde an kleinen Probestückchen von 10–20 cm^3 aus der Masse und dem Auftrieb im Wasser bestimmt. Der Fehler, bedingt durch die Ablesegenauigkeit bei der Auftriebsbestimmung, liegt bei $\pm 0{,}02$ g cm^{-3}.

4. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der Messungen sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengestellt. In Tab. 1 sind die sauren und basischen Gesteine entsprechend der geologischen Unterteilung nach F. HERMANN (1937) geordnet. In Fig. 2 sind die Daten zusätzlich in einem Histogramm dargestellt, das eine Übersicht über die Variationsbreite der Wärmeproduktionsdaten für die verschiedenen Gesteinstypen vermittelt. Auch an den hier untersuchten Proben zeigt sich die bereits von RYBACH (1973) festgestellte beträchtliche Variation der Wärmeproduktionswerte selbst innerhalb einer Gesteinsgruppe. Die Ursache hierfür ist, dass die Wärmeproduktion im wesentlichen durch die Konzentrationen der Spurenelemente Uran und Thorium bestimmt ist, die ihrerseits erheblichen Schwankungen unterworfen sind.

Die Ergebnisse für die ultrabasischen Gesteine stehen in Tab. 2 und sind in dem Histogramm in Fig. 3 dargestellt. Die Wärmeproduktion dieser Gesteine

Tabelle 1. *Analysenergebnisse und Wärmeproduktionsraten der untersuchten Gesteine (1 HGU = 10^{-13} cal·cm^{-3}·s^{-1})*

Probe Nr.	Ortsbezeichnung	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	ρ (g·cm^{-3})	A (HGU)
Granite						
50	Borgosesia	4,7	2,8	16,1	2,64	5,39
51	Borgosesia	2,2	2,0	1,6	2,76	2,09
52	Borgosesia	2,2	3,7	15,7	2,81	5,62
53	Borgosesia	1,8	2,2	14,1	2,72	4,16
54	Borgosesia	5,3	3,8	28,9	2,73	8,52
55	Varallo	5,1	4,5	13,4	2,66	6,09
56	Varallo	5,5	3,2	15,6	2,66	5,77
57	Varallo	4,9	3,3	17,7	2,67	5,95
58	Varallo	5,0	4,1	19,7	2,69	6,94
59	Varallo	4,6	7,4	14,4	2,69	7,96
68	Monte Orfano	4,3	3,5	18,7	2,64	6,15
69	Monte Orfano	4,4	4,8	20,5	2,65	7,26
70	Monte Orfano	4,3	4,9	19,7	2,63	7,10
71	Monte Orfano	4,2	4,6	19,2	2,64	6,86
72	Monte Orfano	4,3	5,6	17,7	2,66	7,26
73	Monte Orfano	4,3	5,3	20,0	2,69	7,56
74	Gravellona	4,3	4,4	17,8	2,64	6,52
75	Gravellona	4,1	4,7	18,3	2,64	6,89
76	Gravellona	4,1	5,7	22,3	2,59	7,85
77	Gravellona	4,1	4,9	18,9	2,62	7,07
78	Gravellona	4,4	4,9	21,0	2,65	7,39
79	Gravellona	4,2	4,7	19,2	2,64	6,92
Gneise						
94	Bergell	3,2	2,8	12,2	2,69	4,49
95	Bergell	3,0	2,9	11,9	2,71	4,47
96	Bergell	3,2	3,7	16,0	2,73	5,76
97	Bergell	3,1	2,7	12,8	2,73	4,56
98	Bergell	4,0	4,4	22,6	2,79	7,67
99	Bergell	2,4	4,5	11,1	2,85	5,44
100	Bergell	2,4	4,5	18,8	2,85	6,84
101	Bergell	2,2	4,2	6,4	2,86	4,38
102	Bergell	2,3	4,5	10,0	2,84	5,20
103	Bergell	2,2	3,8	9,8	2,81	4,66
104	Bergell	2,2	3,7	17,2	2,86	6,01
105	Bergell	2,1	3,8	12,2	2,84	5,11
106	Bergell	2,1	4,5	12,3	2,92	5,72
107	Bergell	2,1	3,4	14,5	2,86	5,29
108	Bergell	2,1	4,2	13,0	2,85	5,53
1	Valle Morobbia	3,6	1,8	5,0	2,59	2,72
2	Valle Morobbia	1,8	1,5	10,5	2,86	3,35
9	Cannobio	1,9	3,2	11,1	2,80	4,54
10	(Serie dei laghi)	2,5	3,5	13,7	2,72	5,17
11	(Serie dei laghi)	3,6	4,2	12,8	2,73	5,76
Kinzigite						
6	Brissago	2,8	2,9	13,1	2,79	4,88
7	Brissago	3,6	3,5	16,1	2,84	6,11
8	Brissago	3,2	3,4	14,4	2,87	5,68
12	Valle Cannobina	3,4	5,1	14,1	2,76	6,51
13	Valle Cannobina	2,9	4,4	13,2	2,83	6,00
14	Valle Cannobina	2,2	5,2	15,9	2,76	6,65
37	Ornavasso	3,4	5,0	14,4	2,79	6,61
38	Ornavasso	3,5	3,6	14,3	2,83	5,80

Probe Nr.	Ortsbezeichnung	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	ρ ($g \cdot cm^{-3}$)	A (HGU)
Schiefer						
25	Finero	4,3	2,9	6,7	2,62	3,85
28	Finero	4,8	6,0	9,8	2,66	6,44
29	Finero	4,4	3,0	9,0	2,65	4,37
Gabbro (Amphibolit)						
3	Ronco	0,44	0,58	1,7	3,06	0,86
4	Ronco	0,92	0,85	2,8	3,09	1,39
5	Ronco	0,88	0,76	3,3	3,15	1,45
39	Nibbio	0,42	0,22	0,28	3,12	0,34
40	Nibbio	1,54	0,23	0,03	3,12	0,56
41	Nibbio	0,78	0,28	0,14	3,05	0,43
60	Mastallone-Tal	0,18	0,17	0,36	3,06	0,24
61	Mastallone-Tal	0,13	0,14	0,37	3,09	0,21
62	Mastallone-Tal	0,35	0,11	0,32	2,82	0,21
63	Mastallone-Tal	0,24	0,14	0,09	3,01	0,16
64	Mastallone-Tal	4,7	0,98	0,98	2,80	1,93
65	Mastallone-Tal	4,2	0,78	1,17	2,84	1,76
Quarzporphyr						
45	Azoglio	4,2	3,6	17,2	2,60	5,98
46	Azoglio	0,8	3,7	15,4	2,64	5,04
47	Azoglio	3,7	10,0	16,7	2,64	9,79
48	Crevacuore	4,9	5,2	17,8	2,64	7,34

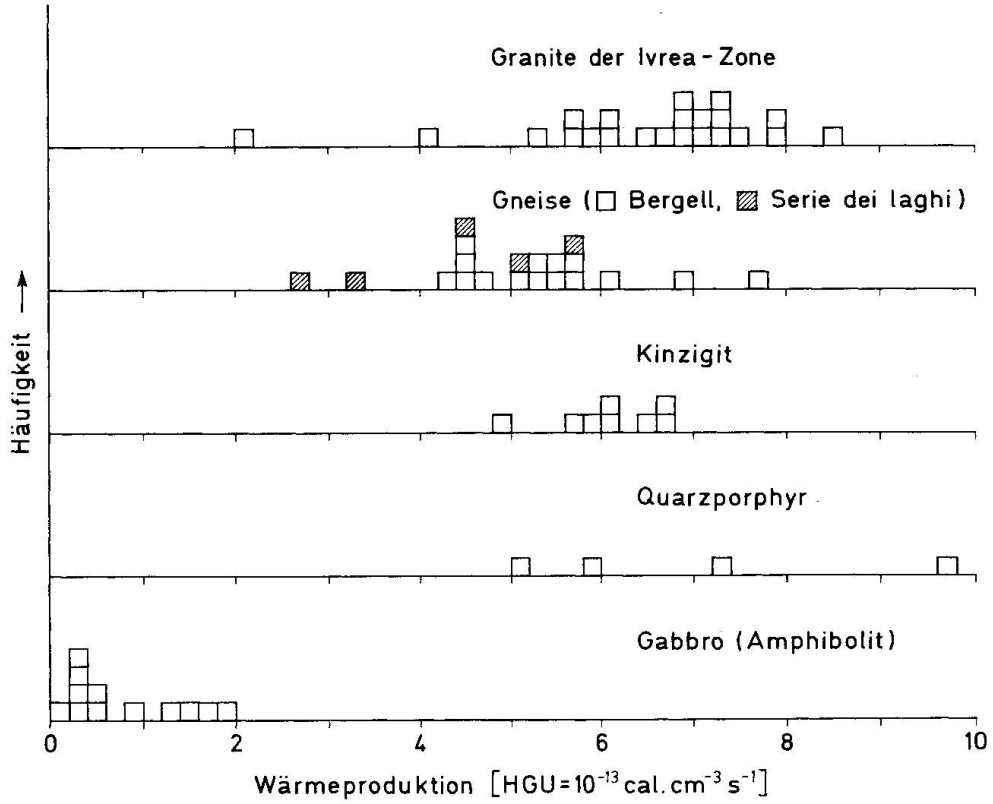

Fig. 2. Histogramm der Wärmeproduktionsraten der sauren und basischen Gesteine.

Tabelle 2. *Wärmeproduktionsraten der untersuchten ultrabasischen Gesteine, berechnet aus der integralen Nettozählrate mit $K/U = 10^4$ und $Th/U = 3{,}7$*

Probe Nr.	Ortsbezeichnung	ρ ($g \cdot cm^{-3}$)	A (HGU)
15	Finero (Creves)	3,03	0,036
15a	Finero (Creves)	3,03	0,22
15b	Finero (Creves)	3,05	0,077
16	Finero	3,35	0,042
17	Finero	3,31	0,015
18	Finero	3,23	0,032
19	Finero	3,25	0,042
20	Finero	3,29	0,075
21	Finero	3,32	0,030
22	Finero	3,23	0,039
23	Finero	3,15	0,040
24	Finero	3,07	0,11
26	Finero	3,08	0,066
27	Finero	2,94	0,096
30	Finero	3,21	0,036
33	Anzola	3,11	0,094
34	Anzola	3,07	0,054
35	Megolo	3,29	0,11
42	Premosello	2,95	0,092
43	Premosello	3,28	0,028
66	Bottorno	3,40	—
67	Bottorno	3,34	—

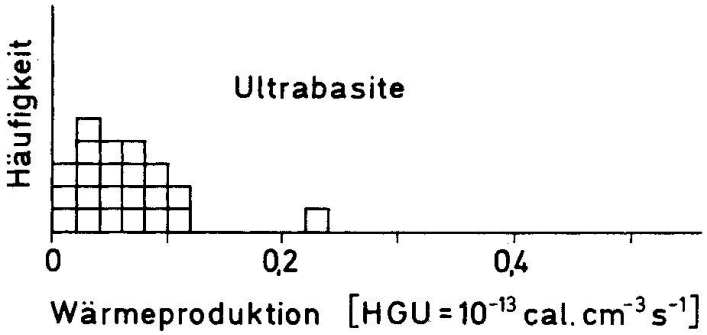

Fig. 3. Histogramm der Wärmeproduktionsraten der Ultrabasite.

ist um rund 2 Grössenordnungen geringer als die der sauren Gesteine, so dass ihr Beitrag zur Wärmeproduktion in der Kruste vernachlässigt werden kann.

Für die hier untersuchten Gesteinstypen ergeben sich die folgenden Mittelwerte für die Wärmeproduktion:

Granite (Quarzporphyr)	7 HGU
Kinzigit	6 HGU
Gneis (Serie dei laghi)	5 HGU
Gabbro (Diorit), Amphibolit	0,8 HGU
ultrabasische Gesteine	< 0,1 HGU

Die untersuchten Quarzporphyre zeigen einen sehr weiten Streubereich in den Wärmeproduktionswerten, so dass sich hierfür kein gesicherter Mittelwert

angeben lässt, jedoch deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die Wärmeproduktion des Quarzporphyrs etwa der des Granites entspricht. Eine Probe des Bozener Quarzporphyrs ergab mit 6,8 HGU gleichfalls eine dem Granit entsprechende Wärmeproduktion.

5. DISKUSSION

Die Mittelwerte der Wärmeproduktion für die Granite und Gneise aus dem Untersuchungsgebiet stimmen gut mit den Befunden an gleichartigen Gesteinen aus dem Alpenraum überein (RYBACH, 1973), so dass diese Werte für die Wärmeproduktion in der Oberkruste für geothermische Modellrechnungen verwendet werden können.

Allerdings bleibt das Problem der Tiefenabhängigkeit der Verteilung der Wärmequellen in den kristallinen Gesteinen noch offen, da alle Daten sich auf Proben von der Oberfläche beziehen.

Einen Hinweis auf die Wärmeproduktion in grösseren Tiefen von 30–40 km war von den in der Ivrea-Zone westlich des Lago Maggiore anstehenden Gesteinen zu erwarten, die nach geologischen und geophysikalischen Befunden den steil aufgerichteten Teil der Unterkruste darstellen sollen. Bemerkenswert sind hier die relativ hohen Wärmeproduktionsraten für die Kinzigite, die nach dieser Vorstellung in die Granulit-Fazies des untersten Teiles der sialischen Kruste eingeordnet werden sollten und normalerweise in Tiefen von 30–40 km lokalisiert sind (GIESE, 1968). In solchen Tiefen werden allgemein basische Gesteine mit wesentlich geringer Wärmeproduktion angenommen. In einer folgenden Arbeit sollen mit geothermischen Modellrechnungen für den Bereich des Ivrea-Körpers mit den Wärmestromdaten und den hier gefundenen Wärmeproduktionsraten mögliche Temperaturverteilungen berechnet werden, die insbesondere Abschätzungen für den Temperaturbereich in der Inversionsschicht unter dem Ivrea-Körper bringen sollen.

Danksagungen

Herrn Prof. Dr. H. Closs und Herrn Dr. I. Wendt schulde ich Dank für die Anregung zu diesen Untersuchungen.

Ebenfalls danken möchte ich Herrn Dipl.-Geol., Dipl.-Phys. J. Scheuch für seine Unterstützung bei der Probennahme und Herrn W. Grote für die Bearbeitung des Probenmaterials und die Durchführung der Messungen.

Frau Dipl.-Min. K. Kunz bin ich zu Dank verpflichtet für die petrographische Beschreibung der Proben.

Die Arbeit wurde mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziell unterstützt.

Literatur

BERCKHEMER, H.: Topographie des «Ivrea-Körpers» abgeleitet aus seismischen und gravimetrischen Daten. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 48, 1, S. 235–246, 1968.

BIRCH, F.: Heat from radioactivity. In: Nuclear Geology, Faul, H. ed., p. 148–174, Wiley & Sons, New York, 1954.

CLARK, S. P., PETERMAN, Z. E., HEIER, K. S.: Abundances of uranium, thorium and potassium. In: Handbook of Physical Constants, Clark, S. P., ed. Geol. Soc. Am. Memoir 97, Washington, 1966.

GIESE, P.: Die Struktur der Erdkruste im Bereich der Ivrea-Zone. Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 48, 1, S. 261–284, 1968.

HÄNEL, R.: Heat flow measurements in Northern Italy and heat flow maps of Europe. Z. f. Geophys., im Druck.

HERMANN, F.: Carta Geologica delle Alpi Nord-Occidentali 1 : 200 000, 1937.

HÖHNDORF, A.: Auswertung von γ-Spektren zur quantitativen Analyse von Uran, Thorium und Kalium in Gesteinen. Geol. Jb. E 1, S. 81–92, Hannover 1973.

RYBACH, L.: Wärmeproduktionsbestimmungen an Gesteinen der Schweizer Alpen. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechn. Ser. 51, Mitt. 82, Inst. Geoph. ETH Zürich, Bern 1973.

WASSERBURG, G. J., MAC DONALD, G. J. F., HOYLE, F., FOWLER, W. A.: Relative contributions of uranium, thorium and potassium to heat production in the Earth. Sciene, 143, p. 465–467, 1964.

Anhang

Petrographische Beschreibung und Lokalitäten der Proben. (Die Lokalität ist in Schweizer Koordinaten angegeben.)

Probe Nr.

1 Granodiorit-Quarz, Kalifeldspat, Plagioklas, Muskovit, Biotit, myrmekitisch, Plasterstruktur
Valle Morobbia, Paudo. 723.4/115.0

2 Hornblende-Epidot-Plagioklas-Gneis, leichte Paralleltextur der dunklen Gemengteile
Valle Morobbia, S. Antonio. 726.8/114.6

3 Hornblende-Klinopyroxen-Epidot-Gneis, feinkörnig mit leichter Paralleltextur der dunklen Gemengteile
Ronco-Arcegno, Lago Maggiore. 699.7/111.5

4 Epidot-Amphibolit, starke Paralleltextur der Hornblende
Ronco-Arcegno, Lago Maggiore. 699.7/111.5

5 Amphibolit mit felsitischem klinopyroxenhaltigen «Einschluss», Paralleltextur der Hornblende, porphyroblastische Struktur in hellem Einschluss
Ronco-Arcegno, Lago Maggiore. 699.7/111.5

6 Biotit-Sillimanit-Gneis, Paralleltextur der dunklen Gemengteile und Sillimanitbänder
Brissago-Ronco, Lago Maggiore. 698.1/108.9

7 Biotit-Sillimanit-Gneis
Brissago-Ronco, Lago Maggiore. 698.1/108.9

Probe Nr.

8 Biotit-Sillimanit-Gneis, stellenweise augengneisähnliche Fliessstruktur des Biotits und der Sillimanitnadeln
Brissago-Ronco, Lago Maggiore. 698.1/108.9

9 Chlorit-Muskovit-(Granat)-Gneis, Fliessgefüge bwz. Paralleltextur der Glimmer, feinkörnig
Brissago-Cannobio, Lago Maggiore. 697.0/103.9

10 Feinkörniger Biotit-Gneis, leichte Paralleltextur der Glimmer
Brissago-Cannobio, Lago Maggiore. 696.2/101.3

11 Quarz-Biotit-Gneis (Turmalin führend), deutliche Paralleltextur der Biotite
Cavaglio, Valle Cannobina. 693.4/102.2

12 Biotit-Muskovit-Staurolith-Granat-Gneis (Turmalin führend), starke Fliessgefüge der Glimmerlagen
Valle Cannobina. 689.3/105.2

13 Feinkörniger Biotit-Muskovit-Sillimanit-Granat-Gneis, starkes Fliessgefüge der Glimmerlagen
Valle Cannobina. 689.3/105.2

14 Biotit-Muskovit-Granat-Schiefer, Parallelstruktur der Glimmerlagen
Valle Cannobina, Orasso. 688.4/105.5

15 Hornblende-Pyroxenfels, leicht mylonitisiert
Creves. 685.6/106.5

15a Olivin-Piroxen-Peridotit, stellenweise mylonitisiert
Creves. 685.7/106.4

15b Olivin-Pyroxen-Peridotit, gangförmige Serpentinisierung mit erzgefülltem Zentrum
Creves. 685.7/106.4

16 Olivin-Peridotit, grobkörniges relativ frisches Gestein
Finero. 684.6/106.7

17 Olivin-Peridotit, beginnende Serpentinisierung an den Korngrenzen
Finero. 684.6/106.7

18 Olivin-Peridotit
19 Finero. 684.6/106.7

20 Dunit, grobkörniges ungeregeltes Gefüge
21 Finero. 684.6/106.7

22 Hornblende-Pyroxen-Granat-Gneis, grobkörniges Gefüge der dunklen Gemengteile, Kelyphiträndер um Granat
Finero. 684.2/106.7

23 Hornblende-Pyroxen-Granat-Gneis, Augit leicht titanhaltig
Finero. 684.2/106.7

24 Hornblende-Pyroxen-Granat-Gneis (stark chloritisiert)
Finero. 684.2/106.7

25 Muskovit-Biotit-Schiefer, Fliessgefüge der Muskovit-Biotit-Lagen, Plasterstruktur der hellen Gemengteile
Finero. 684.2/106.7

Probe Nr.

26 Peridotit, stark umgewandelt
Finero. 684.2/106.7

27 Stark umgewandelter Peridotit, angedeutetes Fliessgefüge
Finero. 684.2/106.7

28 Muskovit-Biotit-Schiefer, lepidoblastisches Gefüge der Glimmerlagen, Plasterstruktur der hellen Gemengteile
Finero. 684.2/106.7

29 Muskovit-Chlorit-Schiefer, Paralleltextur der Glimmerlagen
Finero. 684.2/106.7

30 Peridotit, grobkörniges ungeregeltes Gefüge
Rio Cannobino. 685.4/106.5

33 Hornblende-Pyroxenfels, granoblastisches Gefüge
Anzola, Valle d'Ossola. 670.8/93.1

34 Hornblende-Pyroxenfels
Anzola, Valle d'Ossola. 670.8/93.1

35 Granat-Epidot-Amphibolit, nur leicht angedeutete Parallelstruktur
Megolo, Valle d'Ossola. 667.1/93.6

37 Biotit-Muskovit-Sillimanit-Schiefer, lepidoblastisches Gefüge der Glimmerlagen
Ornavasso, Valle d'Ossola. 675.8/90.8

38 Biotit-Muskovit-Sillimanit-Schiefer
Ornavasso, Valle d'Ossola. 675.8/90.8

39 Hornblende-Pyroxenfels, granoblastisches Gefüge
Nibbio, Valle d'Ossola. 674.5/94.3

40 Amphibolit, leichte Paralleltextur der dunklen Gemengteile
41 Nibbio, Valle d'Ossola. 674.5/94.3

42 Gabbro, grobkörnig, mylonitisiert
Premosello, Valle d'Ossola. 667.9/95.3

43 Dunit, grobkörnig, mylonitisiert
Premosello, Valle d'Ossola. 667.9/95.3

45 Quarzporphyr, allotriomorph-körniges Gefüge (stark umgewandelt), leicht porphyrische Struktur
Azoglio. 663.7/59.5

46 Quarzporphyr (durchsetzt von schmalen Calcitgängen)
Azoglio. 663.7/59.5

47 Quarzporphyr, rekristallisierte Grundmasse mit Plasterstruktur, karbonatführend
Azoglio. 663.7/59.5

48 Quarzporphyr
Crevacuore. 663.6/59.7

50 Zweiglimmergranit, grobkörnig
Steinbruch bei Vanzone. 664.6/65.7

Probe Nr.

51 Granodiorit, schwach porphyrisch
Steinbruch bei Vanzone. 664.6/65.7

52 Granodiorit, porphyrisch, Spuren Muskovit
Steinbruch bei Vanzone. 664.6/65.7

53 Granodiorit, grobkörnig
Steinbruch bei Vanzone. 664.6/65.7

54 Zweiglimmergranit
Steinbruch bei Vanzone. 664.6/65.7

55 Granit, grobkörnig
Varallo, Steinbruch «Rocca Pietra». 666.1/71.8

56 Granit, grobkörnig, etwas grüne Hornblende
Varallo, Steinbruch «Rocca Pietra»- 666.1/71.8

57 Granit
Varallo, Steinbruch «Rocca Pietra». 666.1/71.8

58 Hornblende-Granit, grobkörnig
59 Varallo, Steinbruch «Rocca Pietra». 661.1/71.8

60 Gabbro, grobkörnig gabbroides Gefüge mit Klinopyroxen-Spinell-Symplektit
Mastallone-Tal, Sabbia. 661.7/78.5

61 Gabbro
Mastallone-Tal, Sabbia. 661.7/78.5

62 Gabbro (stark mylonitisiert umgewandelt), grobkörnig gabbroides Gefüge
Mastallone-Tal, Cravagliana. 660.0/77.8

63 Gabbro, grobkörnig
Mastallone-Tal, Cravagliana. 660.0/77.8

64 Alkaligabbro
65 Mastallone-Tal, Ponte di Gula. 657.2/81.3

66 Dunit, ungeregeltes dichtes grobkörniges Gefüge
Sesia-Tal, Bottorno. 657.9/75.7

67 Peridotit, dichtes grobkörniges Gefüge
Sesia-Tal, Bottorno. 657.9/75.7

68 Grobkörniger Granit
69 Monte Orfano. 678.0/87.8
70
71

72 Grobkörniger Granit, Spuren Muskovit
73 Monte Orfano. 678.0/87.8

74 Grobkörniger Granit
75 Gravellona. 680/85
76
77
78
79

Probe Nr.

94 Tonalit (Hornblende-Biotit-Gneis), leichte Parallelstruktur
95 Bergell, San Martino. 769.2/123.8
96

97 Tonalit, schwach porphyrisch, leichte Paralleltextur
98 Bergell, San Martino. 769.2/123.8

99 Hornblende-Epidot-Gneis (Tonalit), schwach porphyrisch
100 Bergell, Val di Sasso Bisolo. 773.0/121.5
101
102
103

104 Hornblende-Epidot-Gneis
105 Bergell, Steinbruch Serezzo. 754/124 (?)
106
107
108

Manuskript eingegangen: 15. März 1974.