

Ermittlung von Baustoffkennwerten von
Tuffgesteinen und die Möglichkeiten
zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit von
Tuffsteinmauerwerk – Teil 1

T 2190/1

T 2190/1

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

B E R I C H T

DES FORSCHUNGSVORHABENS

"Ermittlung von Baustoffkennwerten von
Tuffgesteinen und die Möglichkeiten
zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit von
Tuffsteinmauerwerk - F 168 ".

Literaturarbeit - Probenentnahme - Petrographische Untersuchungen

von

Dr.-Ing. Bernd Fitzner
St. Direktor

Geologisches Institut der RWTH Aachen

Aachen, März 1985



Die Tuffe aus der Umgebung des Laacher Sees finden seit 2000 Jahren eine vielfältige Verwendung als Naturwerksteine. An einer großen Zahl historisch bedeutender und erhaltenswerter Tuffbauwerke sind Verwitterungsschäden aufgetreten, die Sanierungsmaßnahmen dringend erfordern. Da derzeit keine gesicherten Erfahrungen und Kenntnisse über eine wirkungsvolle und sachgerechte Durchführung von Naturstein-Restaurierungsmaßnahmen vorliegen, sollen im Rahmen von Forschungsvorhaben solche Konzepte entwickelt werden.

Im vorliegenden ersten Projekt werden bruchfrische Tuff-Natursteine aus dem Laacher-See-Gebiet bearbeitet. Ziel dieser Untersuchungen ist die Ermittlung verwitterungsrelevanter Gesteinskennwerte. Im einleitenden Teil des Berichtes für den Bearbeitungszeitraum 1983-84 sind die Ergebnisse einer Literaturarbeit enthalten, die die geologisch-petrographischen und baugeschichtlich-wirtschaftlichen Aspekte der Tuff-Natursteine verdeutlichen. Diese Literaturstudien waren Voraussetzung für die Probenauswahl und Probenentnahme. Im Hauptteil des Berichtes werden die Gesteinskennwerte von acht Tuffvarietäten ausführlich dargestellt.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Literaturarbeit	1
1.1 Geologische Aspekte des Laacher-See-Gebietes	1
1.1.1 Geographische und geologische Abgrenzung des Laacher-See-Gebietes	1
1.1.2 Förderphasen des Laacher-Vulkanismus	4
1.1.3 Petrographie und Lagerungsverhältnisse der Tuffe des Laacher-See-Gebietes	7
1.1.3.1 Allgemeine Petrographie der Tuffe	7
1.1.3.2 Selbergittuffe (Phonolithtuffe)	10
1.1.3.3 Trachyttuffe (Traß)	12
1.1.3.4 Chemische Zusammensetzung	16
1.2 Tuff-Natursteinindustrie des Laacher-See-Gebietes	18
1.2.1 Zeitphasen der Tuff-Natursteinindustrie des Laacher-See-Gebietes	18
1.2.2 Verbauungsbeispiele	28
1.2.2.1 Deutschland	28
1.2.2.2 Ausland	38
1.3 Gesteinstechnische Eigenschaften der Tuff-Natursteine	43
2. Probenentnahme und Geländearbeit	44
2.1 Probenentnahme	44
2.2 Photographische Dokumentation bei der Geländearbeit	45

3.	Petrographische Untersuchungen	57
3.1	Makroskopische Beschreibung	57
3.1.1	Ettringer Tuff	58
3.1.2	Hasenstoppel Tuff	60
3.1.3	Weiberner Tuff I	62
3.1.4	Weiberner Tuff II	64
3.1.5	Riedener Tuff I	66
3.1.6	Riedener Tuff II	68
3.1.7	Römer Tuff I	70
3.1.8	Römer Tuff II	72
3.2	Mikroskopische Analyse	74
3.2.1	Ettringer Tuff	75
3.2.2	Hasenstoppel Tuff	76
3.2.3	Weiberner Tuff I	77
3.2.4	Weiberner Tuff II	78
3.2.5	Riedener Tuff I	79
3.2.6	Riedener Tuff II	80
3.2.7	Römer Tuff I	81
3.2.8	Römer Tuff II	82
3.3	Röntgenbeugungs-Analyse	83
3.3.1	Ettringer Tuff	84
3.3.2	Hasenstoppel Tuff	84
3.3.3	Weiberner Tuff I	85
3.3.4	Weiberner Tuff II	85
3.3.5	Riedener Tuff I	86
3.3.6	Riedener Tuff II	86
3.3.7	Römer Tuff I	87
3.3.8	Römer Tuff II	87
3.4	Porenraumanalyse	91
3.4.1	Reindichte, Rohdichte und Gesamtporosität	91
3.4.2	Porenradienverteilung	93

3.5	Bestimmung der Inneren Oberfläche	136
3.6	REM-Analyse	138
3.6.1	Ettringer Tuff	138
3.6.2	Hasenstoppel Tuff	139
3.6.3	Weiberner Tuff I	139
3.6.4	Weiberner Tuff II	139
3.6.5	Riedener Tuff I	139
3.6.6	Riedener Tuff II	140
3.6.7	Römer Tuff I	140
3.6.8	Römer Tuff II	141
3.7	Ultraschall-Laufzeitmessungen	174
4.	Zusammenfassung	175
4.1	Literaturarbeit	175
4.2	Probenentnahme und Geländearbeit	176
4.3	Petrographische Untersuchungen	177
5.	Literatur	182

1. Literaturarbeit
- 1.1 Geologische Aspekte des Laacher-See-Gebietes
- 1.1.1 Geographische und geologische Abgrenzung des Laacher-See-Gebietes und seine Entstehung

Das Laacher Vulkangebiet, das durch seinen quartären Vulkanismus gekennzeichnet ist, erstreckt sich im NE bis zum Rhein, im NW bis zum Brohltal und im SW bis zum Nettetal. Im SE ist die Begrenzung die Linie Mayen - Ochtendung - Winnigen (Abb. 1). Das Vulkangebiet hat also eine Ausdehnung von etwa 10 km in jede Richtung um den Laacher See bis auf wenige Außenposten, die darüber hinausgreifen (AHRENS 1930 a, HOPMANN 1959, FRECHEN 1971). Im N und S stößt das Laacher Vulkangebiet an tertiäre, vulkanische Bildungen (Abb. 2).

Im Untergrund des Laacher Vulkangebietes stehen Schichten des Unterdevons an; darauf können tertiäre und auch quartäre Ablagerungen aufliegen.

Das Vulkangebiet des Laacher Sees stellt den Westteil des Neuwieder Beckens dar, durch dessen Einbruch der Laacher Vulkanismus ausgelöst wurde. Das Neuwieder Becken entstand bei der Hebung des Rheinischen Schiefergebirges. Während sich das Rheinische Schiefergebirge vom Jungtertiär bis ins jüngste Quartär hob, blieb das Neuwieder Becken als abgesunkene Scholle zurück. Dabei senkte sich im E und SE das Becken am stärksten, während im W und NW die Vulkanausbrüche stattfanden, die sich im Laufe des Quartärs von W nach E verlagerten.

"Wichtige tektonische und vulkanische Linien bilden hier die Randstaffeln des Beckens und der westlich vom Laacher See und Wehrer Kessel verlaufende Hauptabbruch der Eifel gegen das Rheintal" (FRECHEN 1971).

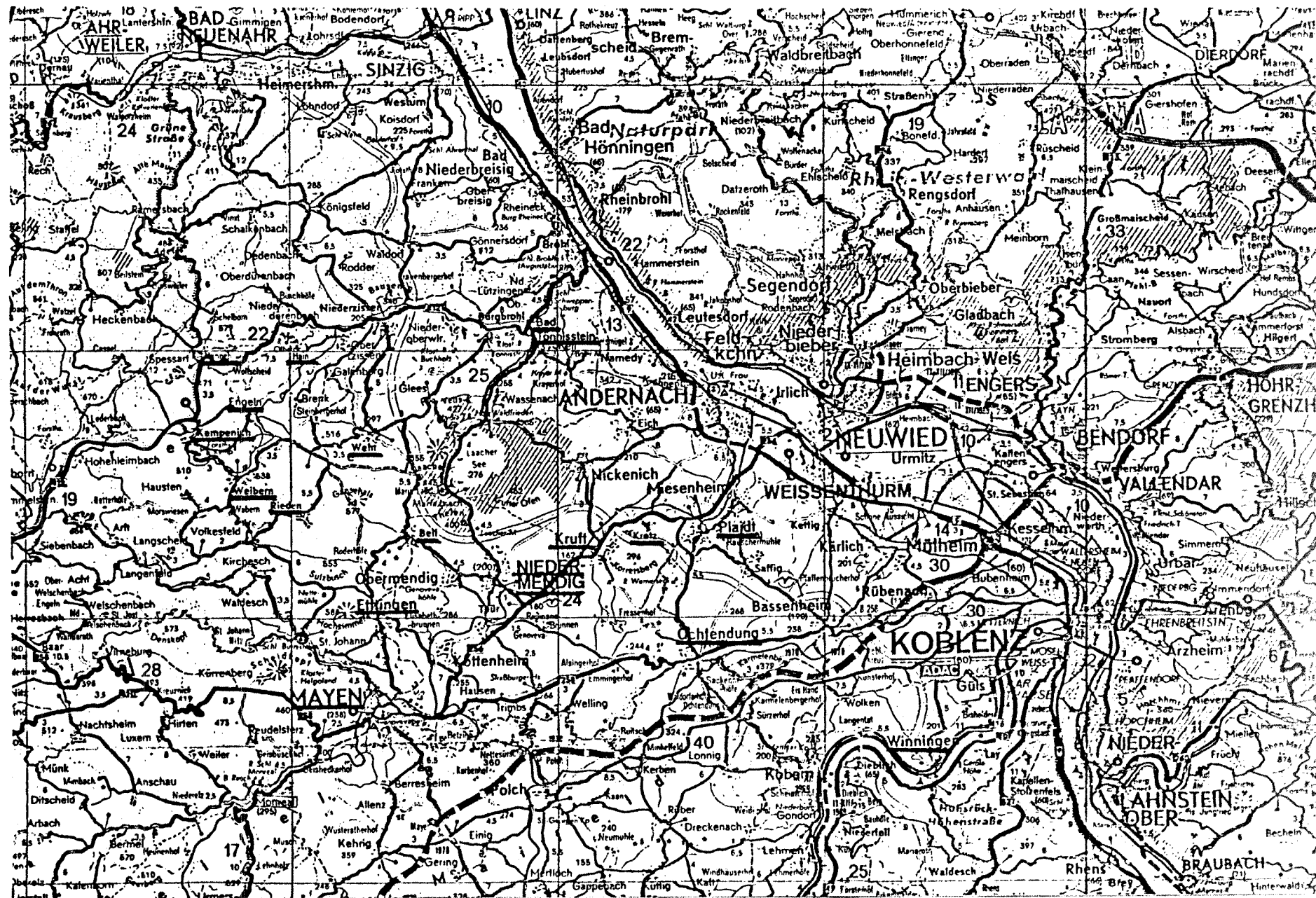


Abb. 1: Geographische Übersicht des Laacher-See-Gebietes - 0 2 4 6 8 10 km
 Ausschnitt aus der Deutschen Generalkarte (1:200.000)

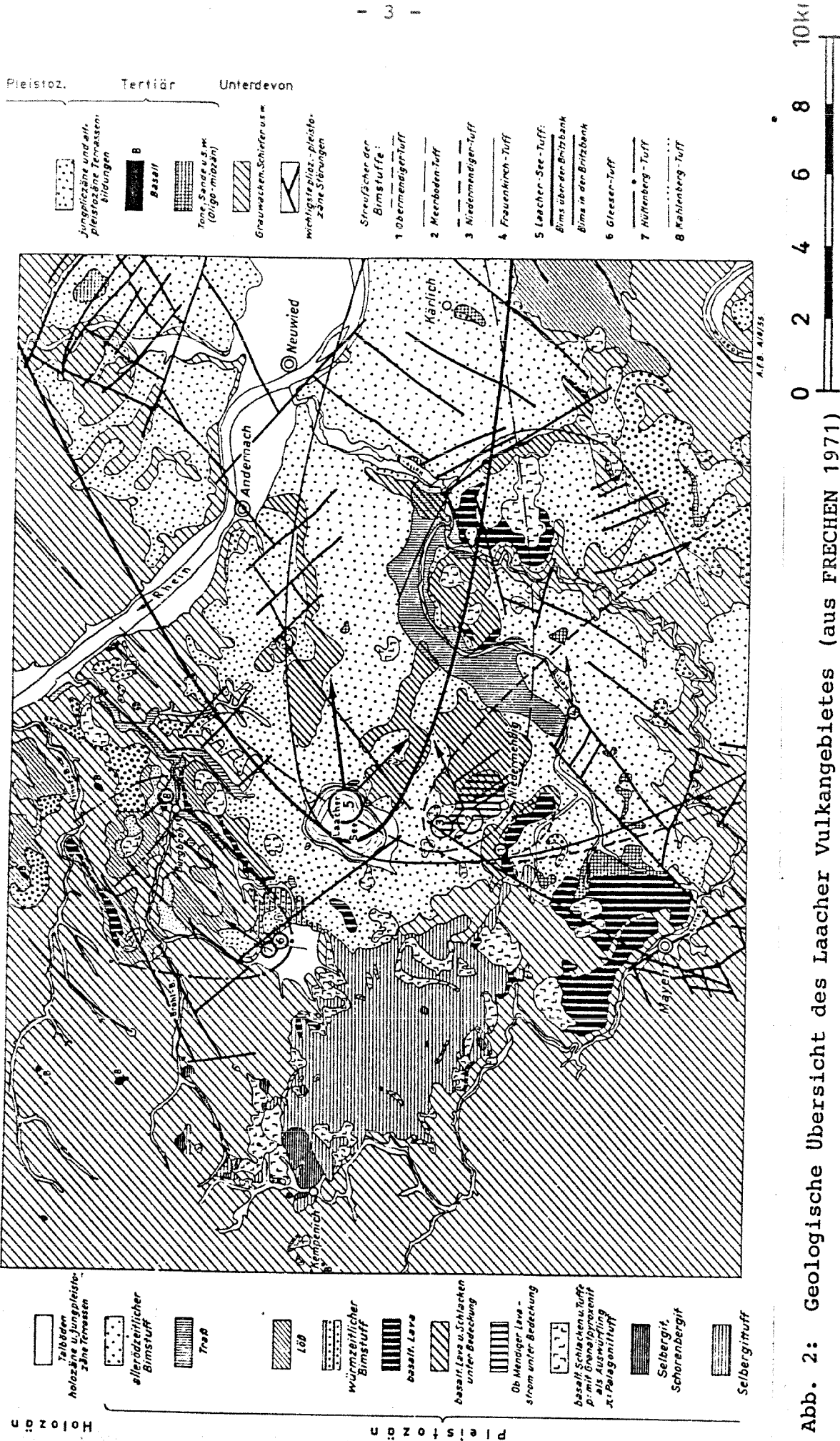


Abb. 2: Geologische Übersicht des Laacher Vulkangebietes (aus FRECHEN 1971)

1.1.2 Förderphasen des Laacher Vulkanismus

Im Laacher Vulkangebiet haben nach WINDHEUSER (1977) vier Eruptionsphasen stattgefunden, die sich z.T. räumlich und zeitlich überlappen. Diese Förderphasen lassen sich durch stratigraphische Zuordnung der unterlagernden und überlagernden Schichten von Tuffhorizonten gliedern und einordnen (Abb. 3).

In der ersten Förderphase ("Selbergittuff") kamen selbergitisch-foiditische und alkalibasaltische Förderprodukte zum Ausbruch. Die Förderzeiträume waren dabei das Ariendorfer Interglazial (drittletzte Warmzeit) und die vorhergegangene Kaltzeit bzw. der Übergang zwischen beiden Klimabereichen. Die zweite Förderphase ("Wehrer Bims") ist hauptsächlich durch Bimseruptionen im Wehrer Kessel gekennzeichnet und in die drittletzte Kaltzeit zu stellen. Daneben war ein alkalibasaltischer Vulkanismus tätig, der sich in der dritten Förderphase ("Brockentuff") verstärkt fortsetzte. Die dritte Förderphase gehört der vorletzten Kaltzeit und dem Kärlicher Interglazial (vorletzte Warmzeit) an. In der letzten Eruptionsphase ("Kahlenberg Tuff", "Eltviller Tuff", "Laacher See Tuff"), die auf die jüngste Kaltzeit beschränkt ist, gelangten neben alkalibasaltischen Förderungen vor allem trachytische Tuffe zum Ausbruch.

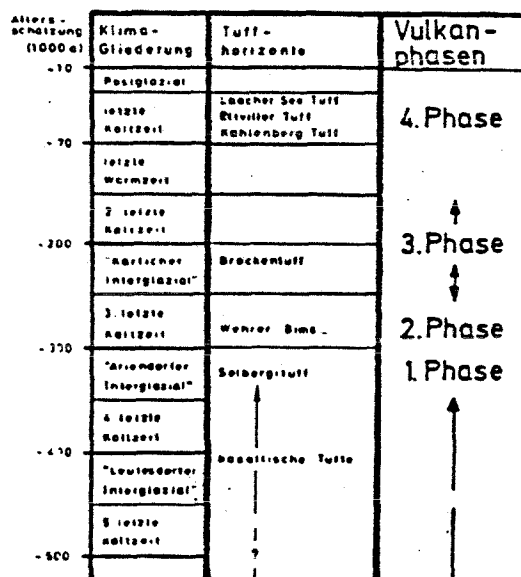


Abb. 3: Förderphasen des Laacher Vulkanismus (nach WINDHEUSER 1977)

Im Gegensatz zu WINDHEUSER (1977) unterscheidet FRECHEN (1971) nur drei Hauptphasen des Laacher Vulkanismus, die sich nach der Art der Vulkantätigkeit und der Zusammensetzung der Förderprodukte deutlich voneinander abheben (Abb. 4).

"Das junge Alter des Laacher Vulkanismus war schon frühzeitig an der Auflagerung der Förderprodukte auf quartäre Terrassen und Talböden erkannt worden. Eine genauere Zeitskala der einzelnen Eruptionsphasen ließ sich durch die Untersuchung der vulkanischen Einschaltungen in den fluviatilen und äolischen Quartärsedimenten des Mittelrheingebietes aufstellen. Sie ergab, daß die Vulkantätigkeit vor der Aufschotterung der älteren Hauptterrasse begann und mit Unterbrechungen bis zum Alleröd andauerte. Sie erstreckte sich über einen Zeitraum von ungefähr 550.000 Jahren" (FRECHEN 1971).

Die Haupttätigkeit der älteren Förderphase ist annähernd zeitgleich mit der Aktivität im Riedener Kessel. Während der Aufschotterung der mittleren und jüngeren Mittelterrasse des Rheins fanden die Förderungen der mittleren Phase statt. Die jüngere Förderphase ist durch die vulkanische Tätigkeit im Wehrer und Laacher Kessel gekennzeichnet. Die jüngste Eruption im Laacher Vulkangebiet ist auf ein Alter von ca. 11.000 Jahren (C^{14} -Alter) datiert.

Rhein-Terrassen	LÖB-Profil Kärlich	Bimsstein, Selbergittuffe	Selbergite	Alkalibasalte	C ¹⁴ -Alter (1000 J.)
Jüngere Niederterrasse					
	Alleröd	Gleeser-Trass Laacher Bims ↑ Brohlthal-Trass ↓ Frauenkirch-Trass			11
↑ Ältere Niederterrasse ↓	Würm III	Bims		Brockentuff von Kärlich	12
				Herchenberg (jüng. Tuffe) Kunsköpfe Alteburg ob. Mendiger Lava Wingertsberg Thelenberg Krufter Ofen	25
	Würm II	Bims Bims		Nickenicher Gruppe Nastberg Korretsberg Plaidter Hummerich Tönchesberg Wannen-Gruppe Karmelenberg-Gruppe	32
			Wehrer Kessel	Herchenberg (ält. Tuffe)	52
	Würm I	Bims		Wannen-Gruppe Karmelenberg-Gruppe	59 62
					70 K-Ar-Alter (1000 J.)
Jüngere Mittelterrasse				Hohe Buche b. Fornich	—
				Bausenberg	150, 140
Mittlere Mittelterrasse		Leubsdorf		Veitskopf Lummerfeld Leilenkopf (jüng. Tuffe)	— — 220 —
				Hochstein (jüng. Tuffe)	260
Ältere Mittelterrasse				Hochsimmer	300
			Perler Kopf Engelner Kopf		320 320
Jüngere Hauptterrasse		Hohe Ley Rodder Höfe In der Erle	Riedener Kessel	Sulzbusch	340 350 350 350
				Hochstein (ält. Tuffe)	—
Ältere Hauptterrasse				Leilenkopf (ält. Tuffe)	390, 390 405
		Hardt b. Ried.	Olbrück Hardt b. Rieden		410 420
		Schellkopf	Schellkopf		570

Abb. 4: Zeittafel des Laacher Vulkanismus
(aus FRECHEN 1971)

1.1.3 Petrographie und Lagerungsverhältnisse der Tuffe des Laacher-See-Gebietes

1.1.3.1 Allgemeine Petrographie der Tuffe

"Die pyroklastischen Ablagerungen stellen ein äußerst interessantes Bindeglied zwischen den Magmatiten und den Sedimentiten dar. Pyroklastite sind sämtliche Ablagerungen von vulkanisch geförderteten Lockerstoffen und die durch Verfestigung daraus entstandenen Gesteine" (PFEIFFER, KURZE und MATHE 1981).

Für vulkanisches Lockermaterial aller Korngrößen ist der Sammelbegriff Tephra gebräuchlich, für verfestigte Pyroklastite der Begriff Tuff.

Die Korngrößen der Pyroklastite haben eigene Bezeichnungen und werden als Blöcke und Bomben, Lapilli und Asche angesprochen (Abb. 5).

Korngröße in mm	Pyroklastische Fragmente
64	Blöcke und Bomben
	Lapilli
2	Asche

Abb. 5: Korngrößeneinteilung pyroklastischer Fragmente

Eine Klassifikation von verfestigter vulkanischer Tephra im Korngrößendreieck > 64 mm, $64-2$ mm, < 2 mm ist in Abb. 6 dargestellt. Dieses Dreiecksdiagramm erlaubt es, für Mischungen von pyroklastischen Fragmenten verschiedener Korngrößen eine Benennung vorzunehmen.

Bei einer Vermischung von pyroklastischem und epiklastischem Material spricht man von Tuffiten. PFEIFFER, KURZE und MATHE (1981) definieren Tuffite als Ablagerungen mit einem Anteil von 25-75 % pyroklastischem Material. Tephra-führende Sedimente bzw. Tuff-führende Sedimentgesteine besitzen einen Pyroklast-Anteil von 10-25 % (Abb. 8).

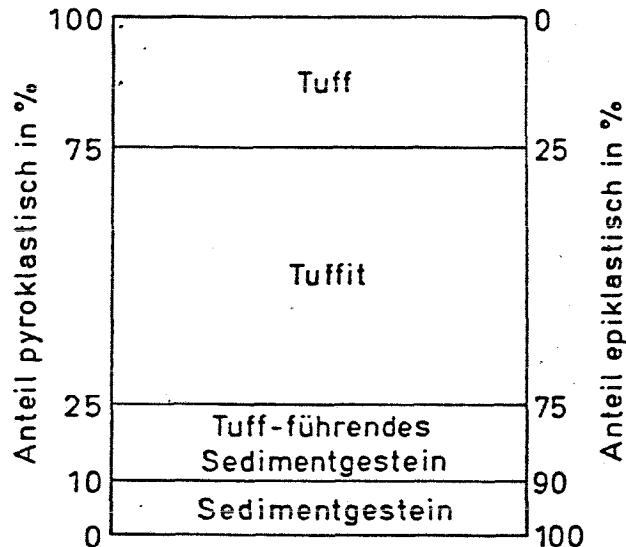


Abb. 8: Klassifizierung von Mischgesteinen mit pyroklastischem und epiklastischem Anteil (n. PFEIFFER, KURZE und MATHE 1981)

Als Übersicht ist in Abb. 9 ein Klassifikationsschema für pyroklastische Ablagerungen unter Berücksichtigung des epiklastischen Anteils, der Korngrößen und der Genese dargestellt.

Klassifikationsschema für pyroklastische Ablagerungen

Herkunft des Materials		Korngröße der Pyroklasten				Bildungsvorgang
		ϕ mm	ϕ 64	ϕ 2	ϕ 0,063	
vulkanisch	glühend	Pyroklastische Lava				Mischung an der Lavoberfläche
		Dgnimbrit (Schmelztuff)				Glutwolken
	erstarrt	Ober- begriff	pyroklastische Psephite	pyroklast. Psammite	pyroklast. Pelite	Anhäufung auf dem Land oder im Wasser
			vulkanischer Schutt	vulkan. Sand	vulkan. Staub bzw. Schlamm	
		locker	Block-u. Bombenschutt	Lapillischutt	vulkan. Asche	
		verfestigt	vulkan. Brekzie (Agglomerat)	Psammittuff	Pelittuff	
	(epiklast.) Sediment		Block-u. Bombenbrekzie	Lapillistein	Aschentuff (Cinerit)	vulkanischer Schlammstrom
			Lahar			
		Tuffit				gemeinsame Sedimentation von pyroklast. und epiklast. Material
		Tephra-führende Sedimente bzw. Tuff-führende Sedimentgesteine				Sedimentation

0 50 100%

Abb. 9: Klassifikationsschema für pyroklastische Ablagerungen (aus PFEIFFER, KURZE und MATHE 1981)

Über die petrographische Zusammensetzung der rheinischen Tuffe schreiben LUDWIG und SCHWIETE (1961):

"Nach VÖLZING und TANNHÄUSER setzt sich der Tuff aus verschiedenen großen Bimssteinstückchen und einer Füllmasse zerstäubten schaumigen Glases zusammen. Das Glas selbst ist mit Kristallen und Kristallbruchstücken durchsetzt. Zu diesen Komponenten kommen noch Gesteine hinzu, die bei den Vulkanausbrüchen mit gefördert wurden.

Die Gesteinskomponenten des rheinischen Tuffes ordnet VÖLZING nach ihrer Herkunft in:

1. Bestandteile, die dem Magma entstammen, durch dessen Eruption die Tufflagerstätten gebildet wurden.
2. Fremde Gesteinsgemengteile, die unterteilt werden in:
 - 2.1 Trümmer festen Gesteines, das bei der Eruption durchbrochen und mit den Eruptionsmassen gemeinsam ausgeschleudert wurde.
 - 2.2 Bestandteile, die aus der Umgebung der heutigen Fundstelle auf irgendeine Weise in die Tufflagerstätten gelangten."

1.1.3.2 Selbergittuffe (Phonolithtuffe)

Die Selbergittuffe (erste Förderphase), die im westlichen Laacher-See-Gebiet geschichtet und ungeschichtet anstehen, bilden zwischen den Orten Ettringen, Weibern, Kempenich, Engeln, Wehr und Bell eine zusammenhängende Decke. Vereinzelt kommen diese Tuffe nach N bis Hannebach und Hain an der Olbrück, nach E bis in die Nähe von Mendig vor (FRECHEN 1971) (Abb 1. und 2).

Die Selbergittuffe haben ihre Benennung von den ihnen nächststehenden Vulkaniten, den Selbergiten, mit denen sie räumlich, zeitlich und genetisch eng verbunden sind (FRECHEN 1971). Diese Tuffe werden aber auch nach ihrer petrographischen Zusammensetzung als Phonolithtuffe bezeichnet.

In der älteren Literatur wird darauf hingewiesen, daß die Phonolithtuffe im Gegensatz zu den Trachyttuffen des Laacher-See-Gebietes Leucit aufweisen (z.B. GUTACKER 1917, AHRENS 1930 a). Daher werden auch oft in früheren Arbeiten die Phonolithtuffe als Leucitphonolithtuffe oder kurz als "Leucittuffe" bezeichnet.

"Als magmaeigene Bestandteile enthalten die Tuffe im gesamten Verbreitungsgebiet Glaspartikel, glasreichen Bimsstein und Kristalle von Sanidin, Leucit, Nosean, Olivin, salitischem Augit, Ägirinaugit, brauner Hornblende, Biotit, Magnetit, Titanit und Apatit. Vereinzelt findet sich auch Melanit. Der in frischem Zustand farblose Leucit ist häufig in weißen, zerreiblichen Analcim unter Erhaltung der Leucitform umgewandelt. Als Neubildungen aus Glassubstanz treten Chabasit und Phillipsit auf" (FRECHEN 1971).

Die Anwesenheit von Zeolithen, die sich sekundär aus der Glassubstanz gebildet haben, konnte in früheren Jahren nur vermutet, jedoch nicht nachgewiesen werden. Erst in neuerer Zeit wurden die Zeolithe der rheinischen Tuffe durch röntgenographische Methoden bestimmt (z.B. LUDWIG und SCHWIETE 1961). Zusätzlich wurden bei verschiedenen Untersuchungen ein Tonmineral- und Karbonatgehalt ermittelt.

"Außer den magmaeigenen Bestandteilen enthalten die Tuffe in zum Teil stärker wechselnden Anteilen Bruchstücke von selbergitisch-foiditischen Vulkaniten, Einzelminerale und Gesteinsstücke von Subvulkaniten, Metasomatiten und vor allem von Tonschiefern, Grauwacken und Quarziten des durchbrochenen devonischen Gebirges" (FRECHEN 1971).

Die vor allem technisch bekannten Vorkommen von Ettringen, Rieden und Weibern sind kaum geschichtet, gut verfestigt und erreichen Mächtigkeiten von 35 m, die vereinzelt noch größer sein können (AHRENS 1930 a; Abb. 10). Diese Tuffe besitzen eine helle, gelbgraue Farbe; einzelne Arten können auch schwach rötliche und grünliche Farbtöne (Riedener Tuff) zeigen (RÖDER 1957). Es wird dabei zwischen feinkörnigen und grobkörnigen Varietäten unterschieden, je nach Größe und Anzahl der Einschlüsse. Die Einschlüsse brauchen jedoch nicht gleichmäßig innerhalb eines Vorkommens verteilt zu sein, so daß der jeweilige Abbauhorizont entscheidend ist. In der

Regel werden daher Weiberner und Riedener Tuffe zu den feinkörnigen Varietäten gezählt, Ettringer Tuff als eine grobkörnige Varietät bezeichnet.

1.1.3.3 Trachyttuffe (Traß)

Eine fazielle Besonderheit der Trachyttuffe stellt der Traß (vierte Förderphase) dar, der ein ungeschichteter, verfestigter Bimssteintuff ist (AHRENS 1928)¹⁾. Der Traß besitzt zwei Hauptverbreitungsgebiete, das Brohltal und das Nettetalgebiet. Im Brohltal (Brohltaltraß) steht der Traß im unteren und mittleren Talabschnitt und in einigen seiner südlichen Nebentäler an. Das Nettetalgebiet (Nettetaltraß) liegt östlich des Laacher Sees, wo der Traß im Tal des Bahner und Krufter Baches sowie der Nette etwa vom Bahner Hof bis unterhalb Plaidt anzutreffen ist (AHRENS 1930 a) (Abb. 1, 2 und 10).

Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, daß Traß i.a. für das aus diesen Trachyttuffen hergestellte Gesteinsmehl (als Mörtelzuschlag) steht, hier aber weiterhin auch als Bezeichnung für die unvermahlenden Trachyttuffe des Brohltales und Nettetalgebietes dienen soll.

MARTIUS (1911) beschreibt den Traß des Nettetalgebietes folgendermaßen:

"Er besteht aus einer feinen, sehr kompakten an Glas reichen Masse von verschiedener Färbung und Struktur."

Darin eingelagerte Bestandteile, die dem Magma entstammen, sind

¹⁾ Der Traß war schon den Römern wegen seiner hydraulischen Eigenschaften bekannt. Neben der Verwendung als Naturbaustein (Römertuff) benutzten sie ihn in der Bautechnik als hydraulisches Bindemittel. Die Bezeichnung "Römertraß", wie dieser Bimssteintuff teilweise genannt wird, spiegelt dies wieder. Der Traß (aus holländisch tyras = Kitt) wird vermahlen, in langen Haufen aufgeschichtet und getrocknet. Mit Kalk vermischt bildet er einen in der Feuchtigkeit erhärtenden Mörtel (HOPMANN 1959). Es muß jedoch erwähnt werden, daß die "Leuzittuffe" ebenfalls hydraulische Eigenschaften besitzen und dementsprechende Nutzung erfahren, wenn auch in geringem Umfange und erst in neuerer Zeit.

der größte Teil der Kristalle, Kristallfragmente und Bimssteine und trachytische Einschlüsse verschiedener Art. Der Mineralbestand ist dabei Feldspat, Hauyn, Augit (diopsidischer und Ägirinaugit), Hornblende, Biotit, Apatit als Einschluß, Titanit, Olivin und Magnetit. Feststellbarer Leucit stammt jedoch nicht aus dem Traßmagma, sondern von Gesteinsbruchstücken.

Fremde Gesteine, die dem Traß beigemischt sind, stellen einmal die Trümmer des devonischen Grundgebirges dar. Dies sind Tonschiefer, Grauwacken, Quarzite und Gangquarze. Zum anderen kommen auch jungvulkanische Gesteine vor. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Basalte. FRECHEN (1971) führt als Neubildungen aus vulkanischem Glas Analcim und Chabasit auf, die er für die Verfestigung des Traßsteines verantwortlich macht. Zur Unterscheidung des Brohl- und Nettetaltrasses schreibt RÖDER (1957):

"Die Trachyttuffsteine des Brohltales und der Pellenz (Anm.: Nettetalgebiet) sind makroskopisch zumal bei der großen Mannigfaltigkeit der Ausbildung im Einzelnen praktisch nicht mit genügender Sicherheit auseinander zu halten und mikroskopisch oft auch nicht, da nur der Anteil der Hornblende einen leidlich charakteristischen Unterschied zwischen diesen Gesteinen bildet."

Die typischen Lagerungsverhältnisse des Trasses im Gebiet zwischen Kretz und Krufft (Nettetalgebiet) sind in der Traßgrube der Fa. MEURIN nordöstlich Krufft, wo er technisch ausgebeutet wird, gut aufgeschlossen. Die Mächtigkeit des Tuffstromes beträgt hier 30 m, wobei jedoch nur die oberste Partie von 2,50 - 3,00 m Mächtigkeit und die untersten Partien von rund 14 m Mächtigkeit zu technisch verwertbarem Stein verfestigt sind (RÖDER 1957).

Im engeren Sinne werden die Tuffe der obersten Partie als Römertuff bezeichnet, im weiteren Sinne auch die Ablagerungen der untersten Partien.

"In dem im Abbau befindlichen unteren Traßsteinhorizont unterscheidet man nach der Farbe von unten nach oben den blauen, gelben und grauen Traß. Im blauen Traß, auch Tauch genannt, sind xenolithische Fragmente von devonischen Sedimentgesteinen und von basaltischer Lava angereichert. Die basaltischen Anteile sind teilweise zersetzt. Die Dunkelfärbung ist

außerdem auf eine stärkere Infiltration von Eisen und Mangan zurückzuführen. Die Farbwirkung des gelben Traß wird vor allem durch gelbgefärbte zu Chabasit umgebildete Bimssteinkörnchen hervorgerufen. Im grauen Traß sind die Niederschläge von Eisen-Mangan-Oxidhydraten geringer " (FRECHEN 1971).

Im oberen Traßsteinhorizont stellen die Bimseinschlüsse in der Regel nur zerspratzte Glassubstanz ohne sekundäre Neubildungen dar.

Der Traß des Brohltales weist dagegen lokal verschiedene Mächtigkeiten auf. Bei Tönisstein findet man noch heute 60 m mächtige Ablagerungen; hierbei muß man jedoch berücksichtigen, daß sich durch den Abbau dieses Materials seit Römerzeiten die ursprünglichen natürlichen Verhältnisse nur schwer rekonstruieren lassen (DIENEMANN und BURRE 1929). RÖDER (1957) weist noch daraufhin, daß die unterschiedlichen Ablagerungsbedingungen und -verhältnisse im Brohltal und Nettetagebiet zu verschiedenen Erhärtungsprozessen der Tuffe geführt haben.²⁾

2) Auf der Ostseite des Seekessels stehen etwa 100 m über dem Seespiegel nordöstlich der alten Burg gebante Trachyttuffe an, die als Rest einer traßartigen Ablagerung anzusehen sind. Sie zeigen rötlich gelbliche Farben. "Einzelne festere Lagen eignen sich zu Baustein und sind in der ersten Bauperiode der Laacher Abteikirche verwendet worden. In neuerer Zeit ist aus diesem Stein der Südanbau des Hotels, die Klosterpforte, sowie die Eingangshalle der Kölner Universität erstellt. Jetzt ist der Bruch in das Naturschutzgebiet des Laacher Sees einbezogen " (HOPMANN 1959).

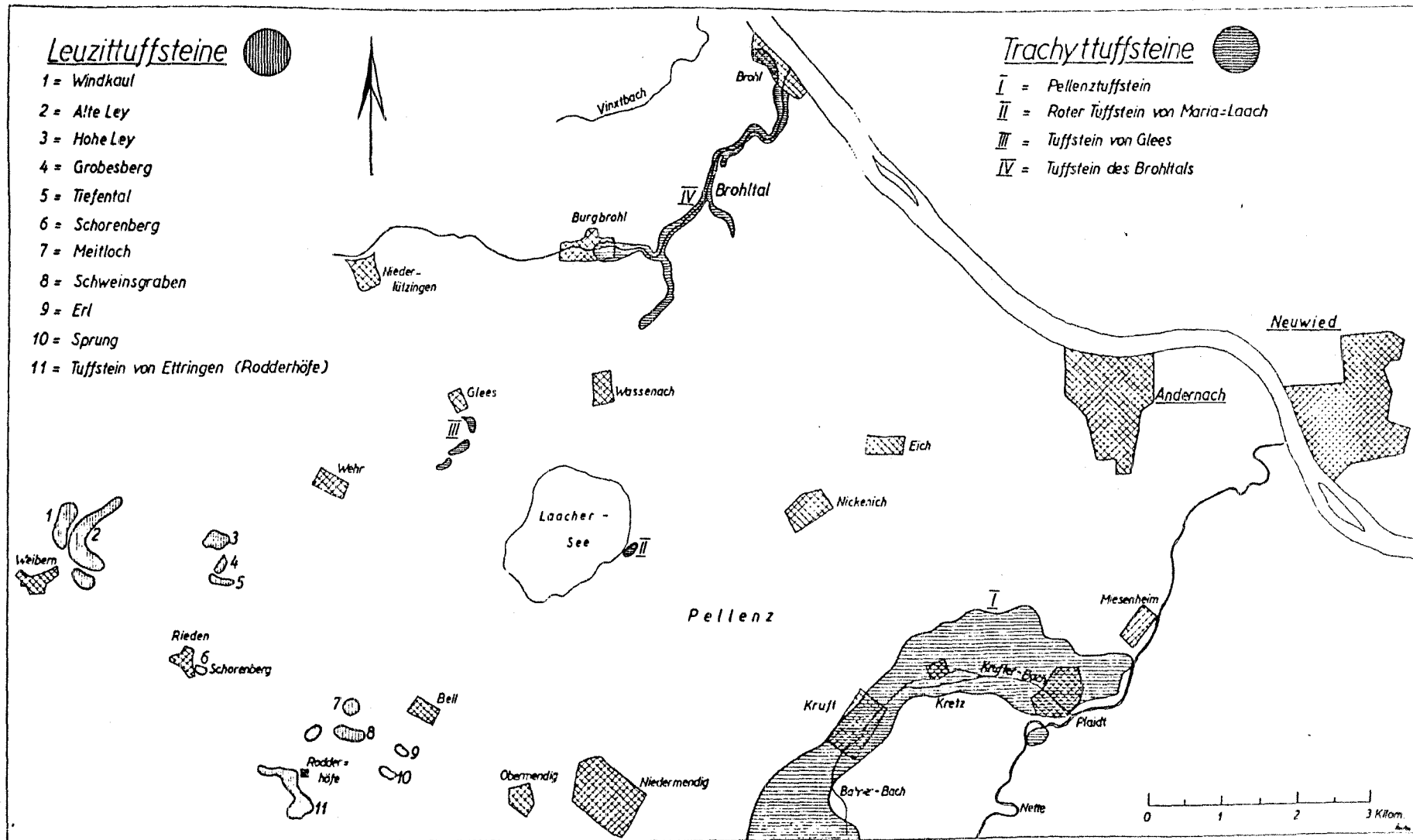


Abb. 10: Technisch genutzte Tuffsteinvorkommen der Vordereifel (aus RÖDER 1957)

1.1.3.4 Chemische Zusammensetzung

Als Beispiel für die chemische Zusammensetzung von Tuffen bzw. Trassen aus dem Laacher-See-Gebiet sind aus GUTACKER (1917) sowie LUDWIG und SCHWIETE (1961) Analysenergebnisse in Abb. 11 und 12 dargestellt. Daraus wird ersichtlich, daß die Tuffe bzw. Trasse hauptsächlich aus Kieselsäure (SiO₂) und Tonerde (Al₂O₃) bestehen und einen deutlichen Hydratwassergehalt (H₂O) aufweisen.

	Wei- berner Leuzit- tuff	Wei- berner Leuzit- tuff	Riedener- Leuzit- tuff	Traß aus dem Nittel- tal
SiO ₂	53,98	61,08	54,12	56,12
TiO ₂	0,70	Sp.	Sp.	0,32
Al ₂ O ₃	18,09	12,60	19,80	16,16
Fe ₂ O ₃	3,37	4,45	5,10	3,83
FeO	1,03	0,84	0,44	0,78
CaO	1,86	2,54	1,74	2,16
MgO	1,21	0,90	1,20	1,41
Na ₂ O	5,25	8,64	10,38	4,04
K ₂ O	7,20	4,94	4,52	4,31
P ₂ O ₅	0,20	—	—	0,07
Cl	—	Sp.	Sp.	—
CO ₂	0,14	—	—	—
Hydr. H ₂ O	6,32	0,33	0,60	3,14
Hydr. H ₂ O		3,69	2,26	7,68
Summe	99,76	100,01	100,16	100,06

Abb. 11: Chemische Zusammensetzung rhein. Tuffe
(aus: GUTACKER 1917)

Nummer	1	2	3	4	5
SiO ₂	51,43	58,32	57,50	54,0	53,07
TiO ₂	0,76	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	17,36	20,88	10,1	16,5	18,28
Fe ₂ O ₃	5,43	4,15	3,9	6,1	3,43
MnO	Spur	-	-	-	0,58
CaO	2,20	2,19	7,7	4,0	1,24
MgO	2,82	1,10	1,1	0,7	1,31
K ₂ O	4,22	3,91	6,4	10,0	4,17
Na ₂ O	4,28	4,11	6,4	10,0	3,73
H ₂ O	7,58	5,87	12,6	7,7	12,78

- 1 : Rheinischer Tuff vom Tönissteiner Tal (VÖLZING [1])
 2 : " " von Tönisstein (BRUHNS [14])
 3 : " Traß von Andernach (CHATONEY u. RIVOT [15])
 4 : " " von " ([15])
 5 : " " von Plaidt (HILT [15])

Abb. 12: Chemische Zusammensetzung rhein. Tuffe
(aus: LUDWIG und SCHWIETE 1961)

Über die chemische Zusammensetzung von Tuffsteinen schreibt HIRSCHWALD (1912):

"Die chemische Zusammensetzung der vulkanischen Tuffe ist eine überaus verschiedene, ohne daß ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen dem Wetterbeständigkeitsgrad des Gesteins und seinem Gehalt an Kieselsäure, Tonerde, Eisenoxyd und Alkalien zu erkennen wäre. In einer größeren Anzahl untersuchter Tuffe schwankte der Gehalt der in Salzsäure unzersetzbaren Bestandteile zwischen 28.96 und 58.79 % und der Gehalt an abgeschiedener Kieselsäure zwischen 4.88 und 36.89 %. Im Salzsäureauszug wurden gelöst: Al_2O_3 0.31 bis 19.67 %, Fe_2O_3 0.93 bis 22.67 %, CaO 0.59 bis 34.40 %, MgO 0.43 bis 2.13 %, K_2O 0 bis 4.78 %, Na_2O 0.46 bis 6.02 %, CO_2 0.28 bis 26.69 %. Der Glühverlust betrug 1.34 bis 10,68 %.

Das Gesamtergebnis der ausgeführten Untersuchungen war folgendes: In den wetterbeständigen Abänderungen der Phonolith- und Trachyt-tuffe schwankt der Gehalt an kohlensaurem Kalk zwischen 1.9 und 3.2 %. Es gibt aber auch Tuffsteine mit einem Kalkgehalt von 40 - 60 % und solche Abänderungen haben sich durchweg als wetter-unbeständig erwiesen. Die guten Tuffe ergaben einen in Salzsäure nicht zersetzbaren Rückstand von 32 bis 47 %, die schlechteren dagegen nur einen solchen von 23 bis 28 %.

Die in den Phonolithtuffen eingeschlossenen Bimssteinbrocken haben nahezu dieselbe Zusammensetzung wie das Gesamtgestein. Trotzdem ist das Verhalten beider gegen Säuren ein sehr verschiedenes. Während von der betreffenden Bimssteinsubstanz 87 bis 95 % durch Salzsäure zersetzt wurde, betrug die zersetzbare Substanz im bimssteinfreien Gestein nur 23 bis 47 %. Entsprechend diesem Verhalten ist auch die Verwitterung der Bimssteinbrocken eine beträchtlich stärkere als die der übrigen Tuffsubstanz, und es erwiesen sich deshalb stark bimssteinhaltige Tuffe durchgängig als minderwertig."

1.2 Tuff-Natursteinindustrie des Laacher-See-Gebietes

1.2.1 Zeitphasen der Tuff-Natursteinindustrie des Laacher-See-Gebietes

Zur Geschichte der Basaltlava- und Tuffindustrie in der Eifel schreibt BREIDLING (1936):

"Daß die Basaltlava- und Tuffindustrie schon sehr alt sein muß, zeigen viele Funde in der Eifel und den Nachbargebieten."

Während der Handel mit Basaltlava schon 3000 v. Chr. sehr ausgedehnt war, scheinen die Verwendungsmöglichkeiten für Tuff noch nicht so groß gewesen zu sein, da er in älteren Schriften weniger erwähnt wird. Es läßt sich jedoch belegen, daß schon die Kelten in vorrömischer Zeit Tuffstein verwandten.

Mit der Besiedlung durch die Römer setzte ein intensiver Abbau ein. In einer Druckschrift der Fa. TUBAG (1941) wird gesagt, daß den Römern aus den vulkanischen Gebieten ihrer Heimat die Art und Verwertung der Gesteine, wie sie die Vordereifel bot, bekannt war und daß sie von diesen Werkstoffen bei ihren kolonisationsarbeiten Gebrauch machten. HOSS (1922) sagt dazu:

"Zwar verwandten sie lieber den Brohl- und Netteltuff, der zum Abtransport günstiger und größeren, römischen Ansiedlungen näher lag ... jedoch auch in Weibern befand sich eine größere, römische Niederlassung ..."

Die Römer benutzten den Traß des Laacher-See-Gebietes als Baustein, als Mörtelbildner und als Werkstoff für den bildenden Künstler (Druckschrift der Fa. TUBAG 1941).

"Der Stein wurde hauptsächlich in Gestalt sog. Tuffziegel zur Verkleidung von Gußmauerwerk, dann aber auch in größeren Blöcken zu Gebäudesockeln, Eckquaderungen benutzt. Seltener ist die Verwendung des Steines zu Gesimsen, Säulen, Basen und Kapitälern, Wasserleitungen, Untersätzen für Holzstützen und dgl. mehr. Die Porosität des Steines und seine Einsprenglinge setzten seiner Verwendung jedoch Grenzen. So sind kaum Bildwerke aus ihm hergestellt worden und wenn, dann anscheinend im allgemeinen nur solche

geringeren Anspruchs an Dauerhaftigkeit und Feinheit der Arbeit. Hier gibt man durchweg Kalk- und Sandsteinen den Vorzug. ... Seine zweite Hauptverwendung fand der Tuffstein im Grabbereich, indem er seit der Mitte des 1. Jhs. in zunehmendem Maße zu Behältern für die Beisetzung der Leichenbrandurne samt Beigefäßen, seit der Mitte des 3. Jhs. auch zu Sarkophagen verarbeitet wurde. In der unmittelbaren Nachbarschaft der Steinbrüche behauptet er, soweit man überhaupt zu steinernen Behältern für die Asche oder den Körper der Toten schritt, allein das Feld. In der weiteren Umgebung, besonders an Plätzen mit aufwendigerem Lebensstil, treten wieder Kalk- und Sandsteine in scharfe und wegen ihrer Dauerhaftigkeit überlegene Konkurrenz zu unserem Tuffstein und drängen ihn zurück. Die Verhältnisse in Bonn (Münstergrabung) und Köln (St. Severin) können als typisch angesehen werden. ... Die Verwendung dieses Steines in römischer Zeit hat noch keine zusammenfassende Darstellung gefunden, und es ist infolgedessen nicht möglich, eine auch nur annähernd ausreichende Vorstellung vom Umfang der Tuffsteinverwendung zu geben. Am großartigsten tritt uns diese im römischen Bauwesen in den konservierten Teilen der Kölner Rathausgrabung, und zwar in allen Bauperioden vom 1. bis 4. Jh. entgegen, sowie in den öffentlichen Bauten der Colonia Traiana bei Xanten. ... Seine große Beliebtheit im römischen Bauwesen verdankt der Tuffstein wohl hauptsächlich seiner leichten Bearbeitungsmöglichkeit und seiner günstigen Lage zu dem weiten steinarmen Gebiet des Niederrheins einschließlich Hollands " (RÖDER 1957) .

Die Römer bauten den Tuffstein zuerst im Brohltal ab, später aber auch in der Gegend der heutigen Orte Kruft, Kretz und Plaidt, wo die Gewinnung bergmännisch in vorschriftsmäßigem Stollenbau bis zur Grundwasserlinie betrieben wurde (Druckschrift der Fa. TUBAG 1941) .

"Der Traß ist hier (Anm.: Nettetalgebiet) viel schwerer zugänglich als im Brohltal, da er nicht von unten her, von einer Talsohle aus, abgebaut werden kann " (DIENEMANN und BURRE 1929) .

KOLLBACH (1917) schreibt über die Verwendung des Weiberner Tuffs:

"Man findet kaum eine Niederlassung der Römer in den Rheinlanden bis weit stromabwärts bis nach Xanten und in die Niederlande hinein, in deren Trümmer man nicht die Reste und Bruchstücke von Bausteinen, Denkmälern und Ornamenten antröfe, die aus Weiberner Tuffstein gearbeitet sind."

Es muß jedoch nochmals betont werden, daß die Hauptmasse des zur Römerzeit gebrochenen und verwandten Tuffsteins aus dem Brohltal und Nettetalgebiet stammt.

"Etwa 455 nach Christus wurde dieser ersten rheinischen Blütezeit und mit ihr der rheinischen Tuffindustrie durch das Eindringen der Germanen (Franken) ein jähes Ende gemacht " (HOSS 1922)

"Die Germanen hatten infolge ihrer noch nicht so weit entwickelten Kultur weniger Verwendung für Tuff, weshalb sie viele Fundstellen vernachlässigten " (BREIDLING 1936).

Während der Frankenzeit, in der alles Römische verachtet wurde, errichtete man lieber Holzhäuser anstatt Steinbauten. Zwar finden sich fränkische Tuffsarkophage, doch

"die Sitte, Sarkophage aus Tuffstein herzustellen, erlischt schließlich in fränkischer Zeit völlig, um nie mehr aufzuleben " (RÖDER 1957)

"Als sich jedoch in den folgenden Jahrhunderten ein geringer Bedarf auslöste, wurden die Ruinen römischen Bauten zu Steinbrüchen, ein Los, dem nach einem Jahrtausend auch die Mauerwerke der rheinischen Burgen zum Opfer fielen " (HOSS 1922)

"Römische Ruinenstätten bildeten noch lange Zeit hindurch Steinbrüche nicht nur für Privat-, sondern auch für Kirchenbauten " (JACOBS 1914)

"Erst in romanischer Zeit erobert sich der Tuffstein der Vordereifel wieder seine alte Stellung im Bauwesen und auch sein Verbreitungsgebiet römischer Zeit und dringt darüber hinaus in die nordischen Länder vor" (RÖDER 1957).

"Die größte Aufschwungsperiode bringt das hohe Mittelalter mit seinen staatspolitischen und religiösen Tendenzen, die sich in dem stark einsetzenden Burgen-, Städte- und Kirchenbau niederschlugen. Wollte man aus dieser Zeit alle Baulichkeiten aus Eifeler Basaltlava und Tuff aufzählen, könnte man ein ganzes Buch zusammenschreiben. Sie begegnen uns im Rheinland auf Schritt und Tritt " (BREIDLING 1936)

RÖDER (1957) schreibt dazu:

"Zur Mauerverkleidung, ja zu massivem Mauerwerk an Kirchen- und Klosterbauten, späterhin auch zu Stadtmauern und an städtischen Repräsentationsbauten wird der Tuffstein des Brohl- und Nettetales in großem Ausmaß verwandt. Zur Bauplastik (Gesimsen, Zierfriesen, Kapitälern, Schlußsteinen und Gewölberippen) und in gotischer Zeit, als die Sitte der Mauerverkleidung stark zurückgeht, zu Fenstermaßwerken, Fialen usw. wird jetzt aber durchweg der Leuzittuff von Weibern wegen seiner gleichmäßigen Beschaffenheit verwandt. ... Man hat vor allem den Weiberner Stein dann auch zu Relief- und freiplastischen Arbeiten, auch solchen hoher Qualität bis zur Renaissancezeit vielfach benutzt, wenn auch der Tuffstein sich gerade hier, wie zur römischen Zeit, nur in Ausnahmefällen durchsetzen konnte gegenüber härteren Werksteinen (Kalken, Sandsteinen, Marmoren)."

Während des romanischen Mittelalters entstehen überall Dome, Kirchen und Klöster, bei deren Bau Tuffe Verwendung fanden.

Auf Wasserstraßen wird der Tuff auch in weitere Gebiete Deutschlands gebracht. Die im 12. Jahrhundert erbaute St. Johanniskirche in Schleswig und der aus dem 13. Jahrhundert stammende Dom zu Bremen zeugen davon.

Aufgrund der Lage und Besitzverhältnisse der Tuffsteinbrüche ist erklärlich, daß fast sämtliche Kölner Kirchen und solche des Erzstiftes überhaupt Verbauung von Traßziegel aufweisen (JACOBS 1914).

Mit dem gotischen Mittelalter beginnt eine neue Bauepoche.

"War für die romanische Zeit die Kirche und das Kloster Architekturcharakteristikum, so wird es jetzt das festliche Profangebäude der zusammengeschlossenen Gemeinschaften, das Gildenhause, das Rathaus, nicht aber, wirtschaftlich gesehen, der gotische Dom. So entstehen z.B. in Köln in dieser Zeit neben dem Dom (1248-1880), bei dem in allen Bauperioden Tuff verwandt wurde, der Gürzenich und das Rathausportal aus Tuff (letzteres 1571). Auch die vielen reich ausgeführten, alten Kölner Patrizierhäuser zeigen volle Tuffverwendung" (HOSS 1922).

Die Verwendung des Trachyttuffes als Naturbaustein geht jetzt aber immer mehr zurück. RÖDER (1959) schreibt dazu, daß die Tuffsteingewinnung im Brohltal- und Nettetalgebiet für Bau- und Werksteine

bereits in der Mitte des 16. Jahrhundert stark zurückgegangen war und jetzt die Traßherstellung, also das Vermahlen der Tuffsteine zum Mörtelzuschlag, einen gewaltigen Aufschwung verzeichnete.

"Das letzte größere Bauwerk, bei dem Traß benutzt wurde, ist nach JACOBS die 1843 vollendete Apollinariskirche in Remagen " (DIENEMANN und BURRE 1929).

Die im Laufe der Zeit abgebauten Römertuffe entstammen dabei verschiedenen Horizonten. Während zur Römerzeit die Hauptmasse der obersten Partie und auch noch hochgelegene Teile des gelben Trasses im Nettetagebiet gebrochen wurden, standen dem Mittelalter nur noch die unteren Partien zum Abbau zur Verfügung.

"Es ist schon öfter darauf hingewiesen worden, daß bei dem von den Römern verwandten Tuffsteinmaterial die Bimseinsprenglinge frisch, fest und unverwittert sind, während bei vielen mittelalterlichen Bauten Tuffsteine auftreten, deren Bimskörner braun und mehlig sind und leicht auswittern, bzw. in den Bauten längst ausgewittert sind, und die Tuffsteine dadurch eine pockennarbige, gelegentlich fast schwammige Oberfläche zeigen. Die heilen Bimssteine kommen nun in der Pellenz (Anm.: Nettetagebiet) überwiegend, wenn auch nicht ausschließlich, im Römertuff (Anm.: oberster nicht mehr im Abbau befindlicher Tuffsteinhorizont), die anderen in den unter dem Tauch liegenden Tuffsteinschichten (Anm.: unter Tuffsteinhorizont) vor, so daß damit bis zu einem gewissen Grade ein Hinweis auf die bruchmäßige Herkunft der Steine gewonnen ist. Die starke Zerstörung der Bimssteine in den an mittelalterlichen Bauwerken verwandten Tuffsteinen zeigt, daß diese aus dem unteren Tuffstein stammen müssen" (RÖDER 1959).

"Eine kritiklose Verwendung mehligiger Gesteinspartien schon in alter Zeit hat diesen Stein - neben dem allgemeinen Rückgang der Tuffsteinverwertung zu Beginn der Neuzeit - zu Unrecht etwas in Verruf gebracht" (RÖDER 1957).

Zwar fanden die Tuffe des Laacher-See-Gebietes während dieser Zeit große Verbreitung, der Handel mit Tuffsteinen konnte sich aber nicht über alle Landesgrenzen hinaus ausbreiten. Dafür zeichneten sich verschiedene Abgaben wie z.B. Inlandzölle verantwortlich, die die Steinprodukte verteuerten.

"Mit dem Zerfall der Städtewirtschaft hatte aber auch die Basaltlava- und Tuffindustrie ihre Blütezeit überschritten " (BREIDLING 1936).

Der sinkende Wohlstand der Städte drängt die Steinmetzindustrie zu Boden.

"Die Industrie stirbt zunächst langsam ab, bis der 30-jährige Krieg und mehr noch der französische Raubkrieg unter Ludwig XIV. (1689) eine restlose Depression bringen ..." (HOSS 1922).

HOSS (1922) erwähnt weiter, daß im Tuffgebiet Weibern, Rieden und Ettringen das letzte Unternehmen 1787 die Tätigkeit einstellte. Trotzdem haben die Anwohner wohl in der Zeit danach Tuffsteine lokal verbaut.

Erst in der Mitte des vorigen Jahrhunderts, als die Industrie ihren Aufschwung verzeichnete und die Bevölkerung wuchs, stieg mit dem Bau von Börsen, Warenhäusern, Hotels, Verwaltungsgebäuden und dem ausgedehnten Wohnungsbau wieder der Bedarf an Tuff. Neue Techniken und verbesserte Transportmöglichkeiten erleichterten dabei den Absatz.

"Aber nicht nur die verbreiterte Absatzbasis hob die Steinmetzindustrie. Wichtiger als sie war die Bedarfsvermehrung durch die veränderte Bauweise. Der vermehrte Reichtum erzeugte einen gewissen Bauluxus. Man kann sich wieder Steinbauten leisten " (HOSS 1922).

"Auch die Riedener Steinmetzindustrie erholt sich etwas. Wichtig ist es, daß hier von alters her noch Maßwerk für Kirchenfenster und ähnliche Steinmetzarbeiten, in bescheidenem Maße allerdings, angefertigt worden waren " (HOSS 1922).

Ab Mitte des 19. Jahrhunderts, z.T. auch schon früher, wird der Tuff nicht mehr am Verwendungsort, sondern bereits im Steinbruch verarbeitet.

"Diese Tatsache nun ruft die Ettringer Tuffstein-Industrie ins Leben. Dem Ettringer Tuff ist es nämlich eigentümlich, daß er das oft lange Lagern an der Baustelle, zumal über Winter, nicht verträgt. Die in seinen großen Poren stehende Bruchfeuchtigkeit drückt das Gestein durch die Gefrierausdehnung auseinander " (HOSS 1922).

Aber auch technisch verbesserte Verarbeitungsmöglichkeiten kamen dem Ettringer Tuff zugute.

"Die südlich abgelagerten Tuffe hatten wegen ihres groben Kornes und ihrer schwierigen Bearbeitung bei den Alten wenig Anklang gefunden. ... Die eigentliche planmäßige Betreibung der Ettringer Steinbrüche zur Gewinnung von Bausteinen wurde jedoch erst in den letzten Jahrzehnten aufgenommen. Erst die moderne Architekturrichtung, die sogenannte Darmstädter Richtung, die nicht in der Häufung überladener Motive, sondern in glatten Flächen mit Risalitteilung, kräftiger, klarer Gliederung, sachlicher Ausgestaltung der Einzelheiten und der natürlichen Wirkung des Gesteines ihren Ausdruck findet, brachte die den rauhkörnigen Tuffen eigene Schönheit richtig zur Geltung und beeinflusste die Entwicklung der Tuffbrüche in günstigem Sinne. Das granitische Gefüge der rauhkörnigen Leuzittuffe scheint für die neuzeitliche Formgebung mit ihrem straffen und energischen Charakter, der künstlerischen Verkörperung unserer heutigen Denk- und Arbeitsweise, wie geschaffen. Das lichtgetönte, durch die mannigfachen Einschlüsse belebte Gestein erzielt nicht nur bei glatten Wandflächen, sondern auch bei reicherer Profilierung eine prächtige Wirkung. Wenn der feinkörnige Weiberner Stein zu den feinsten Bildhauerarbeiten, namentlich der Innenarchitektur, tauglich ist, so ist das Hauptgebiet des rauhkörnigen Tuffes der Monumentalbau. Das kräftige Aussehen und das starke Korn eignet den rauhkörnigen Tuff in hervorragender Weise zur Erzielung einer Massenwirkung bei großen Ornamenten, Bekrönungsgruppen einer Fassade, kräftig gegliederten Architraven, Gurt- und Hauptgesimsen. Diese Erkenntnis hat dann auch eine weitgehende Anwendung der Leuzittuffe der Eifel zur Folge gehabt, wie eine aufmerksame Wanderung durch die Geschäftsstraßen und die Villenviertel unserer Großstädte zeigt " (GUTACKER 1917).

Der Ettringer Tuff wurde aber schon im Mittelalter als Werkstein benutzt, unter anderem an der Clemenskirche (14. Jahrhundert) in Mayen (BREIDLING 1936).

Nach dem 1. Weltkrieg sinkt der Absatz, die Tuff-Natursteinindustrie verliert allmählich ihre Bedeutung. Eine Produktionsstatistik der Jahre 1880 bis 1933 aus BREIDLING (1936) ist in Abb. 13 dargestellt.

Produktionsstatistik			
Jahr	Basaltlava	Tuff in Tonnen	Traß
1889	12 022	—	—
1890	57 782	—	—
1900	78 585	—	—
1904	97 203	—	—
1906	145 506	—	—
1908	206 220	—	—
1910	421 541	—	—
1913	572 036	44 544	203 332
1919	374 360	9 525	26 713
1920	296 643	16 536	99 911
1921	373 503	13 928	25 415
1922	413 093	17 977	62 656
1923	198 932	6 304	76 917
1924	162 542	7 749	88 195
1925	386 820	17 699	42 370
1926	347 916	11 677	47 820
1927	515 568	16 247	61 465
1928	520 441	13 669	51 372
1929	546 909	18 069	42 750
1930	291 876	8 427	66 076
1931	243 230	7 023	55 054
1932	212 059	2 769	32 254
1933	313 316	3 591	37 314

Abb. 13: Produktionsstatistik der Natursteinindustrie des Laacher-See-Gebietes (aus BREIDLING 1936)

Einen Überblick über die "Leuzittuff"-Industrie der Jahre 1913 und 1921 nach HOSS (1922) gibt Abb. 14. Hierbei sind geringe Unterschiede für die Produktionszahlen zu berücksichtigen. Während im Jahre 1913 noch über 1000 Arbeiter die "Leuzittuffe" brachen, war schon 1924 die Belegschaft auf 100 Arbeiter zurückgegangen (Druckschrift der Fa. TUBAG 1941). Zu erwähnen ist noch, daß in der Zeit nach dem 1. Weltkrieg dünne, gesägte Platten zu Verblendungen auf den Markt eingeführt wurden, deren Produktion durch technische Verbesserungen an der Steinsäge möglich wurden (BREIDLING 1936).

"Leucittuff"				
Verteilung	Ort	1913	1921	Verwendung
	Rieden	0.3 ‰	-	Geröll 6 ‰
	Bell	0.7 ‰	4 ‰	Platten und Gewölbesteine 9 ‰
	Weibern	49 ‰	41 ‰	
	Ettringen	50 ‰	55 ‰	Rohblöcke 5 ‰
Produktion	41609 t	12198 t	Bildhauer- arbeiten 4 ‰	
Anzahl Betriebe	70	31		
Anzahl Arbeiter	1002	401	Steinmetz- arbeiten 76 ‰	

Abb. 14: "Leuzittuff"-Industrie des Laacher-See-Gebietes der Jahre 1913 und 1921
(nach HOSS 1922)

Der Vollständigkeit halber soll noch darauf hingewiesen werden, daß es mehrere Tuffsteinlager bei Glees (s. Abb. 10) gibt, die jedoch nur lokales Interesse besitzen. Eine große Verbreitung dagegen fand in ganz Westdeutschland vom Ende des 18. Jahrhunderts an der Beller-Stein (s. Abb. 10) im Backofenbau, der aber auch schon früher aufgrund seiner Eigenschaften geschätzt wurde (RÖDER 1957). Auf die Tuffsteine von Maria Laach wurde bereits zuvor eingegangen (vgl. Kap. 1.1.3.3).

Heute hat der Tuff des Laacher-See-Gebietes als Werkstein seine große Bedeutung verloren. Die wenigen heute noch in Betrieb befindlichen Steinbrüche liefern dagegen nur noch Material für einzelne Bauvorhaben. Allerdings erfreuen sich die Tuffe für Restaurierungsarbeiten größerer Nachfrage. Zur Zeit wird der Tuff des Laacher-See-Gebietes etwa von einem halben Dutzend Firmen in ca. ebensovielen Brüchen abgebaut und als Naturstein weiterverarbeitet.

1.2.2 Verbauungsbeispiele

In diesem Kapitel werden Verbauungsbeispiele angeführt, bei denen Tuff-Natursteine zur Anwendung kamen. Hierbei wurde der Standort der Bauwerke berücksichtigt und eine entsprechende Unterteilung in

1. Deutschland
2. Ausland

vorgenommen. Zu beachten ist jedoch, daß diese Auflistung aus älterer Literatur, fast ausschließlich aus der Zeit vor dem 2. Weltkrieg, zusammengestellt wurde und somit Zerstörungen der Bauwerke bzw. sonstige Veränderungen möglich sind. Ferner sind Doppelnennungen möglich, da verschiedene Autoren bestimmte Bauwerke nicht ausführlich benennen. Die in den nachfolgenden Kapiteln 1.2.2.1 und 1.2.2.2 hinter den Verbauungsbeispielen angeführten Zahlen geben Auskunft über die Literaturquellen, während das verwendete Tuffsteinmaterial durch Buchstaben gekennzeichnet ist:

- 0 : SLINGER, JANSE, BERENDS (1980)
- 1 : DIENEMANN und BURRE (1929)
- 2 : GRAEPEL (1899)
- 3 : GUTACKER (1917)
- 4 : HERRMANN (1899)
- 5 : HIRSCHWALD (1910)
- 6 : HOSS (1922)
- 7 : JACOBS (1914)
- 8 : KRAUSE (1912)
- 9 : NANDELSTAEDT (1910)
- 10 : RÖDER (1957)
- 11 : Druckschrift der Fa. TUBAG (1941)
- 12 : Zeitschrift VULKANISCHE BAUSTOFFE (1927)
- 13 : WOLF (1923)

- A : Selbergittuff (Phonolithtuff)
- B : Trachyttuff (Traß)
- C : Ettringer Tuff
- D : Weiberner Tuff
- E : Riedener Tuff
- F : Brohltaltuff
- G : Nettetaltuff
- H : roter Laacher-See-Tuff

◦ für Natursteinbruch (Steinbruch) zu verwenden

1.2.2.1 Deutschland

Aachen

Chemisches Laboratorium: 9
Gewerbeschule: 9
Kaiser-Karl-Gymnasium: 12C
Technische Hochschule: 2A, 9, 12C

Ahrweiler

Weißer Turm (13. Jh.): 5D

Altenberg

Kirche: 13

Andernach

Kirchen (12. Jh., 13. Jh.): 2A, 3A, 6, 7B, 9, 10B, 11, 13
Provinzial-Irrenanstalten: 9

Asbach

Amtsgerichtsgebäude (um 1850): 5D

Aspel-Rees

Klosterkirche: 11

Bad Nauheim

Grand Hotel: 3A

Barmen

Kriegerdenkmal: 9

Berlin

Bergakademie: 3A, 4D, 9, 12D
Bismarckmausoleum: 7A
Charlottenburger Brücke: 1A, 3A, 12C
Eisbahnzentralamt: 3A, 12C
Evangelische und Katholische Garnisonskirche Hasenheide: 3A
Geologische Landesanstalt: 1A, 3A, 9, 12D
Geschäftshäuser, Hotels: 3A, 8C, 9, 12C, 12D
Landwirtschaftliches Museum: 3A, 7A, 9

Landwirtschaftliche Hochschule: 4D, 8C
Museum für Naturkunde: 1A, 4D
Oberverwaltungsgericht: 8C
Reichmilitärgericht: 8C

Bonn

Evangelische Kirche: 3A, 9
Münster (11.-13. Jh.): 3A, 5E, 6, 7A, 9, 11, 13
Provinzial-Irrenanstalten: 9
Rathaus (18. Jh.): 5D
Sterntor (16. Jh.): 5E

Bremen

Dom (13. Jh.): 6, 13
Geschäftshäuser: 12C
Unterführung Sebaldsbrück: 12C

Darmstadt

Bahnhofshotel: 3A
Hauptbahnhof: 3A
Landesmuseum: 3A, 9
Landwirtschaftskammer: 3A
Technische Hochschule: 3A

Dortmund

○ Bahnhofspostamt: 3A, 12C
Bergwerksberufsgenossenschaft: 3A
Geschäftshäuser, Hotels: 3A
○ HansaHaus: 3A, 12C
○ Hauptbahnhof (Empfangsgebäude): 3A, 12C
○ Krankenhaus der Barmherzigen Brüder: 8D
Krügerhaus: 3A
Oberbergamt: 3A
Oberpostdirektionsgebäude: 9
Stadttheater: 3A, 9
○ Verwaltungsgebäude "Union": 12C

Düsseldorf

- o Gesolei, Bauerbauten, Ausstellungshallen: 12C
- o Hotels: 3A, 12C
- o Johanniskirche: 4D
- o Kirche in Rath: 8D
- o Königliches Gymnasium: 9
- o Krankenhaus Heilig Geist: 12C
- o Kunstakademie (um 1900): 2A, 3A, 4D, 5F, 7A, 9
- o Kunsthalle: 3A, 4D
- o Lambertus Kirche (15. Jh.): 5F
- o Provinzialständehaus: 2A, 4D, 7A, 9
- o Rheinbrücke: 3A
- o Staatsarchiv: 3A

Duisburg

- o Salvatorkirche (15. Jh.): 5F

Elberfeld

- o Rathaus: 9

Emmerich

- o Adelgundiskirche (16. Jh.): 3C, 5F
- o Martinikirche (12.-16. Jh.): 5F

Essen

- o Börse: 12D
- o Stadttheater: 9

Euskirchen

- o Gymnasium: 8D
- o Rathaus: 8D

Frankfurt

- o Bauten des Zentralfriedhofes: 3A
- o Börse: 1A, 3A, 4D, 7A, 9
- o Eisenbahn-Oberbeamtenhaus: 8C
- o General-Anzeiger: 12C
- o Gerichtsgefängnis: 8C
- o Geschäftshäuser, Hotels: 3A, 12C
- o Hauptbahnhof-Erweiterung (Empfangsgebäude): 12C
- o Reichsbankhauptstelle (um 1885): 5F

Städel'sches Institut: 4D
Südbahnhof (Empfangsgebäude): 3A, 8C, 12C
Villa Metzler: 9

Geestemünde

Bahnhof (Empfangsgebäude): 3A

Gerresheim

◦ Katholische Kirche (13.-14. Jh.): 5F

Godesberg

◦ Schloßruine: 5D

Haag

Postdirektionsgebäude: 12C

Hamburg

Alsterpavillon: 3A
Bahnhofspostamt: 3A, 8C, 12C
Geschäftshäuser, Hotels: 3A, 8C, 12C, 12D
Hansa-Galerie: 3A
Hauptbahnhof (Empfangsgebäude): 1A, 3A, 8C, 9, 12C
Haus Roland: 12D
St. Pauli-Landungsbrücke: 3A, 12C
Südseehaus: 12C
Villa Ballin: 3A

Hannover

Eisenbahn-Unterführungen: 12C
Grabdenkmal: 3A
Landesbrankasse: 12C
Landeskredianstalt: 12C
Oberpostdirektion: 1A, 3A
Rathaus: 3A, 9, 12C
Stadthalle: 8C
Verwaltungsgebäude Continental: 12C

Heisterbach

Chorruine (13.Jh.): 5F
Klosterkirche: 9

Hochetten

Stifts- und Pfarrkirche: 5F

Honnef

o Pfarrkirche (16. Jh.): 5F

Kaiserswerth

o Katholische Kirche (13.-14. Jh.): 5F

Kalk

Kaserne: 3A

Offizierskasino: 3A.

Kalkum

o Katholische Kirche (13. Jh.): 5F

Kempen

o Pfarrkirche (14. Jh.): 5F

Kempenich

Kirche (15. Jh.): 6

Kiel

Kunstmuseum: 3A, 12C

Knechtsteden

o Prämonstratenser Abteikirche (12. Jh.): 3A, 6, 7A

Kobern

Mathiaskapelle (14. Jh.): 5D

Koblenz

Altkatholische Kirche: 12D

Christuskirche: 12D

Geschäftshäuser, Hotels: 12C

Handwerkskammer: 12C

Hauptsteueramt: 3A

Hauptbahnhof: 8D, 12D

Herz-Jesu-Kirche: 3A, 12C

Kirche: 13

Kreishaus: 12D

Mittelrheinische Bank: 3A

Polizeidienstgebäude: 3A, 12C

Regierungsgebäude: 3A, 12C

St. Josefskirche: 3A

Köln

Agrippinahaushaus: 3A
Archiv: 9
Bankvereinsgebäude: 3A, 7A, 9
Bibliotheksgebäude: 3A, 7A, 9
Dom (1248-1880): 3A, 5F, 6, 9
Friedrich-Wilhelm-Gymnasium: 2A
Geschäftshäuser: 3A, 12C
Gewerbeschule: 4D
Groß-St. Martin (13. Jh.): 5F
Gürzenich (15. Jh.): 3A, 5F, 6
Handelsschule: 9
Hauptpostgebäude: 12D
Herz-Jesu-Kirche: 3A
Kriegerdenkmal (Germania): 9
Markthalle: 3A
Museum: 4D, 7A, 9, 12D
Oberpostdirektionsgebäude: 3A, 7A, 9
Opernhaus: 12C
Ostasiatisches Museum: 12C
Pauluskirche Archiv: 3A
Patrizierhäuser: 6
Rathausportal (16. Jh.): 3A, 6, 7A, 9
Teehaus der deutschen Werkband-Ausstellung: 3A
Theater: 4D, 9
St. Andreas (13. Jh.): 5F
St. Apostel (13. Jh.): 5F
St. Cunibert (13. Jh.): 5F
St. Georg (13. Jh.): 5F
St. Gereon (13. Jh.): 3A, 5F, 6
St. Maria a. d. Kapitol (11.-13. Jh.): 5F
St. Maria in Lyskirchen (13. Jh.): 5F
St. Severin (13. Jh.): 5F
St. Ursula (13. Jh.): 5F
Wallraff-Richartz-Museum: 2A, 3A

Krefeld

Kavallerie-Kaserne: 3A, 9
Marienkirche (Turnhelm): 3A, 9

Langendreer

Reichsbank: 9

Lehe

Bahnhof (Empfangsgebäude): 3A

Lichtenberg

Krankenhausbauten: 8C

Lippstadt

Reichsbank: 9

Magdeburg

Königsbrücke: 9

Mannheim

Krankenhausneubauten: 3A
Kunsthalle: 3A

Maria Laach

Fiskalische Kirche (12. Jh.): 5H, 7B, 10H, 11, 13
Hotel: 1B, 10H
Kloster (12. Jh.): 1B, 2A, 3A, 6, 9

Mayen

Pfarrkirche (14. Jh.): 3A

Mönchengladbach

o Abteikirche (13. Jh.): 5F

Mühlheim a.d. Ruhr

Institut für Kohleforschung: 3A
Synagoge: 8D

München

Deutsches Museum: 3A, 8C, 12C
Geschäftshäuser: 9
Nationalmuseum: 12D
Telgraphen-Kaserne (Portal): 8C, 12C
Versicherungsbank: 3A, 8C

Neuß

o Franziskanerkirche (17. Jh.): 5F
o Quirinuskirche (13. Jh.): 3A, 3C, 5F

Neuwerk

Klosterkirche (13. Jh.): 5F

Neuwied

Gymnasium (um 1850): 5D

Niederdollendorf

Romanischer Turm (12. Jh.): 5F

Nürnberg

Burgruine (13. Jh.): 5D

Oberdollendorf

Romanischer Turm (12. Jh.): 5F

Oberkassel

Kapelle des Schlosses Kommende (Turmhelm): 3A, 9

Ohligs

Brunnenanlage im Engelsberger Hof: 3A

Paderborn

Generalvikariatsgebäude: 9

Plauen

Markuskirche: 3A

Quedlinburg

Infanterie-Kaserne: 3A

Recklinghausen

Kreishaus: 9

Reifferscheid

Kirche (13. Jh.): 5D, 7A

Remagen

Apollinariskirche (1843): 1B, 6B, 10B

Rheydt

Rathaus: 9

Rodder

Kirche (13. Jh.): 5D, 7A

Schleswig

St. Johannis-Klosterkirche (11., 12. Jh.): 5F, 6, 11

Schneidmühl

Katholische Kirche: 3A

Schuld

Kirche (13. Jh.): 5D, 7A

Schwarzrheindorf

Doppelkirche (12. Jh.): 3A, 6, 7A, 13

Schwerin

Geschäftshäuser: 3A

Simmern

Epitaphium des Herzog Reichardt in der
Stephanskirche (1598): 3A

Sinzig

Kirche (13. Jh.): 6, 7A, 9, 13

Stuttgart

Geschäftshäuser: 3A

Trier

Grabmal des Erzbischofs Johann III im Dom (1540): 11
Regierungsgebäude: 9

Wanderath

Kirche (13. Jh.): 5D, 7A

Welchenrath

Kirche (12. Jh.): 5D, 7A

Werden a.d. Ruhr

Abteikirche (Westbau) (12. Jh.): 5F
Abteikirche (Basilika) (13. Jh.): 5F

Wesel

Kasernenbauten: 3A
Maria-Himmelfahrts-Kirche: 12C
Mathena-Kirche (Ausbesserungsarbeiten): 3C
Willibrodkirche (16. Jh.): 5F

Wiesbaden

Kaiser-Friedrich-Bad: 3A, 12C
Landesbibliothek: 3A, 8C, 12C
Lyzeum: 3A, 12C
Museum: 3A, 12C

Xanten

Dom St. Victor (14. Jh.): 5D, 7A, 11

1.2.2.2 Ausland

B e l g i e n

Brügge:

St. Janshospital: OB

Damme:

Kirche: OB

F r a n k r e i c h

Straßburg:

Münster: 11

N i e d e r l a n d e

Achlum:

Kirche (12. Jh.): OB

Alphen a.d. Maas:

Kirche (10. Jh.): OB

Andelst:

Kirche: OB

Angerlo:

Kirche: OB

Appelrem:

Kirche (12. Jh.): OB

Arnhem:

Kirche: OB

Beekbergen:

Kirche: OB

Bergen:

Ruinenkirche: OE

Bozum:

Kirche: OB

Delft:

Technische Hochschule: 12C

Deventer:

Lebuinuskirche (11.Jh.): OB

Doodewerd:

Kirche: OB

Doorn:

Kirche: OB

Dordrecht:

Kirche: OE

Echteld:

Kirche: OB

Ede:

Kirche: OB

Ellecom:

Kirche (12.Jh.): OB

Elst:

Kirche (10.Jh.): OB

Ermelo:

Kirche: OB

Gendt:

Kirche: OB

Giekerk:

Kirche: OB

Grouw:

Kirche: OB

Hallum:

Kirche: OB

Hantum:

Kirche (12.Jh.): OB

Jelsum:

Kirche (12.Jh.): OB

Kampen:

Bovenkirche: OB,OE

Kimswerd:

Kirche (12.Jh.): OB

Kockengen:

Kirche: OE

Naarden:

Kirche: OE

Nijmwegen:

Kalkhof-Kapelle (11.Jh.): OB

Oene:

Kirche: OB

Oirschot:

Kirche: OB

Oosterbeek:

Kirche (10.Jh.): OB

Oudewater:

Kirche: OB

Ressen:

Kirche: OB

Rotterdam:

Rathausturm: 12C

Sassenheim:

Kirche (ca. 1100 Jh.): OB

Schevenningen:

Kurhaus: 4D

Spankeren:

Kirche: OB

Tiel:

Kirche: OB

Utrecht:

Janskerk (11. Jh.): OB

Kloostergang: OE

Pieterskerk (11. Jh.): OB

Velp:

Kirche: OB

Warns:

Kirche (12. Jh.): OB

Wassenaar:

Kirche (11. Jh.): OB

Weidum:

Kirche: OB

Wetsens:

Kirche: OB

Wilsum:

Kirche (11. Jh.): OB

Zupthen:

Wallburgs Kirche: OE

Zwolle:

Vrouwekerk: OE

P o l e n

Insterburg:

Pfarrkirche: 3A

Posen:

Eisenbahndirektions-Gebäude: 3A, 12C

Hygienisches Institut: 3A, 12C

Stettin:

Hauptsteueramt: 3A

U d S S R :

Königsberg:

Kirche Ottokarplatz: 3A

Land- und Amtsgericht: 1A, 3A

1.3 Gesteinstechnische Eigenschaften der Tuff-Natursteine

Da es in der Literatur keine zusammenfassende Darstellung über gesteinstechnische Eigenschaften von Tuff-Natursteinen gibt, sind im folgenden einige Veröffentlichungen angeführt, denen verschiedene Untersuchungsergebnisse entnommen werden können:

- HIRSCHWALD (1912): Handbuch der bautechnischen Gesteinsprüfung
(Angaben zu Wasseraufnahme, Festigkeit und Frostbeständigkeit)
- GUTACKER (1917): Die Leuzittuffe der Eifel
(Angaben zu Dichte, Wasseraufnahme, Festigkeit und Frostbeständigkeit)
- FITZNER (1970): Prüfung der Frostbeständigkeit von Naturbausteinen
(Angaben zu Festigkeit, Dichte, Porosität, Porengeometrie, Innere Oberfläche, Wasseraufnahme und -abgabe, Frost-Tauwechsel-Versuche, Salzversuche)
- SLINGER, JANSE,
BERENDS (1980): Natursteen in Monumenten
(verschiedene Angaben)

2. Probenentnahme und Geländearbeit

2.1 Probenentnahme

Für die Probenentnahme wurden die Erkenntnisse der Literaturarbeit, insbesondere die des Kap.1.2.1, Zeitphasen der Tuff-Natursteinindustrie des Laacher-See-Gebietes, berücksichtigt. Zusätzlich wurden Geländebegehungen durchgeführt, um das Tuffstein-Material aus geologischer Sicht für eine sinnvolle Probenentnahme untergliedern zu können.

Diese Aspekte führten zur der Festlegung der Probenentnahmegebiete, die charakteristisch für die im Laufe der Jahrhunderte vorhandenen Abbaugebiete um den Laacher-See sind:

Gebiet I	:	Raum Ettringen
Gebiet II	:	Raum Weibern
Gebiet III	:	Raum Rieden
Gebiet IV	:	Raum Krufft (Nettetalgebiet)

Aufgrund der geologischen Untersuchungen im Gelände wurden für jedes Gebiet zwei Gesteinsvarietäten ausgewählt und wie folgt entnommen:

Gebiet	Varietät	Lagerungsverhältnisse
I Raum Ettringen	1. Ettringer 2. Hasenstoppel	unterschiedliche Steinbrüche
II Raum Weibern	1. Weiberner I 2. Weiberner II	unterschiedliche Steinbrüche
III Raum Rieden	1. Riedener I 2. Riedener II	gleicher Steinbruch, unterschiedliche Abbau- horizonte
IV Raum Krufft	1. Römer I 2. Römer II	gleicher Steinbruch, unterschiedliche Abbau- horizonte

Alle Proben bis auf das Material Römer II stellen handelsübliche Gesteine dar. Die Varietät Römer II ist einem Horizont entnommen worden, dessen Gesteinsmaterial heute nicht mehr abgebaut wird, jedoch früher als Naturstein Verwendung fand.

Von jedem Gesteinstyp wurden ca. 0.25 m^3 Probenmaterial entnommen. Das Probenmaterial stammt jeweils aus einem Gesteinsblock, um größere Inhomogenitäten innerhalb einer Varietät auszuschließen.

2.2 Photographische Dokumentation bei der Geländearbeit

Es wurden zu jedem Entnahmegebiet charakteristische, heute noch in Abbau befindliche Steinbrüche photographisch aufgenommen, um die natürlichen Lagerungsverhältnisse zu dokumentieren und die Erscheinungsform der anstehenden Tuffe festzuhalten (Tafel 1-6).

Im weiteren wurden die Abbauverhältnisse und Verarbeitungsbeispiele photographisch aufgenommen (Tafel 7-8). Daran schloß sich eine Dokumentation über Verbauungsbeispiele aus dem Laacher-See-Gebiet an, um die vielfältige Verwendung von Tuff-Natursteinen auch in Zusammenhang mit anderen Natursteinen, aufzuzeigen (Tafel 9-11).

Steinbruch "Rodder Höfe" bei Ettringen - Ettringer Tuff

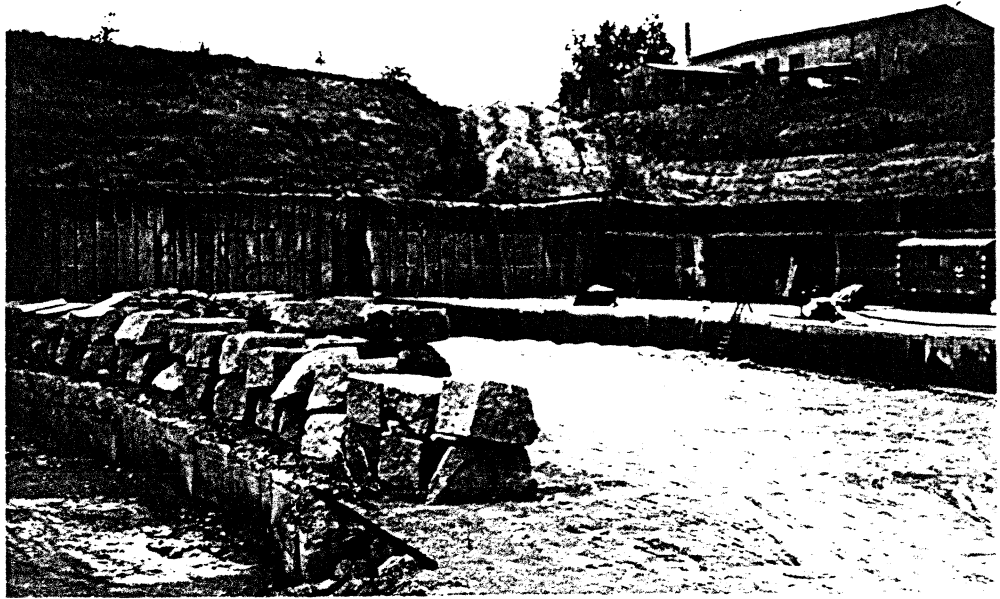


Fig. 1: Gesamtansicht



Fig. 2: Teilansicht

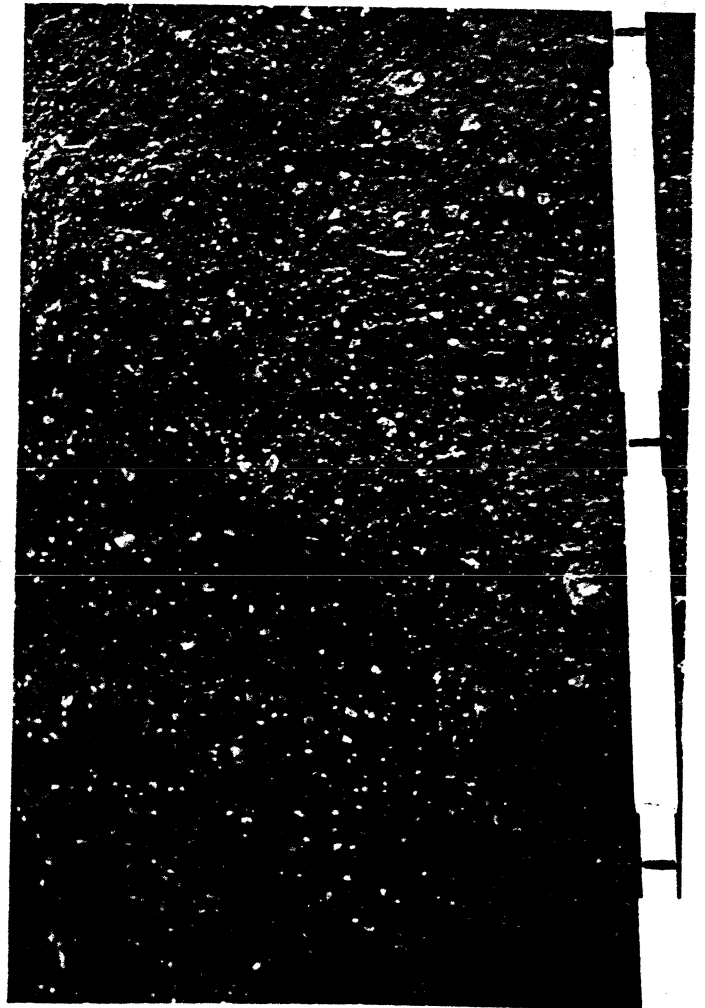


Fig. 3: Anstehendes Gestein

Steinbruch "Sulzbusch" bei Ettringen - Hasenstoppel Tuff

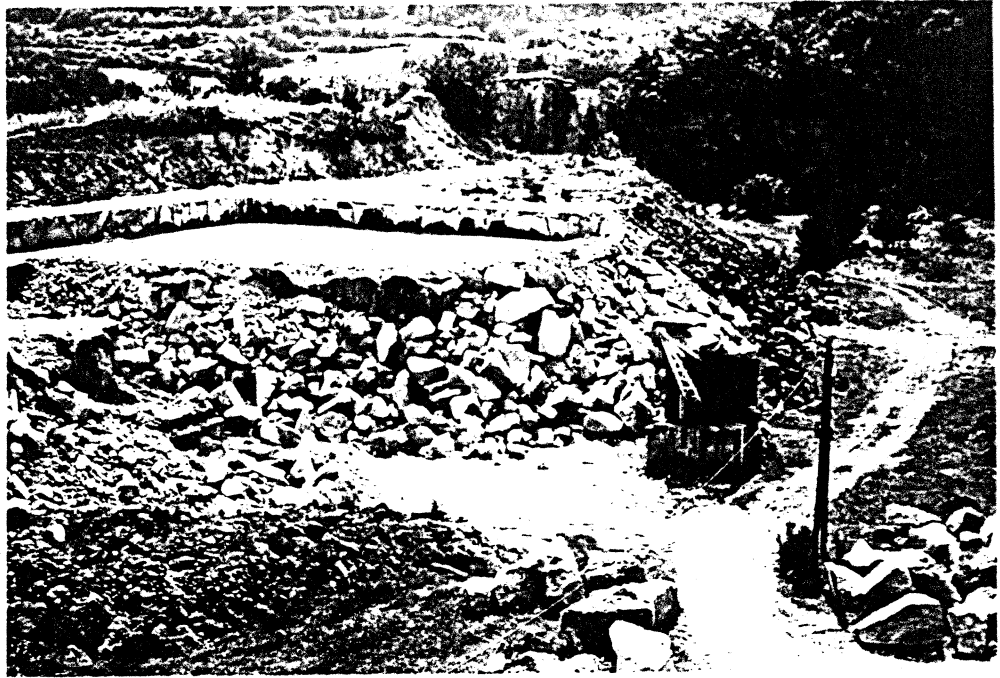


Fig. 1: Gesamtansicht



Fig. 2: Teilansicht

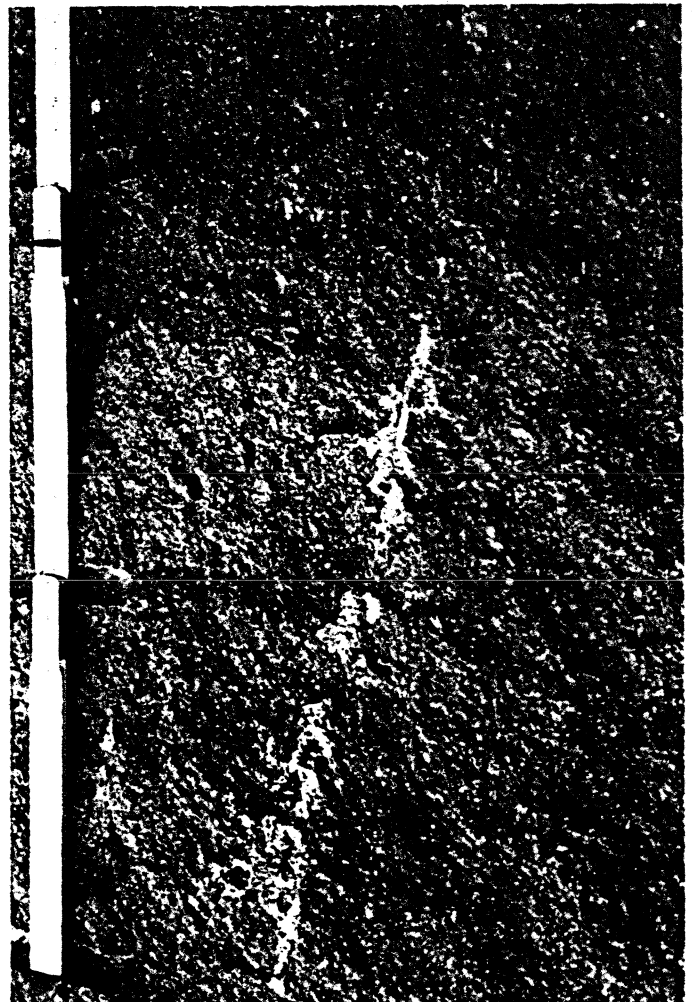


Fig. 3: Anstehendes Gestein

Steinbruch "Windkaul" bei Weibern - Weiberner Tuff

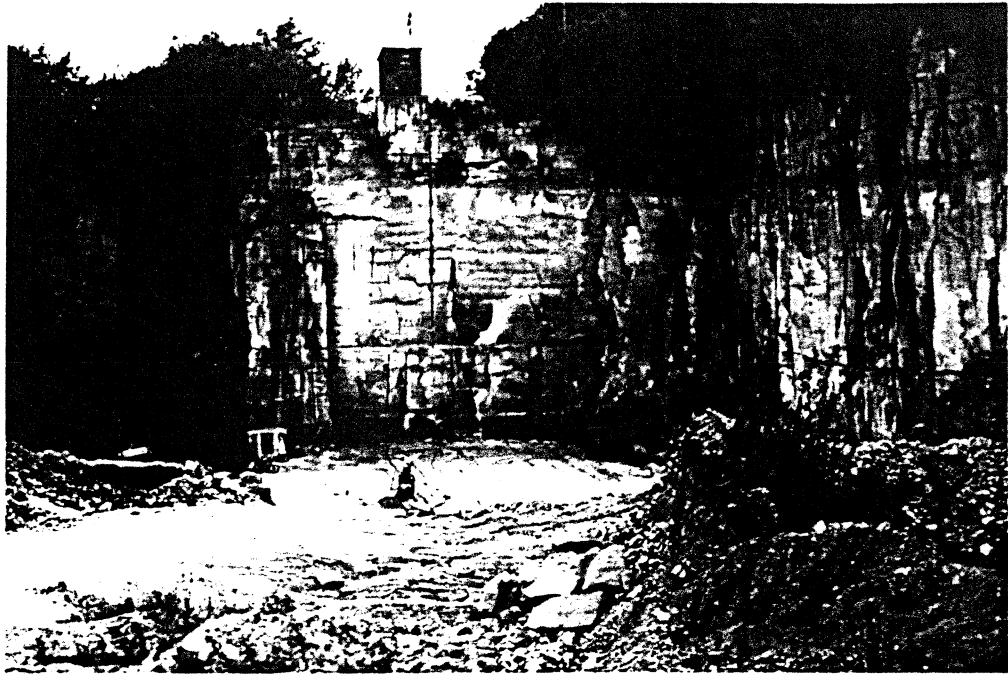


Fig. 1: Gesamtansicht

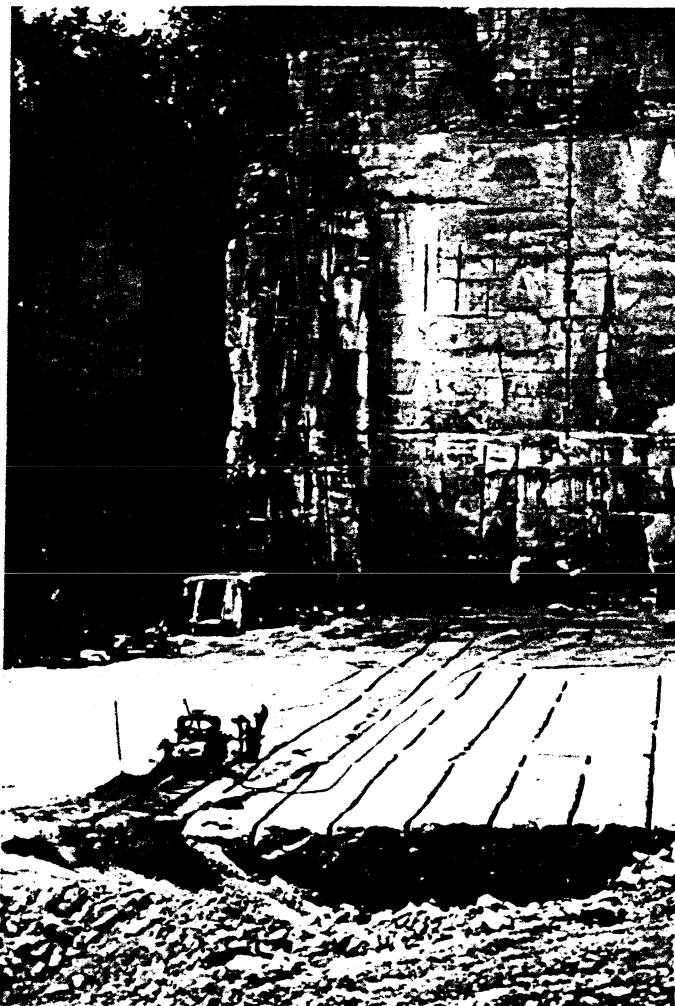


Fig. 2: Teilansicht



Fig. 3: Anstehendes Gestein

Steinbruch "Güllscheid" bei Weibern - Weiberner Tuff

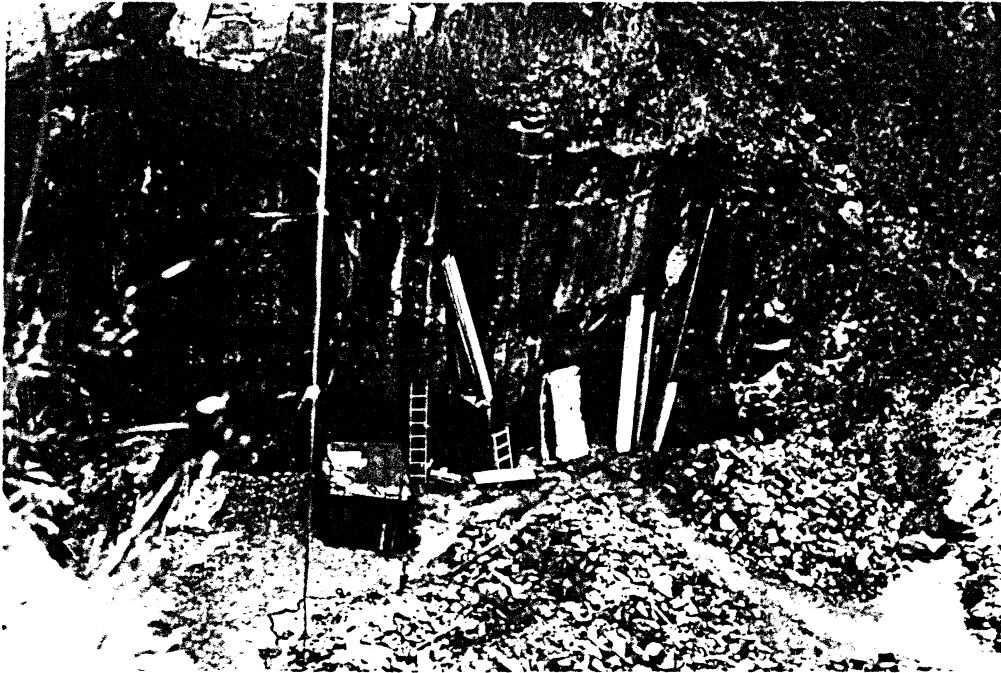


Fig. 1: Gesamtansicht

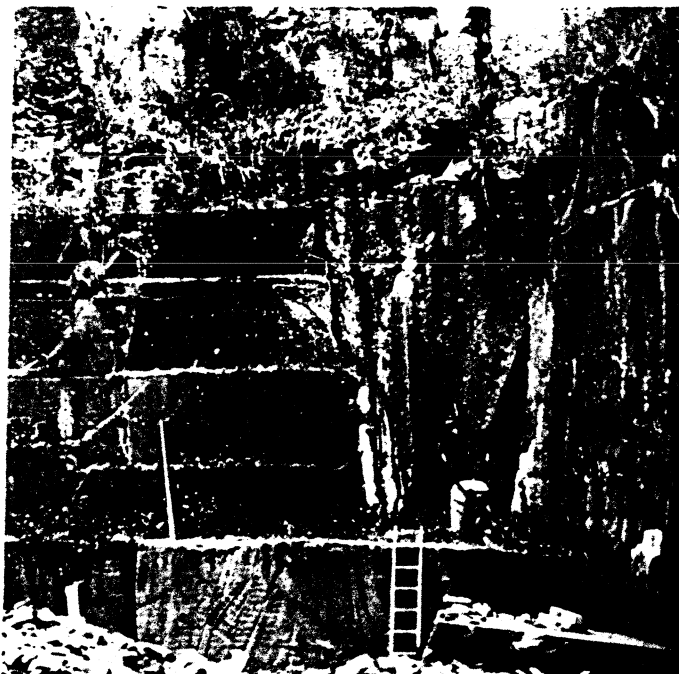


Fig. 2: Teilansicht

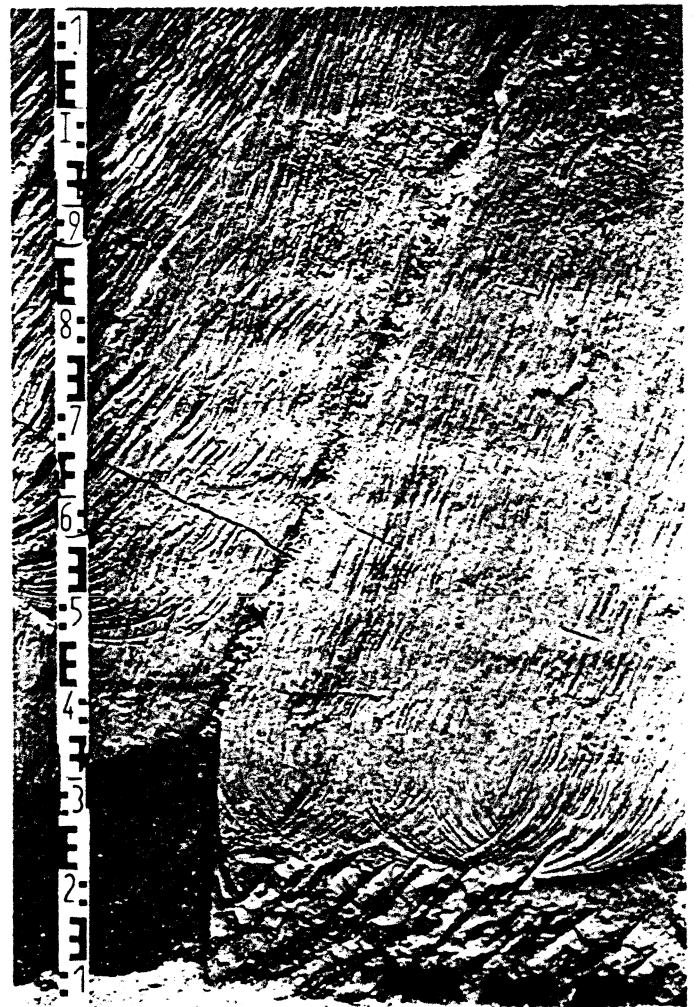


Fig. 3: Anstehendes Gestein



Fig. 1: Gesamtansicht



Fig. 2: Teilansicht



Traßgrube bei Krufft - Römer Tuff

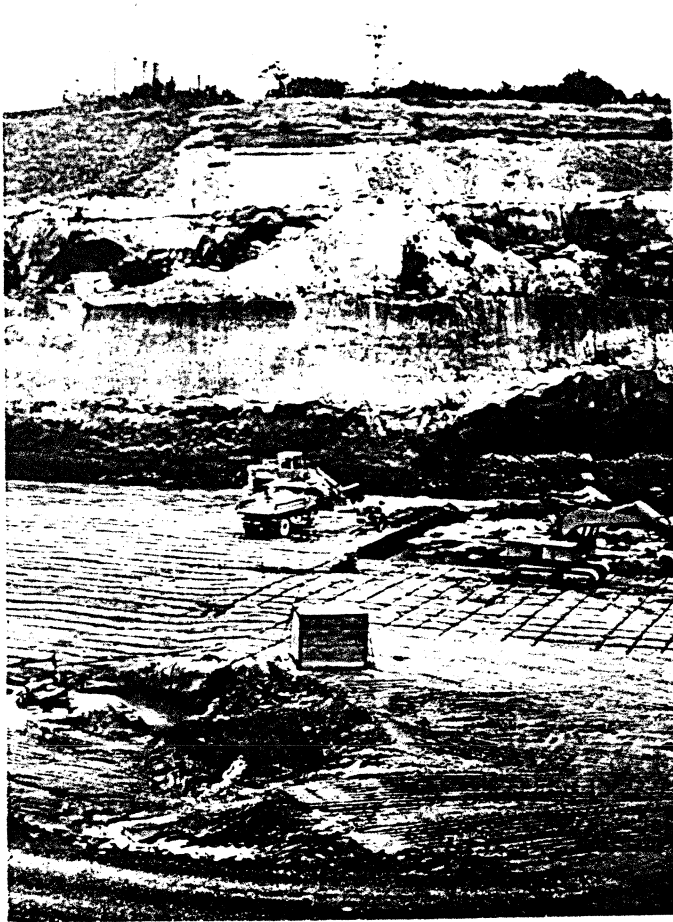


Fig. 1: Gesamtansicht
(oben: ehemaliger AbbauhORIZONT;
unten: jetziger AbbauhORIZONT)

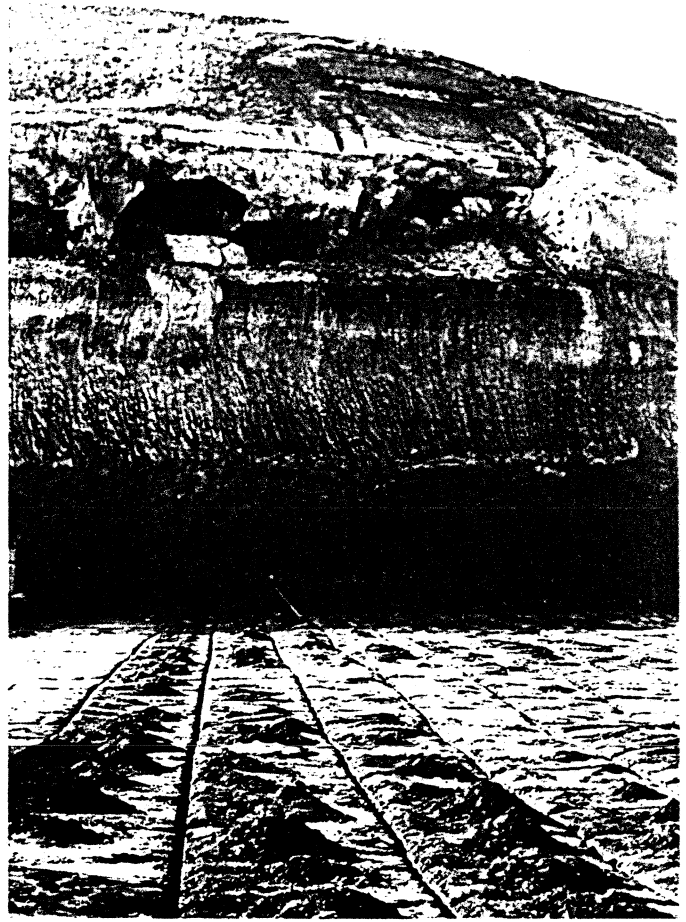


Fig. 2: Teilansicht
(oben: ehemaliger AbbauhORIZONT;
unten: jetziger AbbauhORIZONT)



Fig. 3: Teilansicht (ehemaliger AbbauhORIZONT,
oben)

Abbauverhältnisse und Verarbeitungsbeispiele

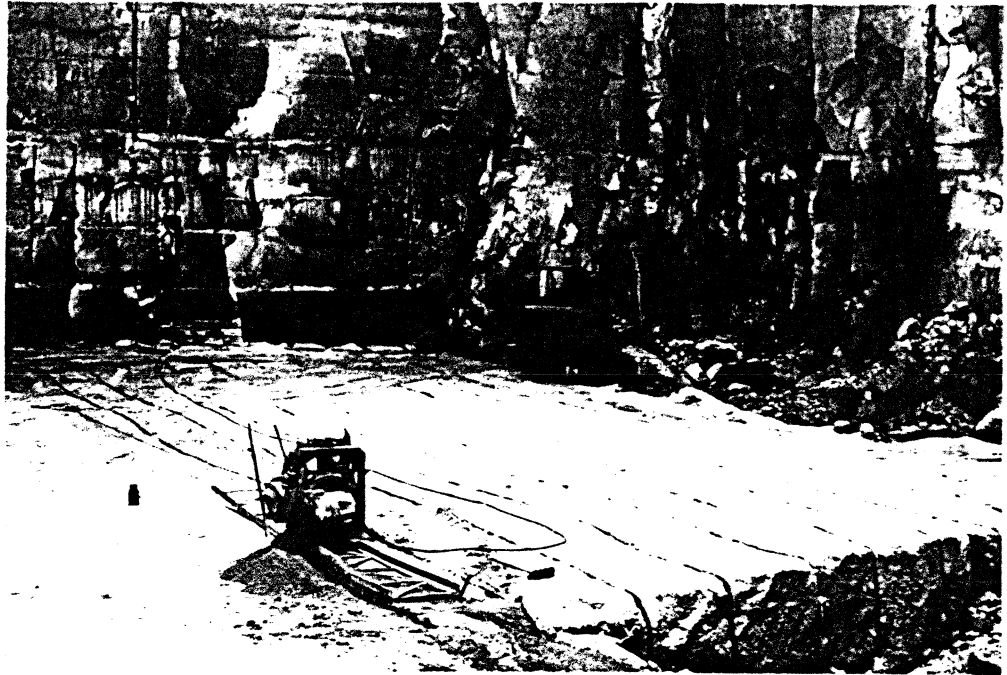


Fig. 1: Steinbruch "Windkaul" bei Weibern

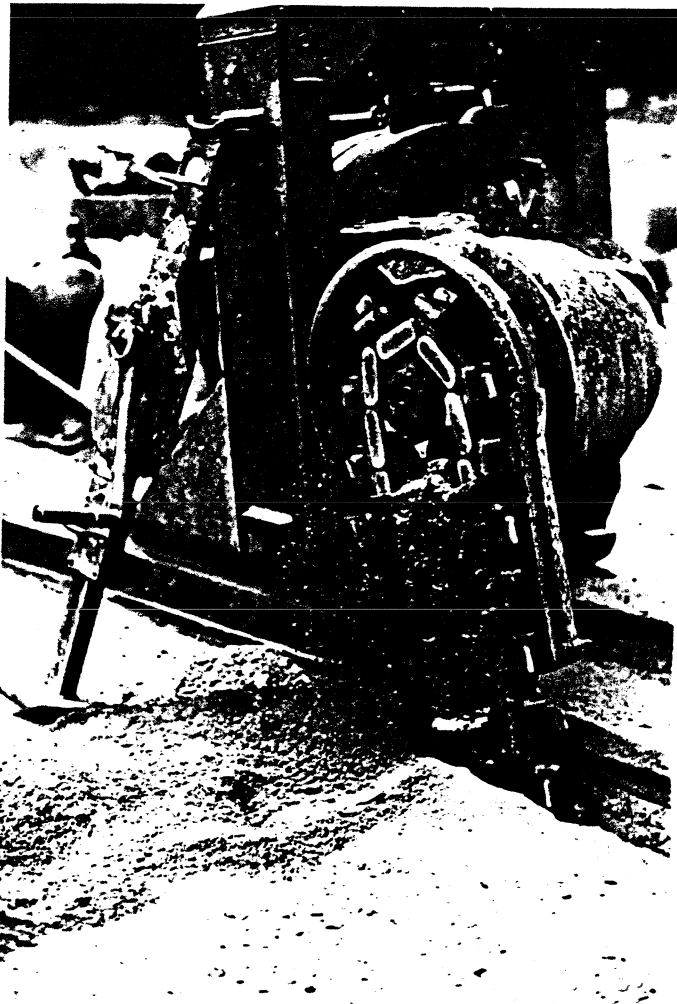


Fig. 2: Abbaugerät

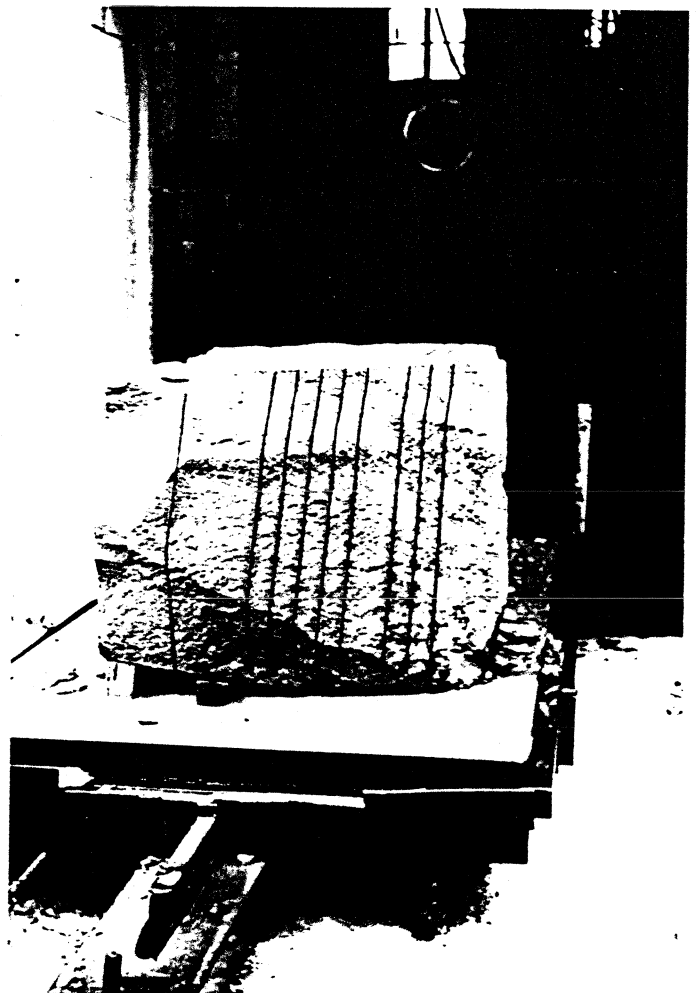


Fig. 3: Zersägter Gesteinsblock
(Probenmaterial Weiberner I)



Fig. 1: Steinmetzwerkstatt

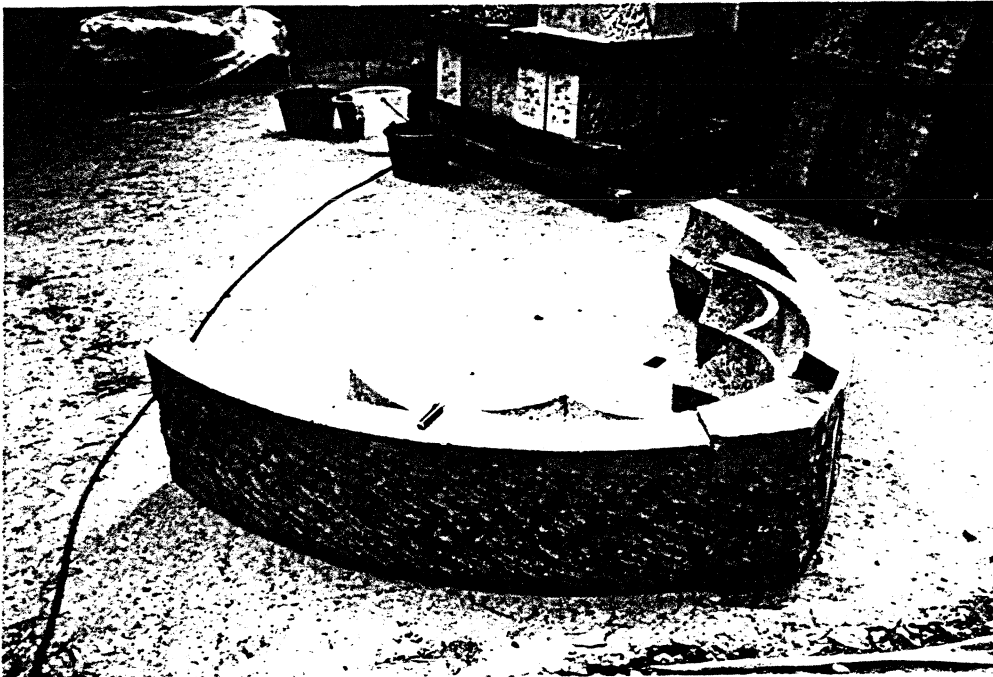


Fig. 2: Bearbeiteter Ettringer Tuff
(Ausbesserungsarbeiten an der Kirche Heilig Kreuz Aachen)

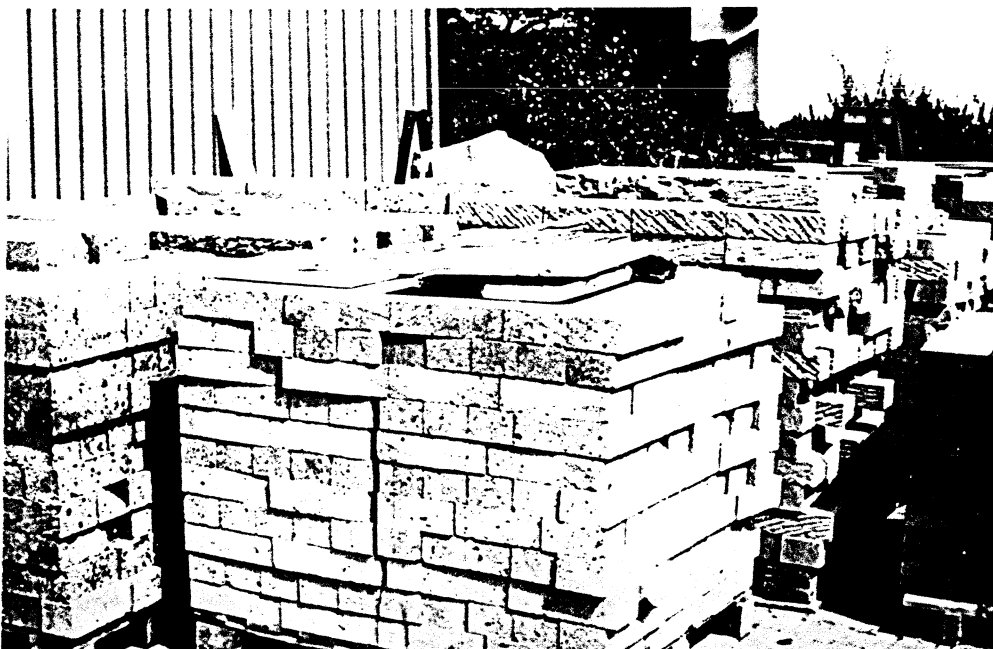


Fig. 3: Tuffziegel
(Römer Tuff)

Verbauungsbeispiele im Laacher-See-Gebiet



Fig. 1: Kirche im Wehr



Fig. 2: Alte Schule in Wehr



Fig. 3: Hausfassade in Weibern



Fig. 1: Denkmal in Weibern



Fig. 2: Kirche in Weibern



Fig. 3: Hausfassade in Weibern

Verbauungsbeispiele im Laacher-See-Gebiet

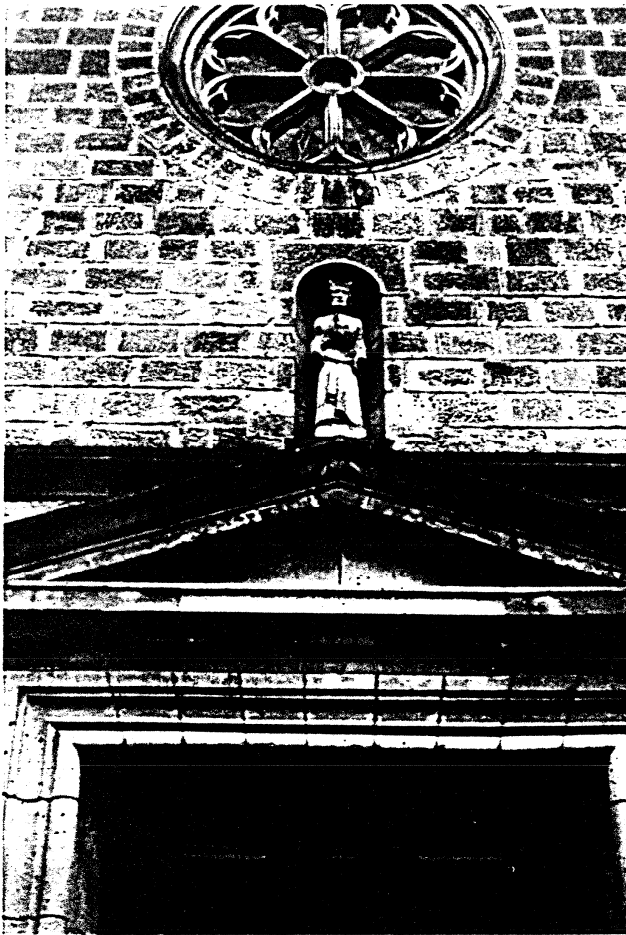


Fig. 1: Kirche in Rieden

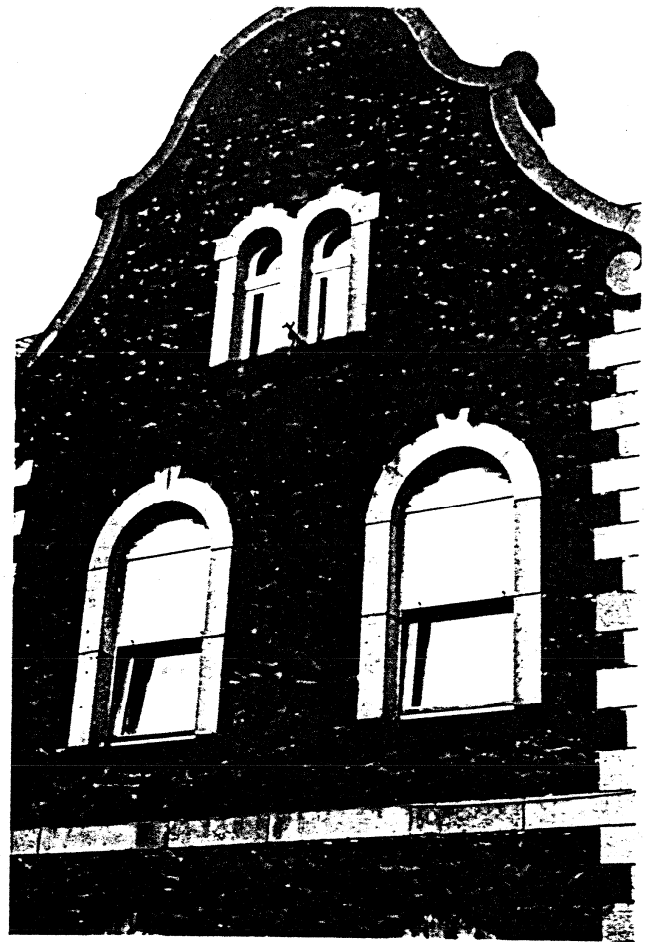


Fig. 2: Hausfassade in Ettringen



Fig. 3: Hausfassaden in Ettringen

3. Petrographische Untersuchungen

Bei den petrographischen Untersuchungen wurden hauptsächlich solche Materialkennwerte ermittelt, die maßgeblich die Verwitterungsabläufe und Verwitterungsergebnisse bestimmen. Die benutzten Analyse-Verfahren können ebenfalls bei verbauten Tuff-Natursteinen angewendet werden. Sie erlauben eine vergleichende Charakterisierung und Bewertung von frischem und verwittertem Gesteinsmaterial.

3.1 Makroskopische Beschreibung

Die makroskopische Beschreibung erlaubt eine erste Charakterisierung des Probenmaterials und bietet mit ihren Ergebnissen die Möglichkeit, verbaute Tuff-Natursteine mit den hier untersuchten Gesteinsproben zu vergleichen und anzusprechen. Neben der für jede Tuff-Varietät typischen Gesteinsfarbe wurden sowohl die textuellen als auch die strukturellen Merkmale bestimmt. Mit einem statistischen Auszählverfahren wurde bei allen Gesteinsvarietäten bis auf den Römer II die Korngrößenverteilung der Einsprenglinge auf einer Meßfläche von 25 x 30 cm ermittelt. Dabei wurden die Korngrößen in fünf verschiedene Klassen eingeteilt:

feinstkörnig	:	≤	0,2	mm
feinkörnig	:	>	0,2	mm bis ≤ 2 mm
mittelkörnig	:	>	2	mm bis ≤ 5 mm
grobkörnig	:	>	5	mm
		>	10	mm

Der Römer II konnte nicht ausgewertet werden, da für diese Untersuchungsmethode kein geeignetes Probenmaterial zur Verfügung stand. Weiterhin wurden alle Gesteinsvarietäten photographisch dokumentiert. Hierbei wurden sowohl Gesteinskerne als auch Gesteinsplatten (trocken und feucht) dargestellt.

3.1.1 Ettringer Tuff

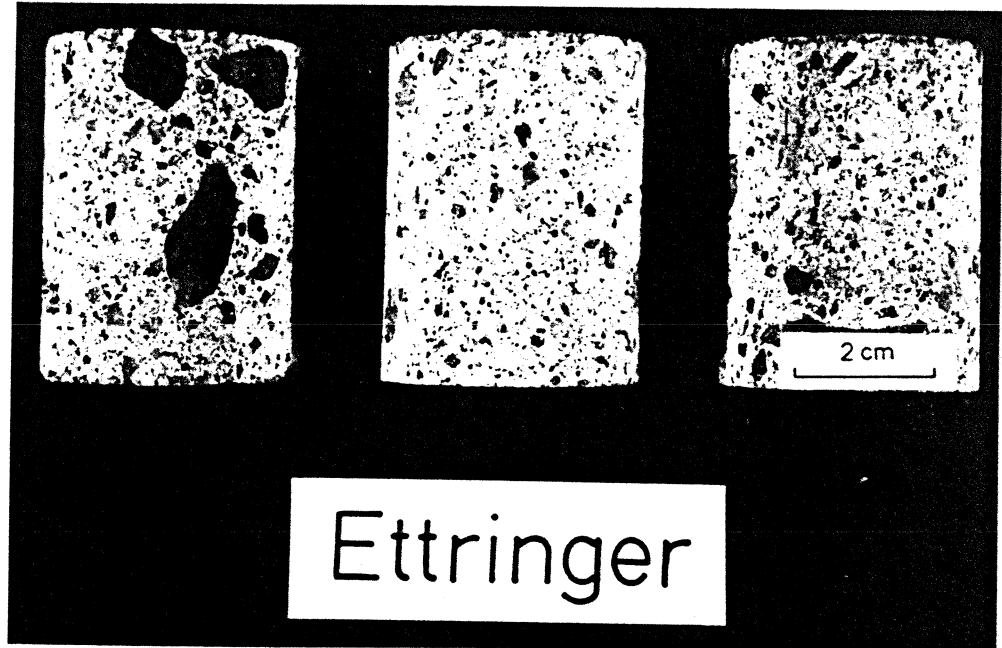


Abb. 15

Makroskopische Beschreibung

Gesteinsfarbe: grau-gelb; Probe wirkt aufgrund seiner zahlreichen, verschieden farbigen Einsprenglinge sehr lebhaft; Bimse hell gelb-braun.

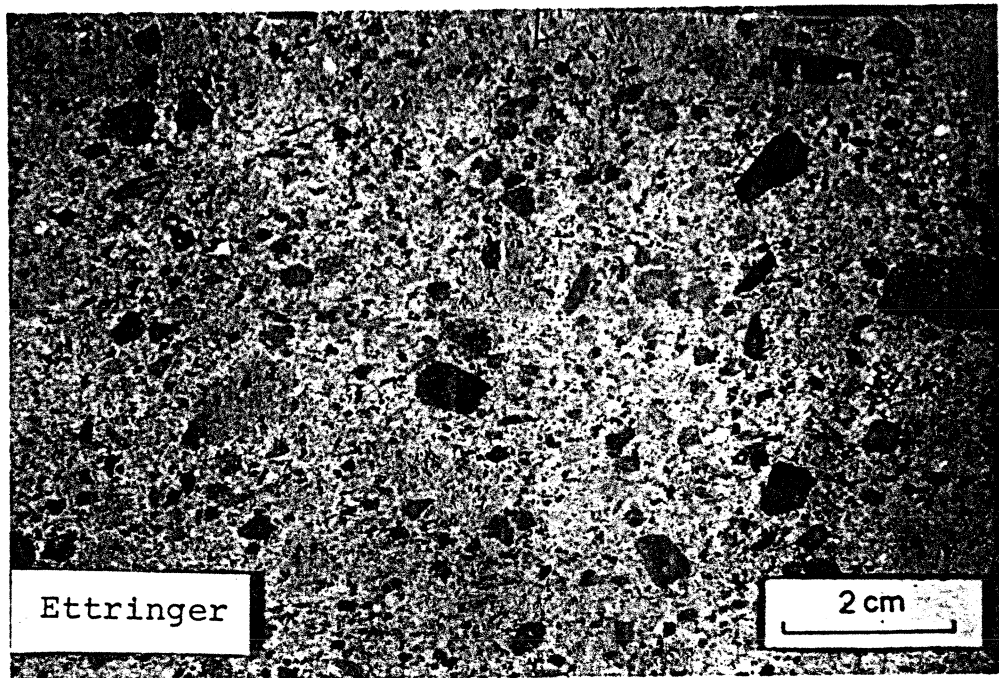
Struktur: ungleichkörnig; "porphyrisch"; feinst- bis grobkörnige Einsprenglinge (Mineralfragmente, Gesteinsbruchstücke, Bimse) in feinstkörniger Matrix; Gesteinsbruchstücke hauptsächlich klastische Sedimentite (Grauwacken, Tonschiefer); Einsprenglinge unregelmäßig kantig.

Einsprenglinge: überwiegend vorhanden

feinstkörnig	(≤ 0.2 mm)	ca. 18 %
feinkörnig	(> 0.2 mm bis ≤ 2 mm)	ca. 63 %
mittelkörnig	(> 2 mm bis ≤ 5 mm)	ca. 16 %
grobkörnig	(> 5 mm)	ca. 3 %
	(>10 mm)	< 1 %

Textur: regellose Verteilung der Einsprenglinge; keine Schichtung oder flächige Elemente; lückenhafte Ausfüllung; Porenraum erkennbar.

Makroskopie: Ettringer Tuff



- Fig. 1: Probenmaterial trocken

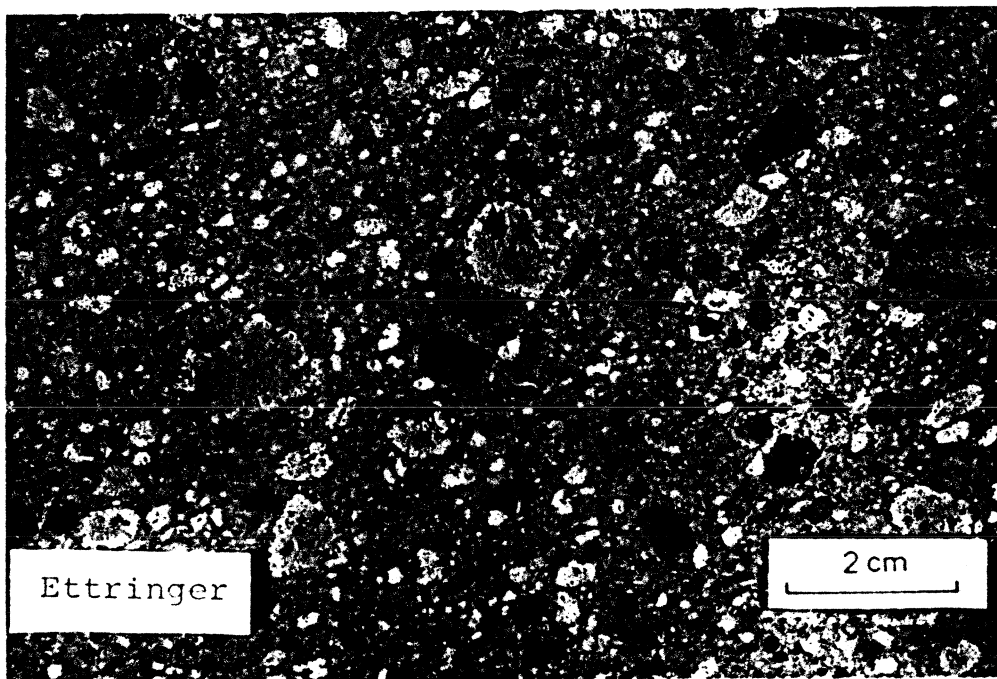


Fig. 2: Probenmaterial feucht

3.1.2 Hasenstoppel Tuff

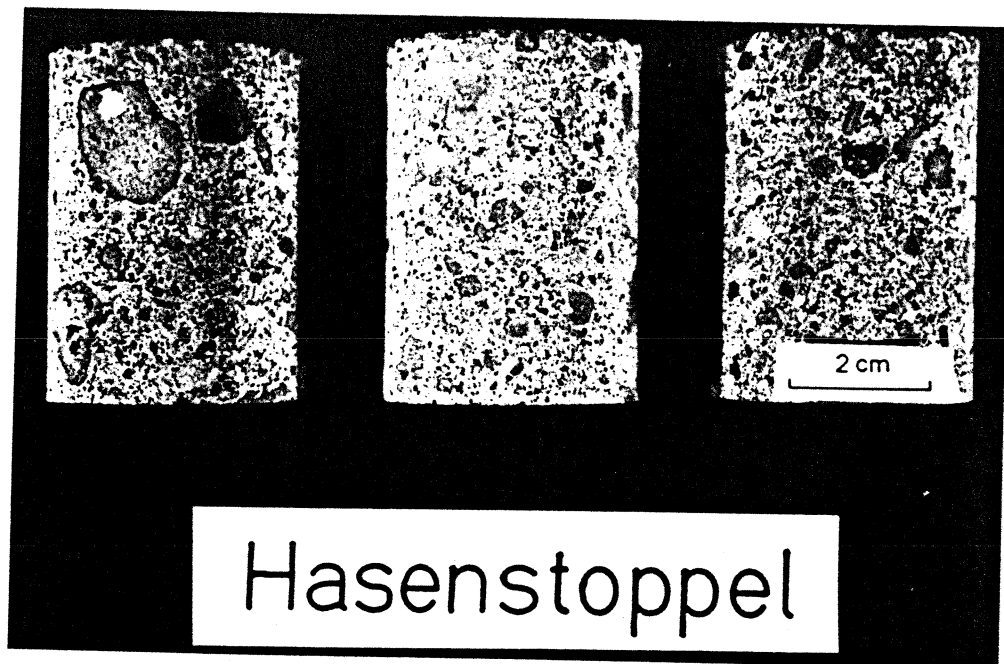


Abb. 16

Makroskopische Beschreibung

Gesteinsfarbe: hellgrau, schwach bräunlich; Gesamtfarbeindruck uneinheitlich; Bimse hellbraun.

Struktur: ungleichkörnig; "porphyrisch"; feinst- bis grobkörnige Einsprenglinge (Mineralfragmente, Gesteinsbruchstücke, Bimse) in feinstkörniger Matrix; Gesteinsbruchstücke hauptsächlich klastische Sedimentite (Grauwacken, Tonschiefer); Einsprenglinge unregelmäßig kantig.

Einsprenglinge: überwiegend vorhanden

feinstkörnig	(≤ 0.2 mm)	ca. 21 %
feinkörnig	(> 0.2 mm bis ≤ 2 mm)	ca. 63 %
mittelkörnig	(> 2 mm bis ≤ 5 mm)	ca. 13 %
grobkörnig	(> 5 mm)	ca. 3 %
	(>10 mm)	< 1 %

Textur: regellose Verteilung der Einsprenglinge; keine Schichtung oder flächige Elemente; lückenhafte Ausfüllung; Porenraum erkennbar.

Makroskopie: Hasenstoppel Tuff

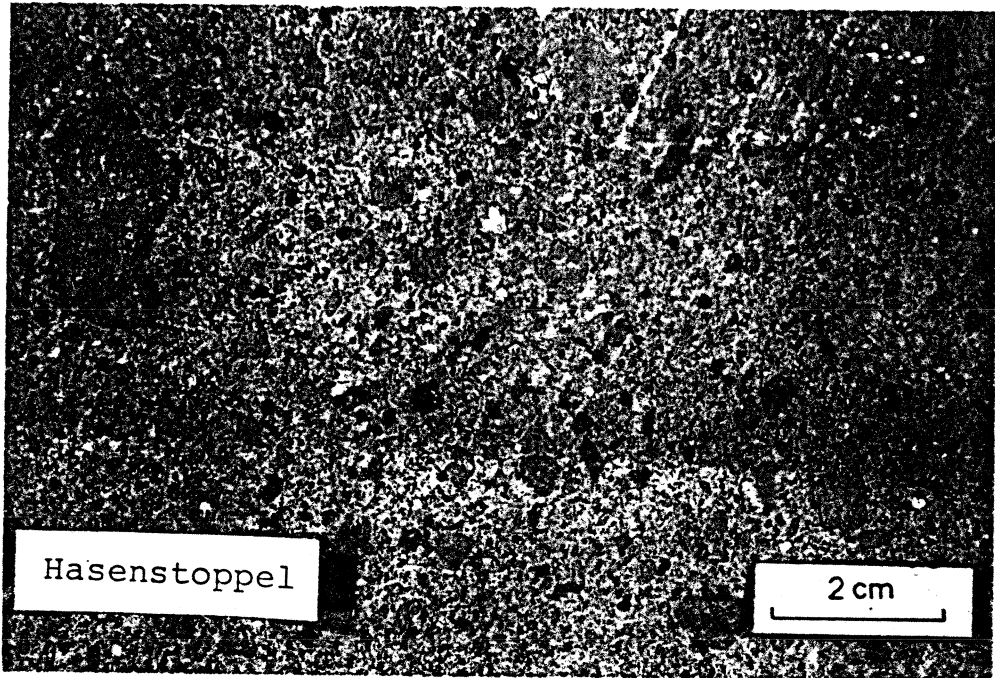


Fig. 1: Probenmaterial trocken

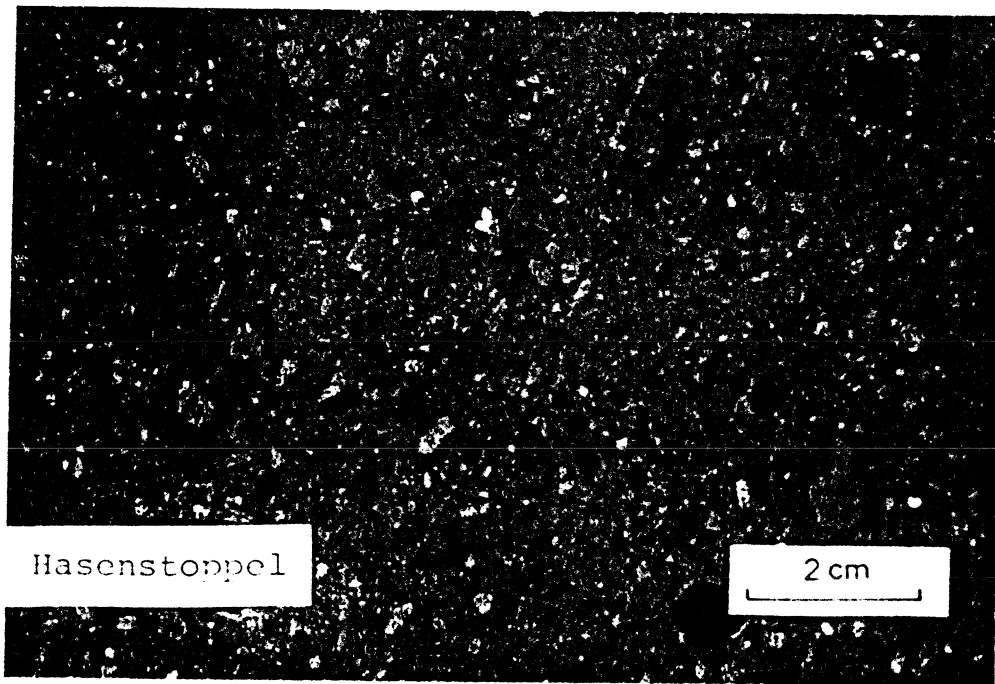


Fig. 2: Probenmaterial feucht

3.1.3 Weiberner Tuff I

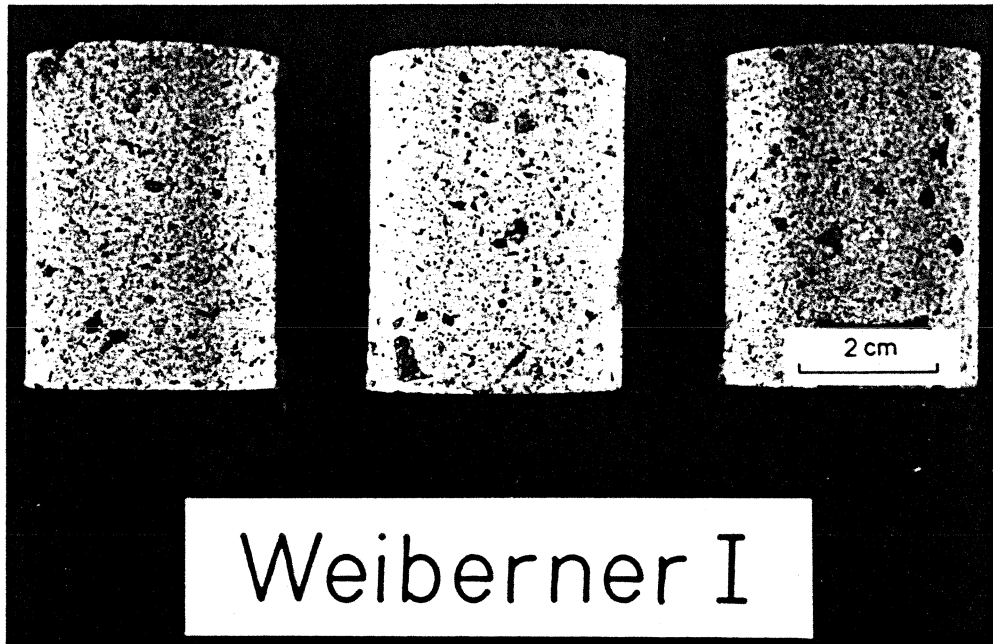


Abb. 17

Makroskopische Beschreibung

Gesteinsfarbe: grau-gelb; Gesamtfarbeindruck einheitlich; Bimse hell gelb-braun.

Struktur: ungleichkörnig; "porphyrisch"; feinst- bis grobkörnige Einsprenglinge (Mineralfragmente, Gesteinsbruchstücke, Bimse) in feinstkörniger Matrix; Gesteinsbruchstücke hauptsächlich klastische Sedimentite (Grauwacken, Tonschiefer); Einsprenglinge unregelmäßig kantig.

Einsprenglinge: häufig vorhanden

feinstkörnig	(≤ 0.2 mm)	ca. 43 %
feinkörnig	(> 0.2 mm bis ≤ 2 mm)	ca. 48 %
mittelkörnig	(> 2 mm bis ≤ 5 mm)	ca. 8 %
grobkörnig	(> 5 mm)	ca. 1 %
	(>10 mm)	< 1 %

Textur: regellose Verteilung der Einsprenglinge; keine Schichtung oder flächige Elemente; lückenhafte Ausfüllung; deutlicher Porenraum erkennbar.

Makroskopie: Weiberner Tuff I

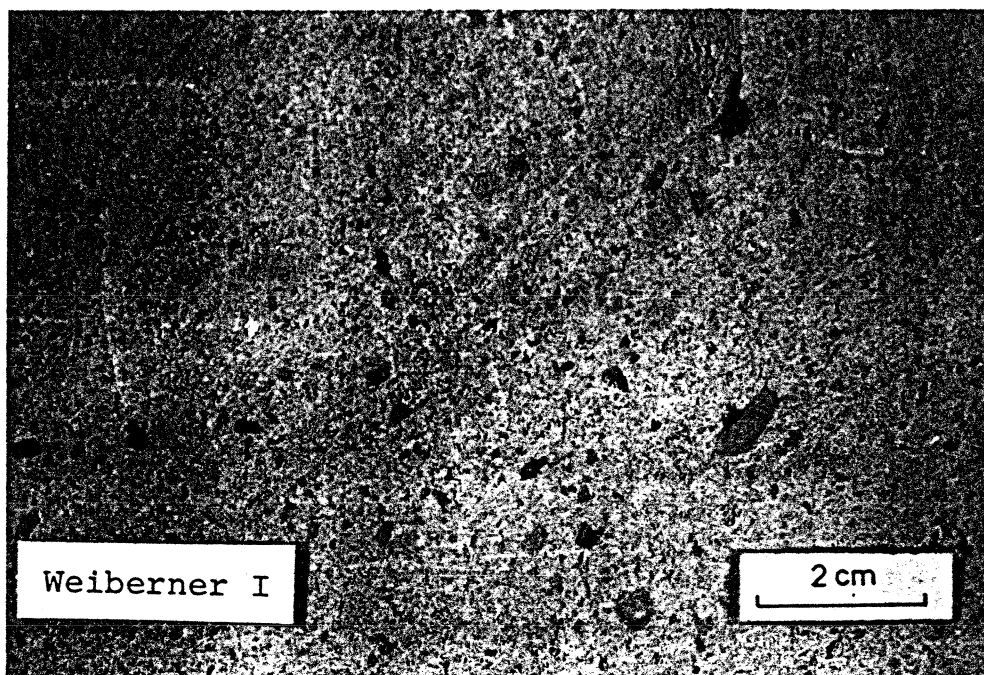


Fig. 1: Probenmaterial trocken

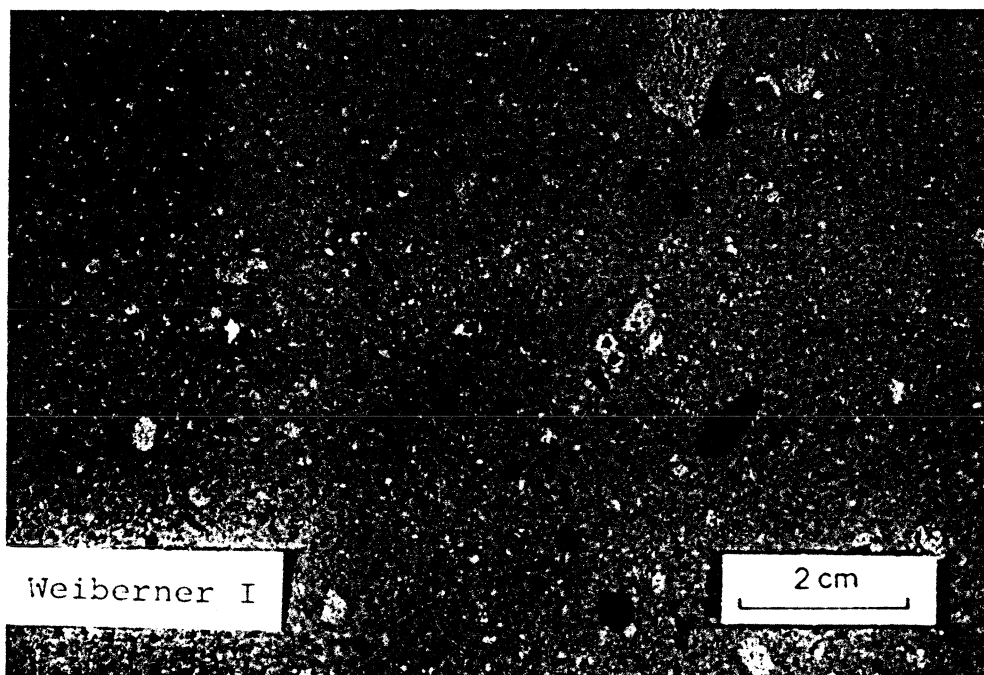


Fig. 2: Probenmaterial feucht

3.1.4 Weiberner Tuff II

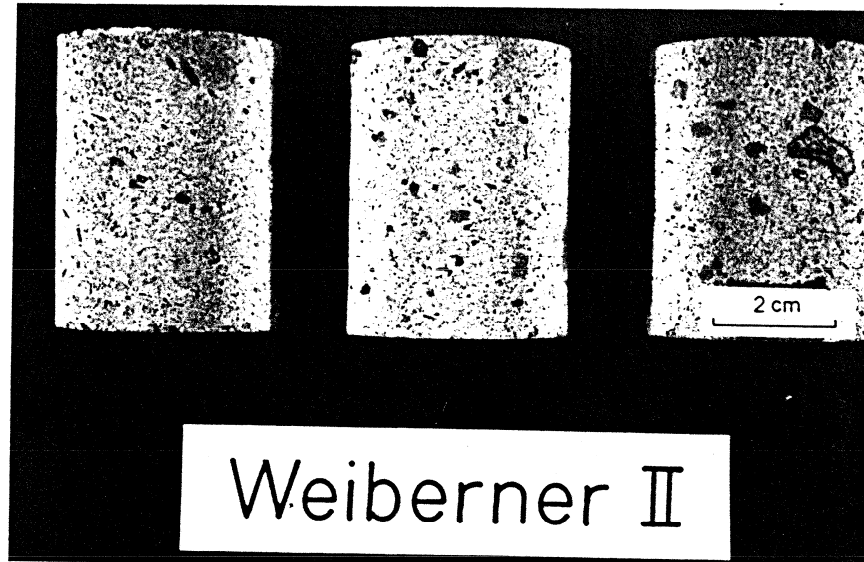


Abb. 18

Makroskopische Beschreibung

Gesteinsfarbe: grau-gelb; Gesamtfarbeindruck einheitlich; Bimse grün-braun.

Struktur: ungleichkörnig; "porphyrisch"; feinst- bis grobkörnige Einsprenglinge (Mineralfragmente, Gesteinsbruchstücke, Bimse) in feinstkörniger Matrix; Gesteinsbruchstücke hauptsächlich klastische Sedimentite (Grauwacken, Tonschiefer); Einsprenglinge unregelmäßig kantig.

Einsprenglinge: häufig vorhanden

feinstkörnig	(≤ 0.2 mm)	ca.	36 %
feinkörnig	(> 0.2 mm bis ≤ 2 mm)	ca.	52 %
mittelkörnig	(> 2 mm bis ≤ 5 mm)	ca.	9 %
grobkörnig	(> 5 mm)	ca.	3 %
	(>10 mm)	<	1 %

Textur: regellose Verteilung der Einsprenglinge; keine Schichtung oder flächige Elemente; lückenhafte Ausfüllung; deutlicher Porenraum erkennbar.

Makroskopie: Weiberner Tuff II

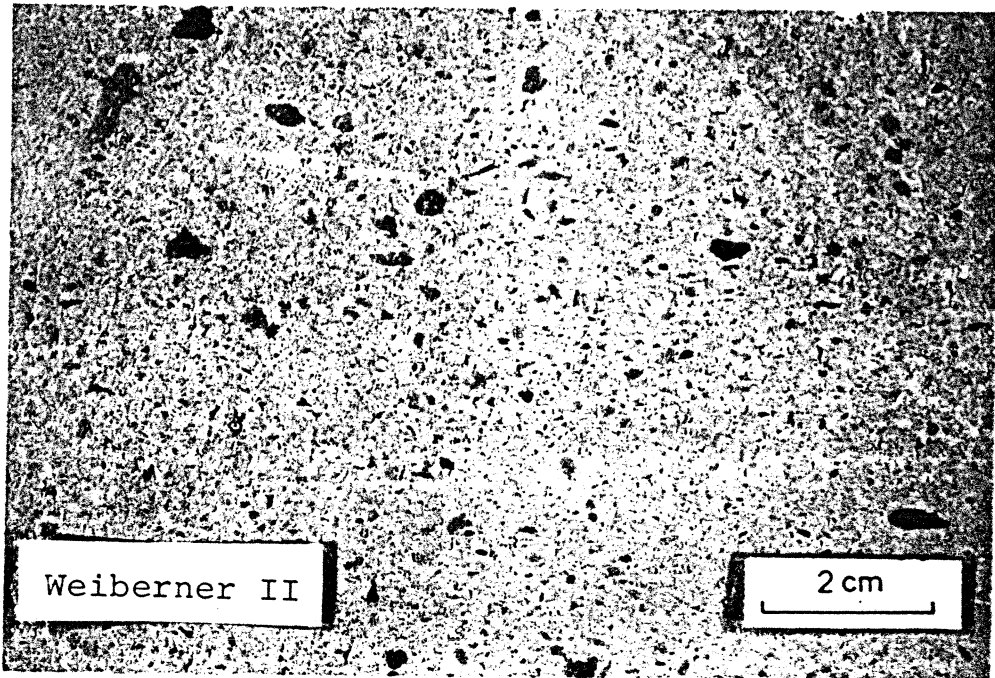


Fig. 1: Probenmaterial trocken

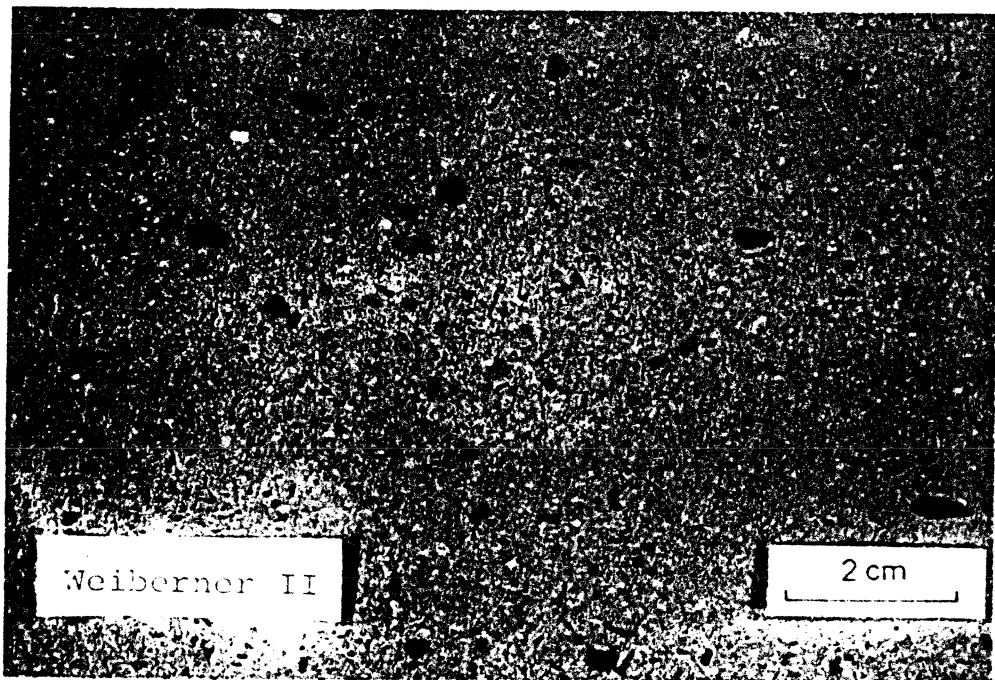


Fig. 2: Probenmaterial feucht

3.1.5 Riedener Tuff I

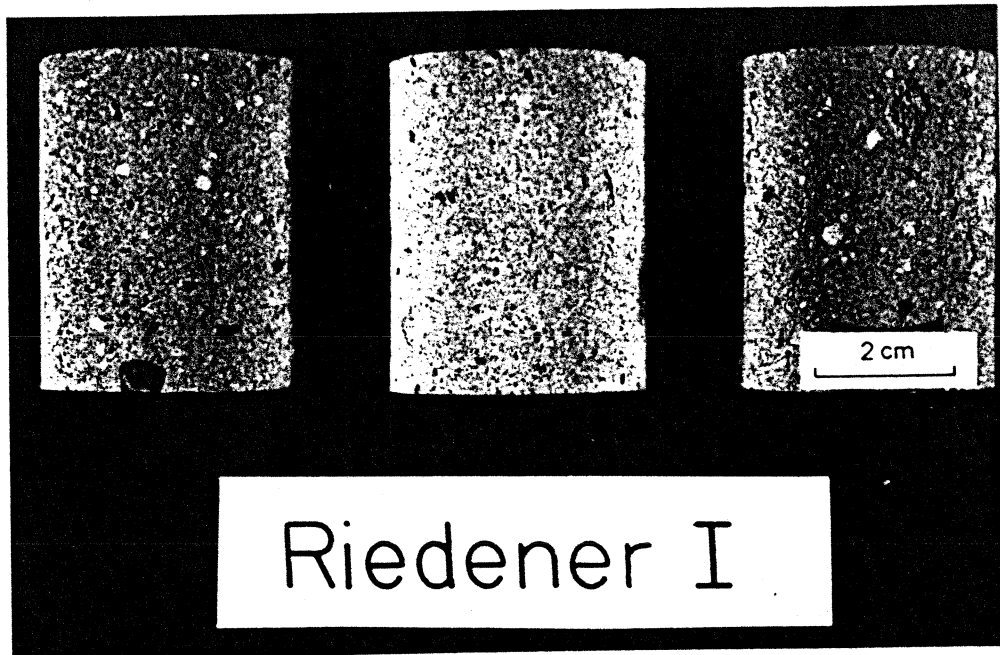


Abb. 19

Makroskopische Beschreibung

Gesteinsfarbe: grau-schwach grün; Gesamtfarbeindruck einheitlich; Bimse hell gelb-braun.

Struktur: ungleichkörnig; "porphyrisch"; feinst- bis grobkörnige Einsprenglinge (Mineralfragmente, Gesteinsbruchstücke, Bimse) in feinstkörniger Matrix; Gesteinsbruchstücke hauptsächlich klastische Sedimentite (Grauwacken, Tonschiefer); Einsprenglinge unregelmäßig kantig.

Einsprenglinge: häufig vorhanden

feinstkörnig	(≤ 0.2 mm)	ca. 41 %
feinkörnig	(> 0.2 mm bis ≤ 2 mm)	ca. 48 %
mittelkörnig	(> 2 mm bis ≤ 5 mm)	ca. 9 %
grobkörnig	(> 5 mm)	ca. 2 %
	(>10 mm)	< 1 %

Textur: regellose Verteilung der Einsprenglinge; keine Schichtung oder flächige Elemente; lückenhafte Ausfüllung; deutlicher Porenraum erkennbar.

Makroskopie: Riedener Tuff I

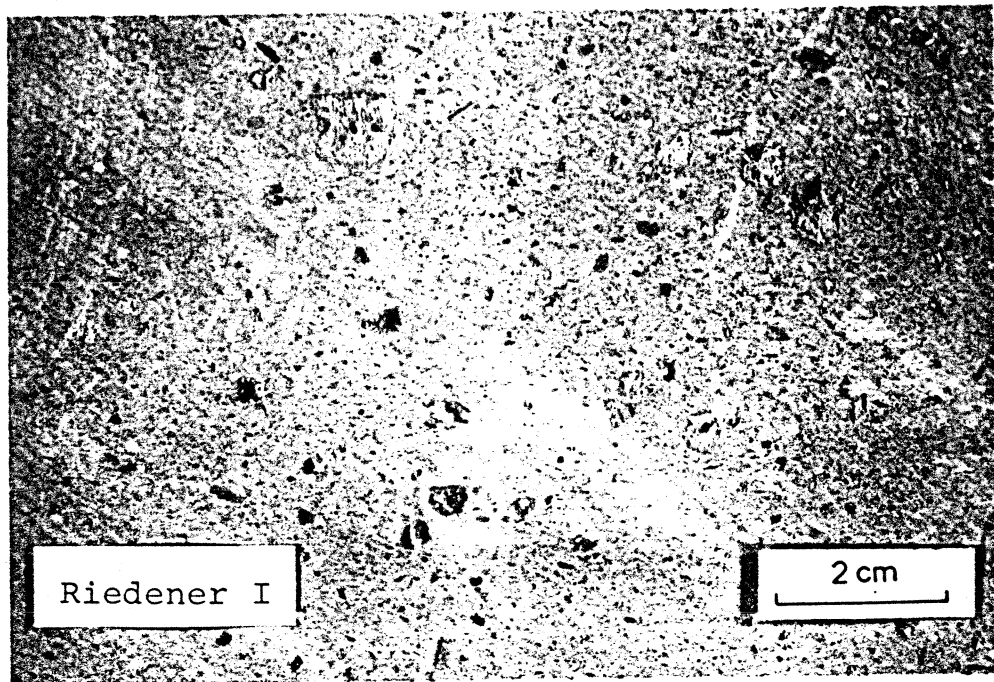


Fig. 1: Probenmaterial trocken

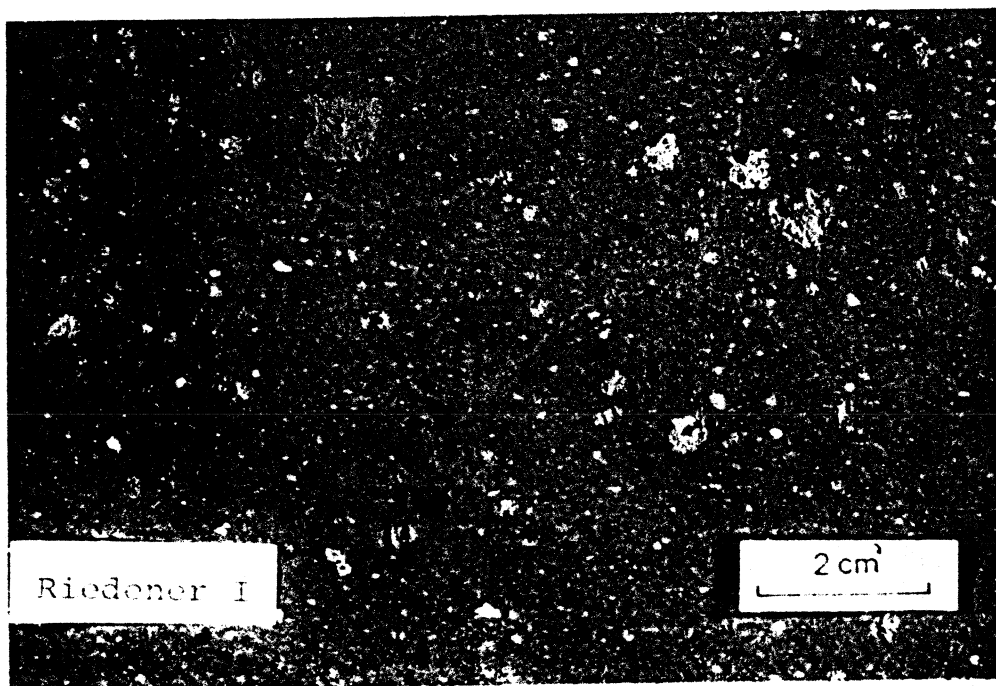


Fig. 2: Probenmaterial feucht

3.1.6 Riedener Tuff II

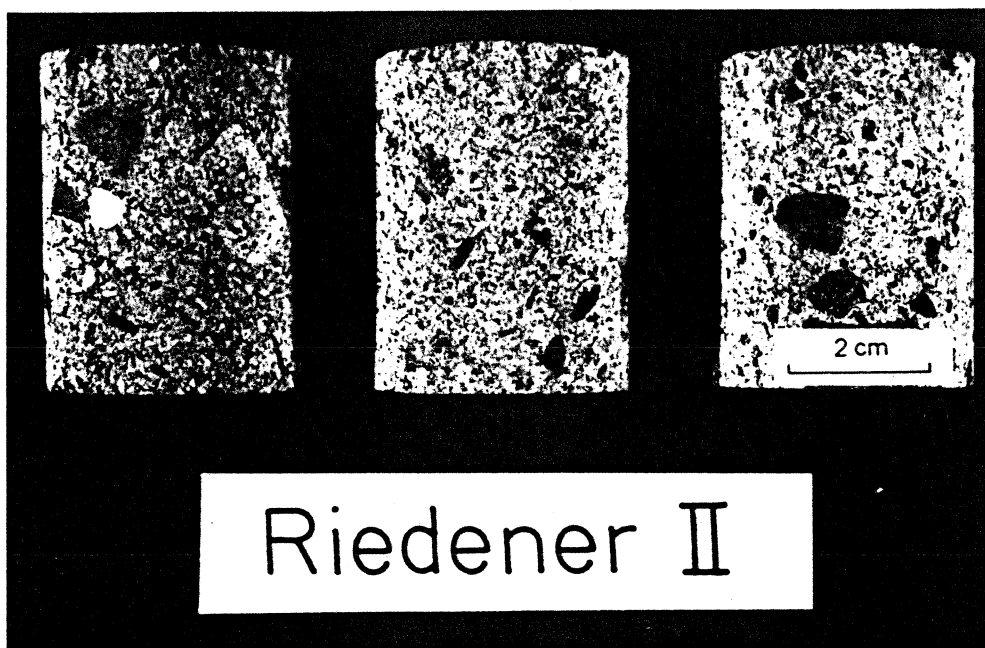


Abb. 20

Makroskopische Beschreibung

Gesteinsfarbe: hell grau-braun, schwach grünlich; Probe wirkt aufgrund seiner zahlreichen, verschieden farbigen Einsprenglinge sehr lebhaft; Bimse gelbbraun.

Struktur: ungleichkörnig; "porphyrisch"; feinst- bis grobkörnige Einsprenglinge (Mineralfragmente, Gesteinsbruchstücke, Bimse) in feinstkörniger Matrix; Gesteinsbruchstücke hauptsächlich klastische Sedimentite (Grauwacken, Tonschiefer); Einsprenglinge unregelmäßig kantig.

Einsprenglinge: überwiegend vorhanden

feinstkörnig	(≤ 0.2 mm)	ca. 27 %
feinkörnig	(> 0.2 mm bis ≤ 2 mm)	ca. 57 %
mittelkörnig	(> 2 mm bis ≤ 5 mm)	ca. 13 %
grobkörnig	(> 5 mm)	ca. 3 %
	(> 10 mm)	< 1 %

Textur: regellose Verteilung der Einsprenglinge; keine Schichtung oder flächige Elemente; lückenhafte Ausfüllung; deutlicher Porenraum erkennbar.

Makroskopie: Riedener Tuff II

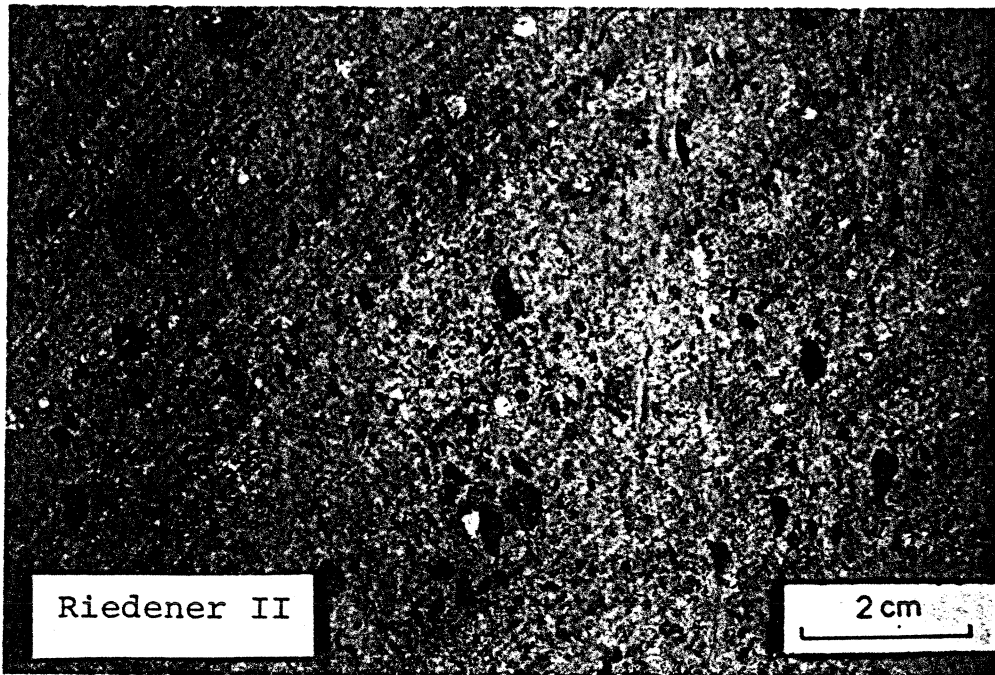


Fig. 1: Probenmaterial trocken



Fig. 2: Probenmaterial feucht

3.1.7 Römer Tuff I

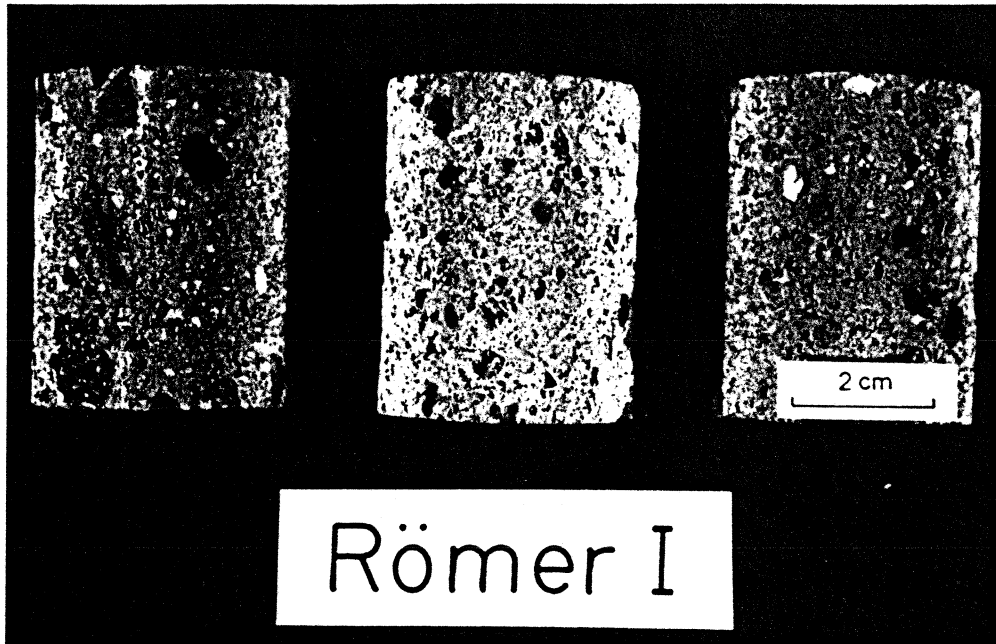


Abb. 21

Makroskopische Beschreibung

Gesteinsfarbe: hellbraun; Gesamtfarbeindruck uneinheitlich; Bimse braun-gelb.

Struktur: ungleichkörnig; "porphyrisch"; feinst- bis grobkörnige Einsprenglinge (Mineralfragmente, Gesteinsbruchstücke, Bimse) in feinstkörniger Matrix; Gesteinsbruchstücke hauptsächlich Basalte und klastische Sedimentite (Grauwacken, Tonschiefer); Einsprenglinge unregelmäßig kantig.

Einsprenglinge: sehr häufig vorhanden

feinstkörnig	(≤ 0.2 mm)	ca. 23 %
feinkörnig	(> 0.2 mm bis ≤ 2 mm)	ca. 61 %
mittelkörnig	(> 2 mm bis ≤ 5 mm)	ca. 12 %
grobkörnig	(> 5 mm)	ca. 3 %
	(> 10 mm)	1 %

Textur: regellose Verteilung der Einsprenglinge; keine Schichtung oder flächige Elemente; lückenhafte Ausfüllung; sehr deutlicher Porenraum und Hohlräume bis größer 1 cm (ausgewitterte Bimse) erkennbar.

Makroskopie: Römer Tuff I

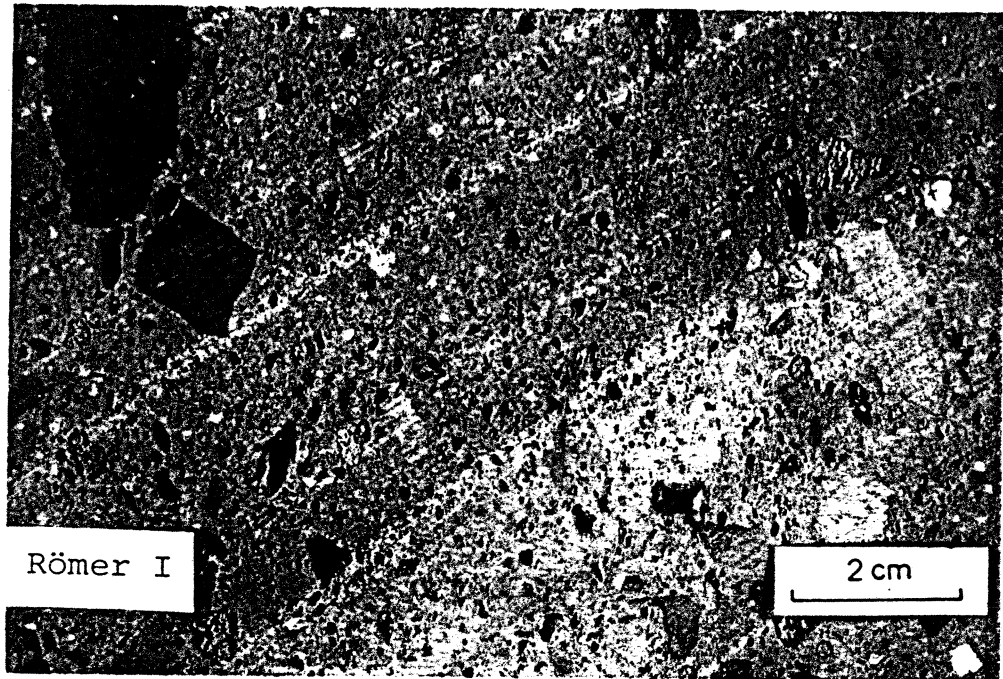


Fig. 1: Probenmaterial trocken

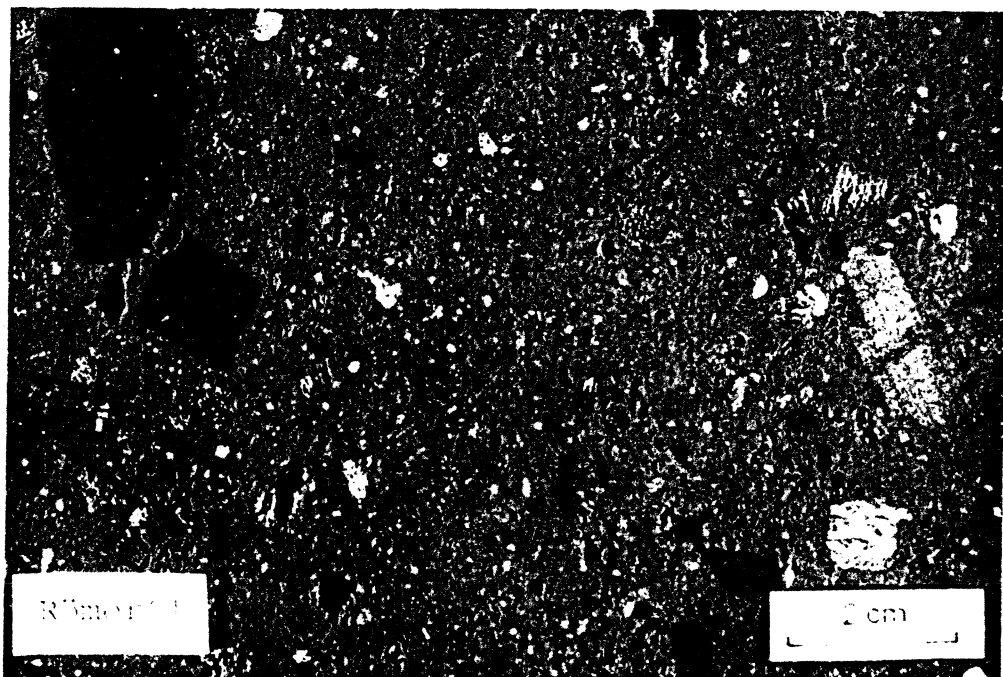


Fig. 2: Probenmaterial feucht

3.1.8 Römer Tuff II

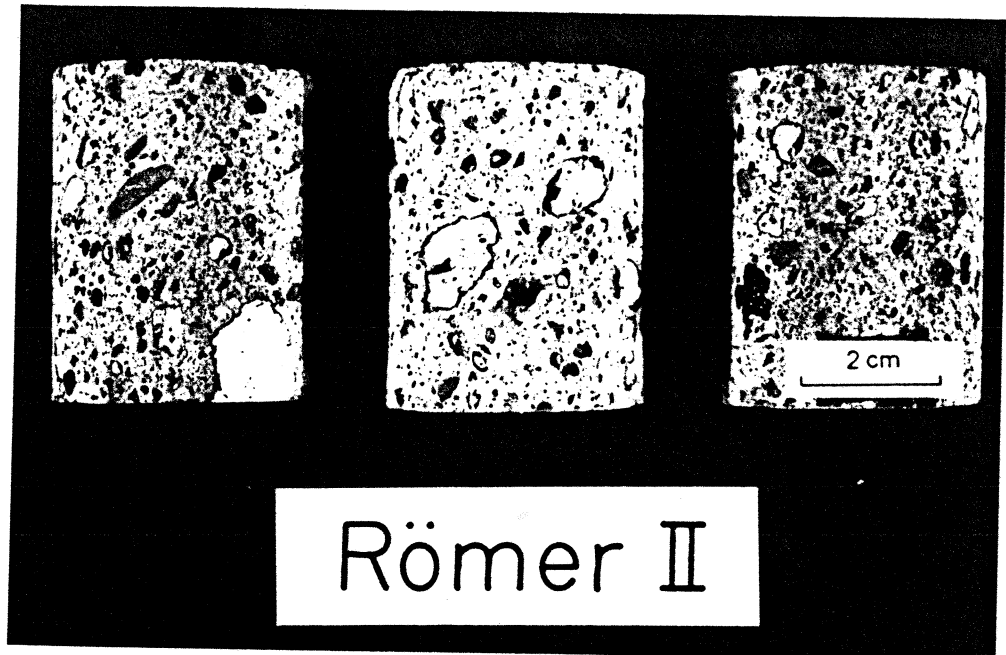


Abb. 22

Makroskopische Beschreibung

Gesteinsfarbe: hell grau-braun, schwach rötlich; Gesamtfarbeindruck uneinheitlich; Bimse hellgrau bis weiß.

Struktur: ungleichkörnig "porphyrisch"; feinst- bis grobkörnige Einsprenglinge (Mineralfragmente, Gesteinsbruchstücke, Bimse) in feinstkörniger Matrix; Gesteinsbruchstücke hauptsächlich klastische Sedimentite (Grauwacken, Tonschiefer); Einsprenglinge unregelmäßig kantig.

Einsprenglinge: sehr häufig vorhanden

feinstkörnig (≤ 0.2 mm)

feinkörnig (> 0.2 mm bis ≤ 2 mm)

mittelkörnig (> 2 mm bis ≤ 5 mm) siehe Kap.3.1

grobkörnig (> 5 mm)

(> 10 mm)

Textur:

regellose Verteilung der Einsprenglinge; keine Schichtung oder flächige Elemente; lückenhafte Ausfüllung; sehr deutlicher Porenraum und zahlreiche Hohlräume bis 1 cm (ausgewitterte Bimse) erkennbar.

Makroskopie: Römer Tuff II

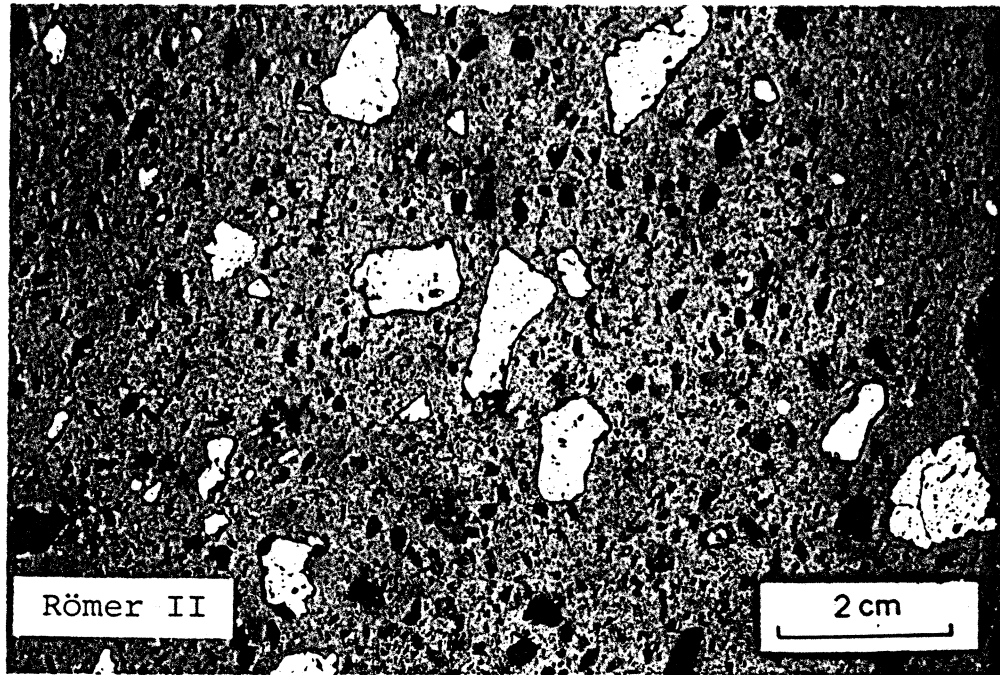


Fig. 1: Probenmaterial trocken

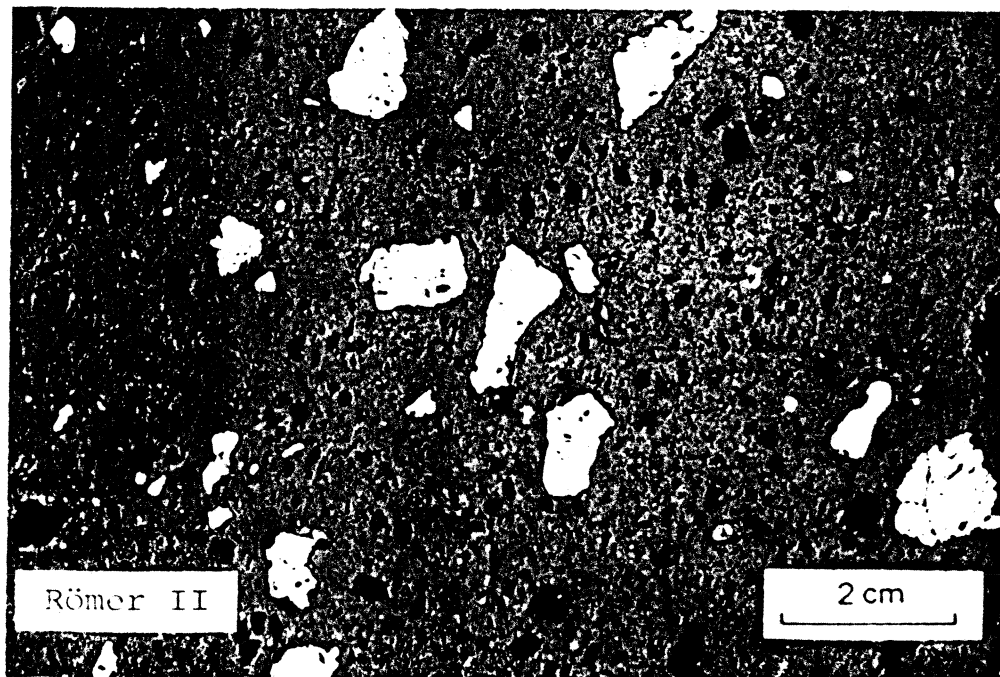


Fig. 2: Probenmaterial feucht

3.2 Mikroskopische Analyse

Die mikroskopische Analyse dient der qualitativen und quantitativen Untersuchung des Probenmaterials. Für jede Gesteinsvarietät wurden mehrere Dünnschliffe ausgewertet. Neben der Bestimmung des Mineralbestandes wurden die eingelagerten Minerale, Gesteinsbruchstücke und Bimse quantitativ untersucht, um das Verhältnis Grundmasse zu Einsprenglingen bestimmen zu können. Die Ermittlung von strukturellen und textuellen Eigenschaften war weiterer Gegenstand der Analyse. Zusätzlich wurden Photos von charakteristischen Gesteinsdünnschliffen angefertigt, sowohl bei nicht gekreuzten Nicols (- Nic.) als auch bei gekreuzten Nicols (+ Nic.).

Folgende Punkte wurden also besonders berücksichtigt:

1. Prozentualer Anteil der Grundmasse
2. Prozentualer Anteil der Mineraleinsprenglinge und Identifizierung der Komponenten
3. Prozentualer Anteil der Gesteinsbruchstücke
4. Prozentualer Anteil der Bimse
5. Strukturelle Merkmale
6. Texturelle Merkmale

3.2.1 Ettringer Tuff



Abb. 23: Vergr. ca. 38x; -Nic.

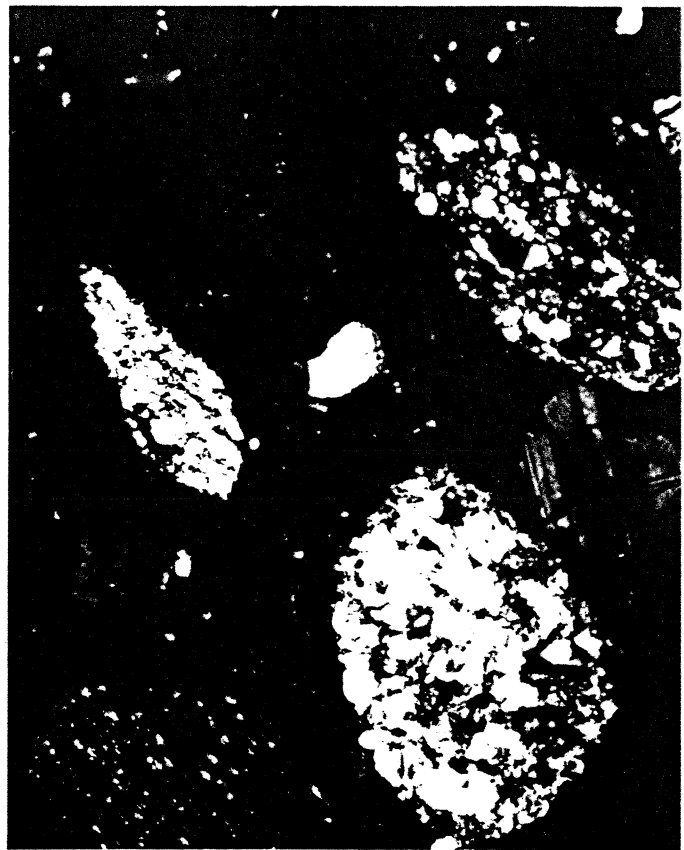


Abb. 24: Vergr. ca. 38x; +Nic.

Mikroskopische Analyse

1. feinstkörnige bis glasartige Grundmasse (mikroskopisch nicht auflösbar) ca. 41 Vol.-%
2. darin eingelagerter identifizierbarer Mineralbestand ca. 12 Vol.-%

Leucit	4	Vol.-%	Titanaugit	1	Vol.-%
Muskowit	1	Vol.-%	Hornblende	< 1	Vol.-%
Biotit	< 1	Vol.-%	Olivin	< 1	Vol.-%
Plagioklas	1	Vol.-%	Granat	-	
Sanidin	1	Vol.-%	Erz	1	Vol.-%
Quarz	1	Vol.-%	Karbonat	2	Vol.-%
3. darin eingelagerte Gesteinsbruchstücke ca. 29 Vol.-%
4. darin eingelagerte Bimse ca. 18 Vol.-%
5. Struktur: ungleichkörnig; "porphyrisch"; feinst- bis grobkörnige Einsprenglinge (Mineralfragmente, Gesteinsbruchstücke, Bimse) in feinstkörniger bis glasartiger Matrix; Gesteinsbruchstücke hauptsächlich klastische Sedimentite (Grauwacken, Tonschiefer); Einsprenglinge unregelmäßig kantig.
6. Textur: regellose Verteilung der Einsprenglinge; lückenhafte Ausfüllung; deutlicher Porenraum erkennbar.

3.2.2 Hasenstoppel Tuff



Abb. 25: Vergr. ca. 38x; -Nic.



Abb. 26: Vergr. ca. 38x; +Nic.

Mikroskopische Analyse

1. feinstkörnige bis glasartige Grundmasse (mikroskopisch nicht auflösbar) ca. 45 Vol.-%
2. darin eingelagerter identifizierbarer Mineralbestand ca. 8 Vol.-%

Leucit	3 Vol.-%	Titanaugit	2 Vol.-%
Muskowit	< 1 Vol.-%	Hornblende	< 1 Vol.-%
Biotit	< 1 Vol.-%	Olivin	< 1 Vol.-%
Plagioklas	< 1 Vol.-%	Granat	< 1 Vol.-%
Sanidin	-	Erz	2 Vol.-%
Quarz	< 1 Vol.-%	Karbonat	1 Vol.-%
3. darin eingelagerte Gesteinsbruchstücke ca. 31 Vol.-%
4. darin eingelagerte Bimse ca. 16 Vol.-%
5. Struktur: ungleichkörnig; "porphyrisch"; feinst- bis grobkörnige Einsprenglinge (Mineralfragmente, Gesteinsbruchstücke, Bimse) in feinstkörniger bis glasartiger Matrix; Gesteinsbruchstücke hauptsächlich klastische Sedimentite (Grauwacken, Tonschiefer); Einsprenglinge unregelmäßig kantig.
6. Textur: regellose Verteilung der Einsprenglinge; lückenhafte Ausfüllung; deutlicher Porenraum erkennbar.

3.2.3 Weiberner Tuff I

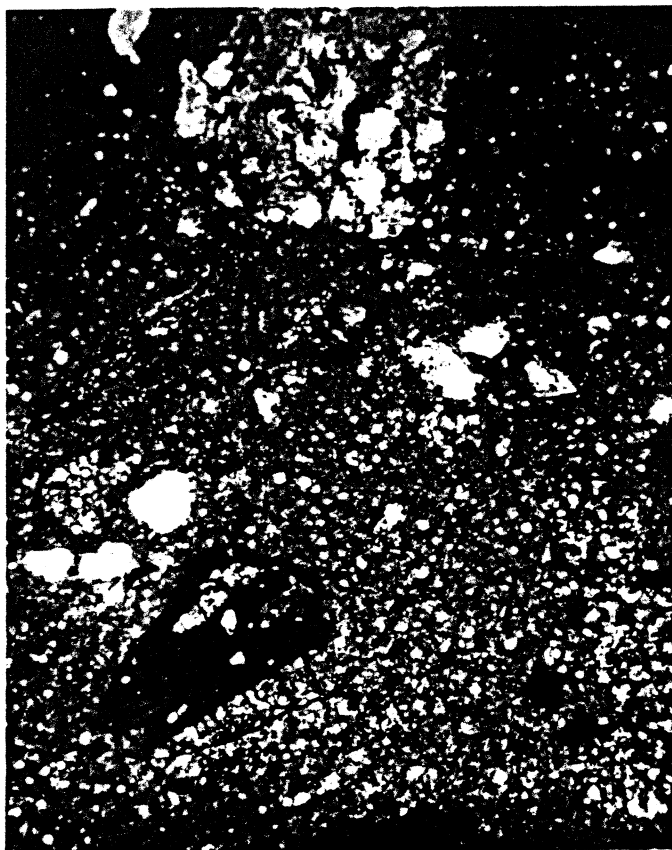


Abb. 27: Vergr. ca. 38x; -Nic.

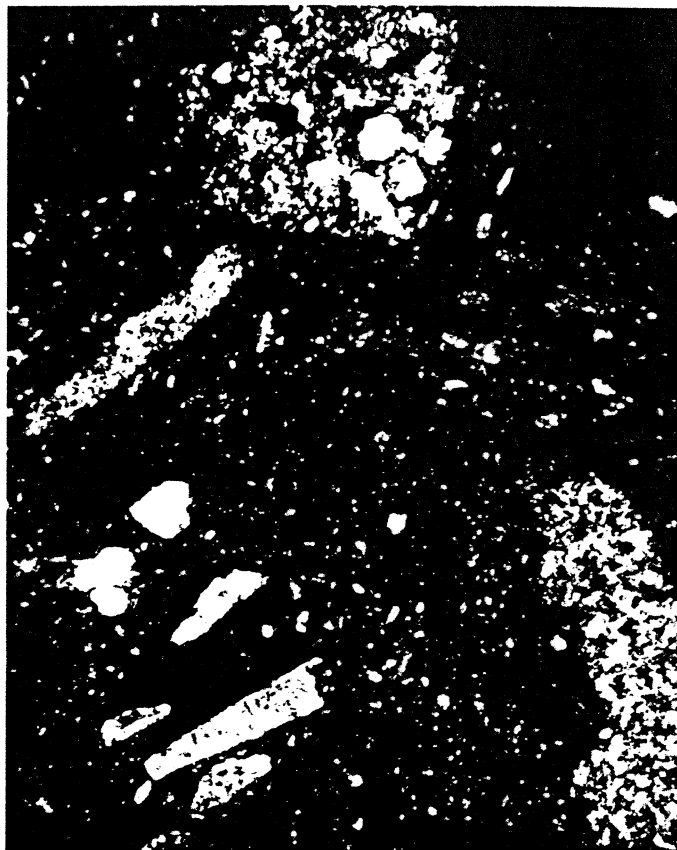


Abb. 28: Vergr. ca. 38x; +Nic.

Mikroskopische Analyse

1. feinstkörnige bis glasartige Grundmasse (mikroskopisch nicht auflösbar) ca. 64 Vol.-%
2. darin eingelagerter identifizierbarer Mineralbestand ca. 10 Vol.-%

Leucit	1	Vol.-%	Titanaugit	2	Vol.-%
Muskowit	1	Vol.-%	Hornblende	-	
Biotit	< 1	Vol.-%	Olivin	< 1	Vol.-%
Plagioklas	< 1	Vol.-%	Granat	1	Vol.-%
Sanidin	< 1	Vol.-%	Erz	4	Vol.-%
Quarz	1	Vol.-%	Karbonat	-	
3. darin eingelagerte Gesteinsbruchstücke ca. 12 Vol.-%
4. darin eingelagerte Bimse ca. 14 Vol.-%
5. Struktur: ungleichkörnig; "porphyrisch"; feinst- bis grobkörnige Einsprenglinge (Mineralfragmente, Gesteinsbruchstücke, Bimse) in feinstkörniger bis glasartiger Matrix; Gesteinsbruchstücke hauptsächlich klastische Sedimentite (Grauwacken, Tonschiefer); Einsprenglinge unregelmäßig kantig.
6. Textur: regellose Verteilung der Einsprenglinge; lückenhafte Ausfüllung; sehr deutlicher Porenraum erkennbar.

3.2.4 Weiberner Tuff II

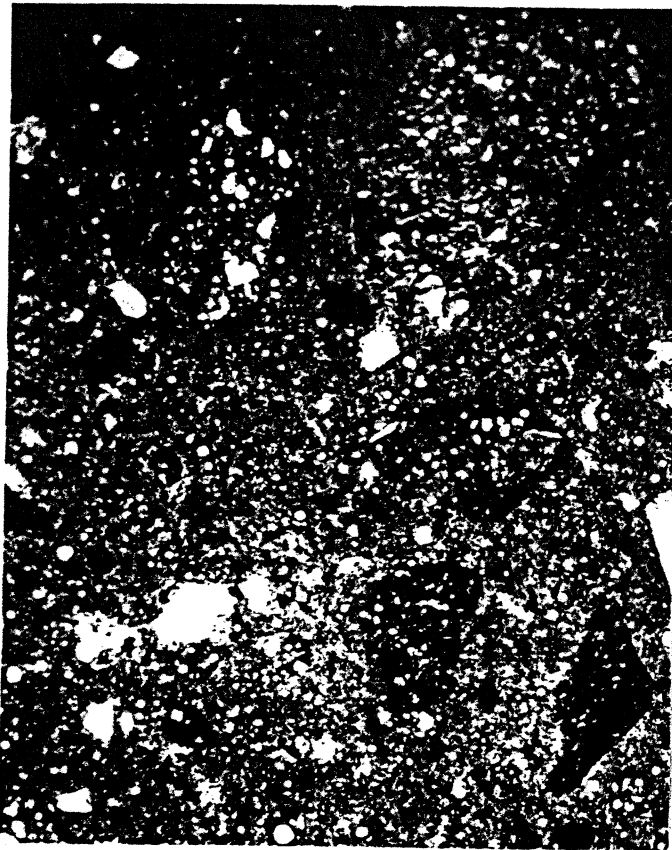


Abb. 29: Vergr. ca. 38x; -Nic.



Abb. 30: Vergr. ca. 38x; +Nic.

Mikroskopische Analyse

1. feinstkörnige bis glasartige Grundmasse (mikroskopisch nicht auflösbar) ca. 67 Vol.-%
2. darin eingelagerter identifizierbarer Mineralbestand ca. 8 Vol.-%

Leucit	1	Vol.-%	Titanaugit	1	Vol.-%	
Muskowit	1	Vol.-%	Hornblende	<	1	Vol.-%
Biotit	1	Vol.-%	Olivin	<	1	Vol.-%
Plagioklas	<	1	Granat	<	1	Vol.-%
Sanidin	<	1	Erz	2	Vol.-%	
Quarz	1	Vol.-%	Karbonat	1	Vol.-%	
3. darin eingelagerte Gesteinsbruchstücke ca. 15 Vol.-%
4. darin eingelagerte Bimse ca. 10 Vol.-%
5. Struktur: ungleichkörnig; "porphyrisch"; feinst- bis grobkörnige Einsprenglinge (Mineralfragmente, Gesteinsbruchstücke, Bimse) in feinstkörniger bis glasartiger Matrix; Gesteinsbruchstücke hauptsächlich klastische Sedimentite (Grauwacken, Tonschiefer); Einsprenglinge unregelmäßig kantig.
6. Textur: regellose Verteilung der Einsprenglinge; lückenhafte Ausfüllung; sehr deutlicher Porenraum erkennbar.

3.2.5 Riedener Tuff I

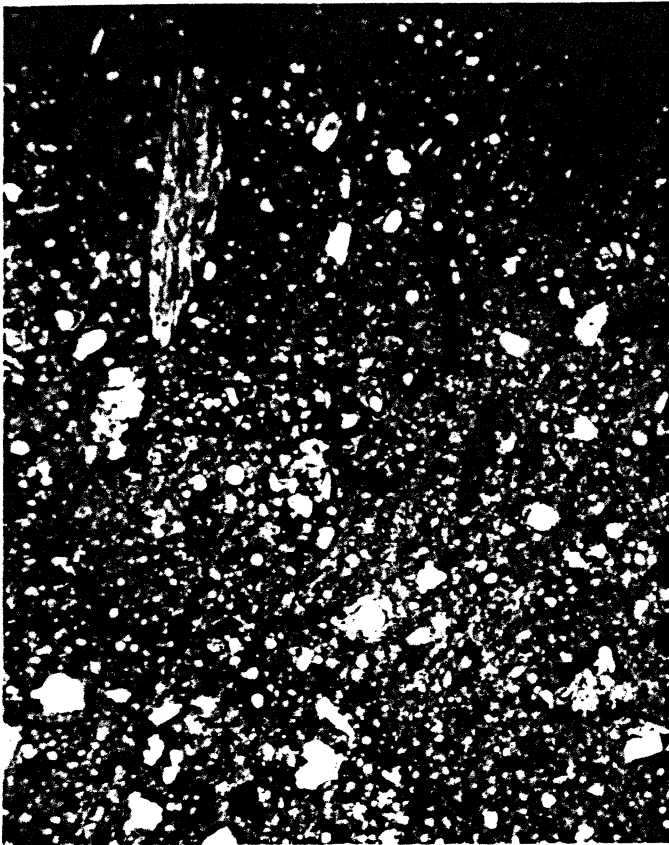


Abb. 31: Vergr. ca. 38x; -Nic.



Abb. 32: Vergr. ca. 38x; +Nic.

Mikroskopische Analyse

1. feinstkörnige bis glasartige Grundmasse (mikroskopisch nicht auflösbar) ca. 60 Vol.-%
2. darin eingelagerter identifizierbarer Mineralbestand ca. 7 Vol.-%

Leucit	2 Vol.-%	Titanaugit	< 1 Vol.-%
Muskowit	1 Vol.-%	Hornblende	< 1 Vol.-%
Biotit	1 Vol.-%	Olivin	< 1 Vol.-%
Plagioklas	< 1 Vol.-%	Granat	< 1 Vol.-%
Sanidin	< 1 Vol.-%	Erz	1 Vol.-%
Quarz	1 Vol.-%	Karbonat	1 Vol.-%
3. darin eingelagerte Gesteinsbruchstücke ca. 18 Vol.-%
4. darin eingelagerte Bimse ca. 15 Vol.-%
5. Struktur: ungleichkörnig; "porphyrisch"; feinst- bis grobkörnige Einsprenglinge (Mineralfragmente, Gesteinsbruchstücke, Bimse) in feinstkörniger bis glasartiger Matrix; Gesteinsbruchstücke hauptsächlich klastische Sedimentite (Grauwacken, Tonschiefer); Einsprenglinge unregelmäßig kantig.
6. Textur: regellose Verteilung der Einsprenglinge; lückenhafte Ausfüllung; sehr deutlicher Porenraum erkennbar.

3.2.6 Riedener Tuff II



Abb. 33: Vergr. ca. 38x; -Nic.



Abb. 34: Vergr. ca. 38x; +Nic.

Mikroskopische Analyse

- | | | |
|----|---|-----------------------|
| 1. | feinstkörnige bis glasartige <u>Grundmasse</u>
(mikroskopisch nicht auflösbar) | ca. 35 Vol.-% |
| 2. | darin eingelagerter identifizierbarer <u>Mineralbestand</u> | ca. 10 Vol.-% |
| | Leucit < 1 Vol.-% | Titanaugit 1 Vol.-% |
| | Muskowit < 1 Vol.-% | Hornblende < 1 Vol.-% |
| | Biotit 2 Vol.-% | Olivin < 1 Vol.-% |
| | Plagioklas < 1 Vol.-% | Granat < 1 Vol.-% |
| | Sanidin 3 Vol.-% | Erz 1 Vol.-% |
| | Quarz 1 Vol.-% | Karbonat 2 Vol.-% |
| 3. | darin eingelagerte <u>Gesteinsbruchstücke</u> | ca. 35 Vol.-% |
| 4. | darin eingelagerte <u>Bimse</u> | ca. 20 Vol.-% |
| 5. | <u>Struktur:</u> ungleichkörnig; "porphyrisch"; feinst- bis grobkörnige Einsprenglinge (Mineralfragmente, Gesteinsbruchstücke, Bimse) in feinstkörniger bis glasartiger Matrix; Gesteinsbruchstücke hauptsächlich klastische Sedimentite (Grauwacken, Tonschiefer); Einsprenglinge unregelmäßig kantig. | |
| 6. | <u>Textur:</u> regellose Verteilung der Einsprenglinge; lückenhafte Ausfüllung; sehr deutlicher Porenraum erkennbar. | |

3.2.7 Römer Tuff I

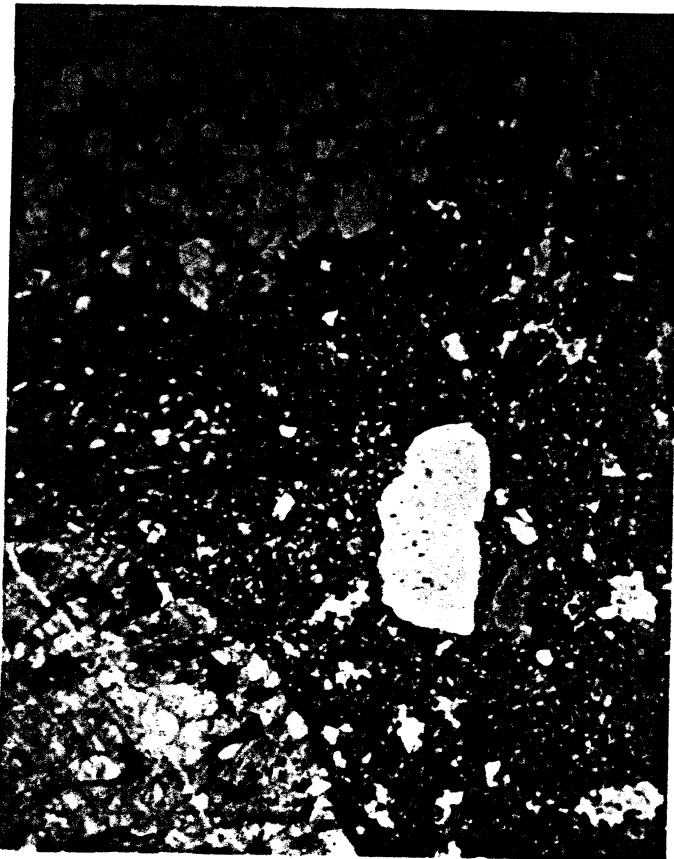


Abb. 35: Vergr. ca. 38x; -Nic.



Abb. 36: Vergr. ca. 38x; +Nic.

Mikroskopische Analyse

1. feinstkörnige bis glasartige Grundmasse (mikroskopisch nicht auflösbar) ca. 54 Vol.-%
2. darin eingelagerter identifizierbarer Mineralbestand ca. 9 Vol.-%

Leucit	-	Titanaugit	2 Vol.-%
Muskowit	< 1 Vol.-%	Hornblende	-
Biotit	< 1 Vol.-%	Olivin	< 1 Vol.-%
Plagioklas	1 Vol.-%	Granat	-
Sanidin	4 Vol.-%	Erz	2 Vol.-%
Quarz	< 1 Vol.-%	Karbonat	< 1 Vol.-%
3. darin eingelagerte Gesteinsbruchstücke ca. 22 Vol.-%
4. darin eingelagerte Bimse ca. 15 Vol.-%
5. Struktur: ungleichkörnig; "porphyrisch"; feinst- bis grobkörnige Einsprenglinge (Mineralfragmente, Gesteinsbruchstücke, Bimse) in feinstkörniger bis glasartiger Matrix; Gesteinsbruchstücke hauptsächlich Basalte und klastische Sedimentite (Grauwacken, Tonschiefer); Einsprenglinge unregelmäßig kantig.
6. Textur: regellose Verteilung der Einsprenglinge; lückenhafte Ausfüllung; sehr deutlicher Porenraum und Großporen erkennbar.

3.2.8 Römer Tuff II



Abb. 37: Vergr. ca. 38x; -Nic.

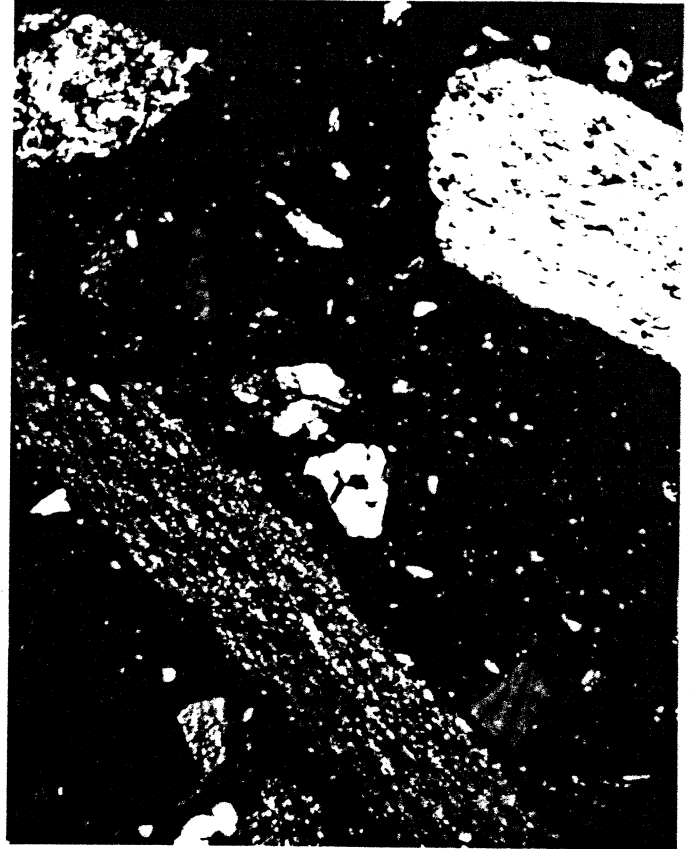


Abb. 38: Vergr. ca. 38x; +Nic.

Mikroskopische Analyse

1. feinstkörnige bis glasartige Grundmasse (mikroskopisch nicht auflösbar) ca. 52 Vol.-%
2. darin eingelagerter identifizierbarer Mineralbestand ca. 7 Vol.-%

Leucit	-		Titanaugit	1	Vol.-%
Muskowit	1	Vol.-%	Hornblende	-	
Biotit	< 1	Vol.-%	Olivin	-	
Plagioklas	-		Granat	-	
Sanidin	3	Vol.-%	Erz	2	Vol.-%
Quarz	< 1	Vol.-%	Karbonat	-	
3. darin eingelagerte Gesteinsbruchstücke ca. 24 Vol.-%
4. darin eingelagerte Bimse ca. 17 Vol.-%
5. Struktur: ungleichkörnig; "porphyrisch"; feinst- bis grobkörnige Einsprenglinge (Mineralfragmente, Gesteinsbruchstücke, Bimse) in feinstkörniger bis glasartiger Matrix; Gesteinsbruchstücke hauptsächlich klastische Sedimentite (Grauwacken, Tonschiefer); Einsprenglinge unregelmäßig kantig.
6. Textur: regellose Verteilung der Einsprenglinge; lückenhafte Ausfüllung; sehr deutlicher Porenraum und Großporen erkennbar.

3.3 Röntgenbeugungs-Analyse

Mit Hilfe der Röntgenbeugungs-Analyse - ein Verfahren zur qualitativen und halbquantitativen Identifizierung auch extrem feinstkörniger Mineralkomponenten - wurde der Mineralbestand nochmals untersucht. Von allen Gesteinsvarietäten wurden Übersichtsmessungen durchgeführt, um den Mineralbestand besonders im Grundmasseanteil festzustellen. Wichtiger Teilbereich war hierbei die Identifizierung der Zeolithe.

Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß bei der Röntgenbeugungs-Analyse nur Mineralanteile über 3-5 Vol.-% erfaßt werden. Zur näheren Untersuchung von vorhandenen Tonmineralen erfolgten unter gleichen Aufnahmebedingungen nach Glykol-Bedampfung und Erhitzung der Pulverpräparate zwei weitere Röntgenbeugungsmessungen. Zusätzlich wurden für eine weitere Charakterisierung des Probenmaterials aus der Grundmasse herauspräparierte Bimseinsprenglinge auf ihren Zeolith-Gehalt hin röntgenographisch untersucht.

Folgende Punkte wurden also besonders berücksichtigt:

- I. Die mineralische Zusammensetzung der Gesamtprobe
- II. Der Nachweis von Tonmineralen
 1. Der Nachweis des Gesamttonmineralgehaltes
 2. Der Nachweis von quellfähigen Tonmineralen
- III. Die mineralische Zusammensetzung (Zeolith-Gehalt) der Bimseinsprenglinge.

In diesem Zusammenhang soll darauf hingewiesen werden, daß die am Aufbau der Grundmasse bzw. Bimse beteiligte Glassubstanz mit der Röntgenbeugungs-Analyse nicht untersucht werden kann.

3.3.1 Ettringer Tuff

- zu I. : Zusätzlich zu den bei der Mikroskopischen Analyse identifizierten Komponenten wurde ein sehr deutlicher Hauptmineralanteil an Phillipsit nachgewiesen. Chabasit konnte in äußerst geringem Umfange festgestellt werden. Beide Zeolithe sind überwiegend der Grundmasse zuzuordnen.
- zu II.1 : Tonminerale konnten in geringem Umfange nachgewiesen werden.
- zu II.2 : Den Tonmineralgehalt bilden der nicht quellfähige Chlorit und quellfähige Mixed Layer-Tonminerale, die aufgrund der geringen Quantität vernachlässigbar sind.
- zu III. : Die Bimseinsprenglinge weisen einen hohen Phillipsit-Gehalt auf.

3.3.2 Hasenstoppel Tuff

- zu I : Zusätzlich zu den bei der Mikroskopischen Analyse identifizierten Komponenten wurde ein sehr deutlicher Hauptmineralanteil an Phillipsit nachgewiesen. Der Phillipsit ist überwiegend der Grundmasse zuzuordnen.
- zu II.1 : Tonminerale konnten in geringem Umfange nachgewiesen werden.
- zu II.2 : Den Tonmineralgehalt bilden der nicht quellfähige Chlorit und quellfähige Mixed Layer-Tonminerale, die aufgrund der geringen Quantität vernachlässigbar sind.
- zu III. : Die Bimseinsprenglinge weisen einen hohen Phillipsit-Gehalt auf.

3.3.3 Weiberner Tuff I

- zu I : Zusätzlich zu den bei der Mikroskopischen Analyse identifizierten Komponenten wurde ein sehr deutlicher Hauptmineralanteil an Analcim nachgewiesen. Phillipsit konnte in äußerst geringem Umfange festgestellt werden. Beide Zeolithe sind überwiegend der Grundmasse zuzuordnen.
- zu II.1 : Tonminerale konnten in geringem Umfange nachgewiesen werden.
- zu II.2 : Den Tonmineralgehalt bilden der nicht quellfähige Chlorit und quellfähige Mixed Layer-Tonminerale, die aufgrund der geringen Quantität vernachlässigbar sind.
- zu III. : Die Bimseinsprenglinge weisen einen hohen Analcim-Gehalt auf.

3.3.4 Weiberner Tuff II

- zu I. : Zusätzlich zu den bei der Mikroskopischen Analyse identifizierten Komponenten wurde ein sehr deutlicher Hauptmineralanteil an Analcim nachgewiesen. Phillipsit konnte in äußerst geringem Umfange festgestellt werden. Beide Zeolithe sind überwiegend der Grundmasse zuzuordnen.
- zu II.1 : Tonminerale konnten in geringem Umfange nachgewiesen werden.
- zu II.2 : Den Tonmineralgehalt bilden der nicht quellfähige Chlorit und quellfähige Mixed Layer-Tonminerale, die aufgrund der geringen Quantität vernachlässigbar sind.
- zu III. : Die Bimseinsprenglinge weisen einen hohen Analcim-Gehalt auf.

3.3.5 Riedener Tuff I

- zu I : Zusätzlich zu den bei der Mikroskopischen Analyse identifizierten Komponenten wurde ein sehr deutlicher Hauptmineralanteil an Analcim nachgewiesen. Phillipsit konnte in geringem Umfange festgestellt werden. Beide Zeolithe sind überwiegend der Grundmasse zuzuordnen.
- zu II.1 : Tonminerale konnten in geringem Umfange nachgewiesen werden.
- zu II.2 : Den Tonmineralgehalt bilden der nicht quellfähige Chlorit und quellfähige Mixed Layer-Tonminerale, die aufgrund der geringen Quantität vernachlässigbar sind.
- zu III. : Die Bimseinsprenglinge weisen einen hohen Analcim-Gehalt auf.

3.3.6 Riedener Tuff II

- zu I. : Zusätzlich zu den bei der Mikroskopischen Analyse identifizierten Komponenten wurde ein sehr deutlicher Hauptmineralanteil an Analcim nachgewiesen. Chabasit und Phillipsit konnten in geringem Umfange festgestellt werden. Die Zeolithe sind überwiegend der Grundmasse zuzuordnen.
- zu II.1 : Tonminerale konnten in geringem Umfange nachgewiesen werden.
- zu II.2 : Den Tonmineralgehalt bildet der nicht quellfähige Chlorit.
- zu III. : Die Bimseinsprenglinge weisen einen hohen Phillipsit-Gehalt auf. Analcim und Chabasit konnten in geringem Umfange festgestellt werden.

3.3.7 Römer Tuff I

- zu I. : Zusätzlich zu den bei der Mikroskopischen Analyse identifizierten Komponenten wurden sehr deutliche Hauptmineralanteile an Analcim und Chabasit nachgewiesen. Phillipsit konnte in geringem Umfange festgestellt werden. Die Zeolithe sind überwiegend der Grundmasse zuzuordnen.
- zu II.1 : Tonminerale konnten in geringem Umfange nachgewiesen werden.
- zu II.2 : Den Tonmineralgehalt bildet der nicht quellfähige Chlorit.
- zu III. : Die Bimseinsprenglinge weisen einen hohen Chabasit-Gehalt auf. Analcim und Phillipsit konnten in geringem Umfange festgestellt werden.

3.3.8 Römer Tuff II

- zu I. : Zusätzlich zu den bei der Mikroskopischen Analyse identifizierten Komponenten wurde ein sehr deutlicher Hauptmineralanteil an Analcim nachgewiesen. Chabasit und Phillipsit konnten in geringerem Umfang festgestellt werden. Die Zeolithe sind überwiegend der Grundmasse zuzuordnen.
- zu II.1 : Tonminerale konnten in geringem Umfange nachgewiesen werden.
- zu II.2 : Den Tonmineralgehalt bilden der nicht quellfähige Chlorit und quellfähige Mixed Layer-Tonminerale, die aufgrund der geringen Quantität vernachlässigbar sind.
- zu III. : Die Bimseinsprenglinge können oft Chabasit, manchmal auch Analcim und Phillipsit aufweisen. Der Gehalt an Zeolithen wird dabei vom Verwitterungsgrad der Bimseinsprenglinge bestimmt. Bei unverwitterten Bimsen ist meistens nur Glassubstanz feststellbar. In Abb. 39, 40 und 41 sind drei Röntgenbeugungsdiagramme dargestellt, die dies wieder spiegeln.

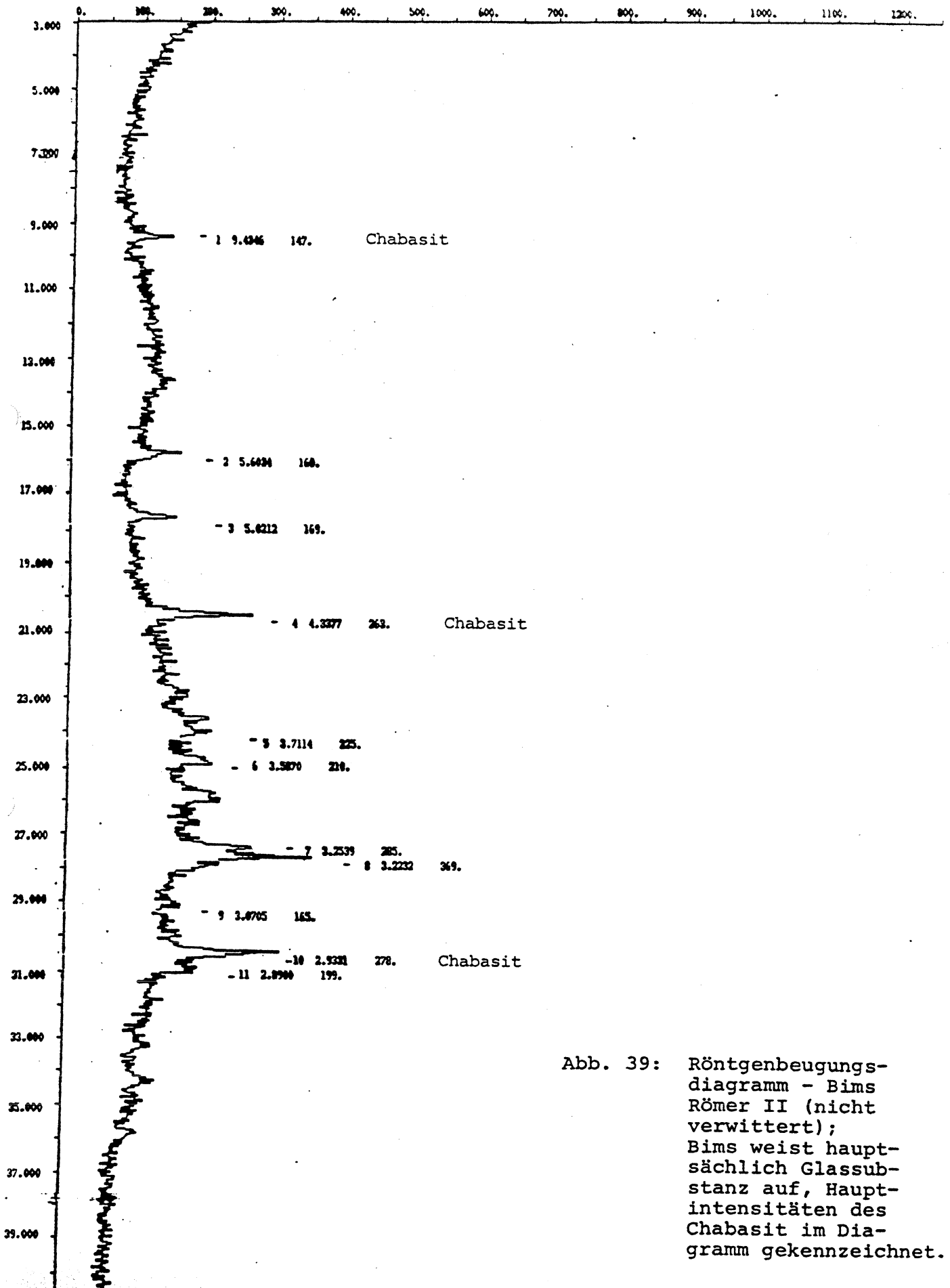


Abb. 39: Röntgenbeugungsdiagramm - Bims Römer II (nicht verwittert); Bims weist hauptsächlich Glassubstanz auf, Hauptintensitäten des Chabasit im Diagramm gekennzeichnet.

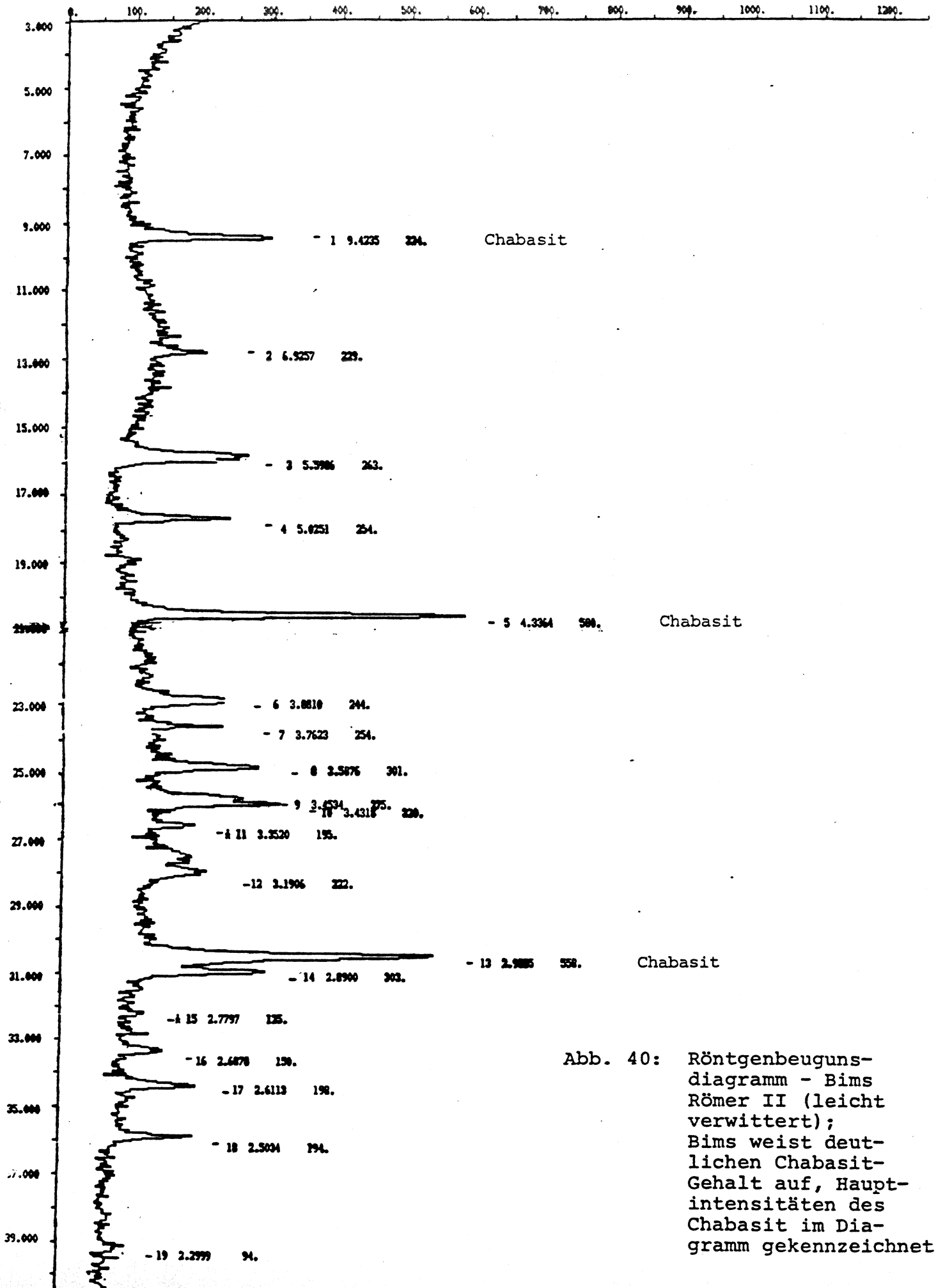


Abb. 40: Röntgenbeugungsdiagramm - Bims Römer II (leicht verwittert); Bims weist deutlichen Chabasit-Gehalt auf, Hauptintensitäten des Chabasit im Diagramm gekennzeichnet.

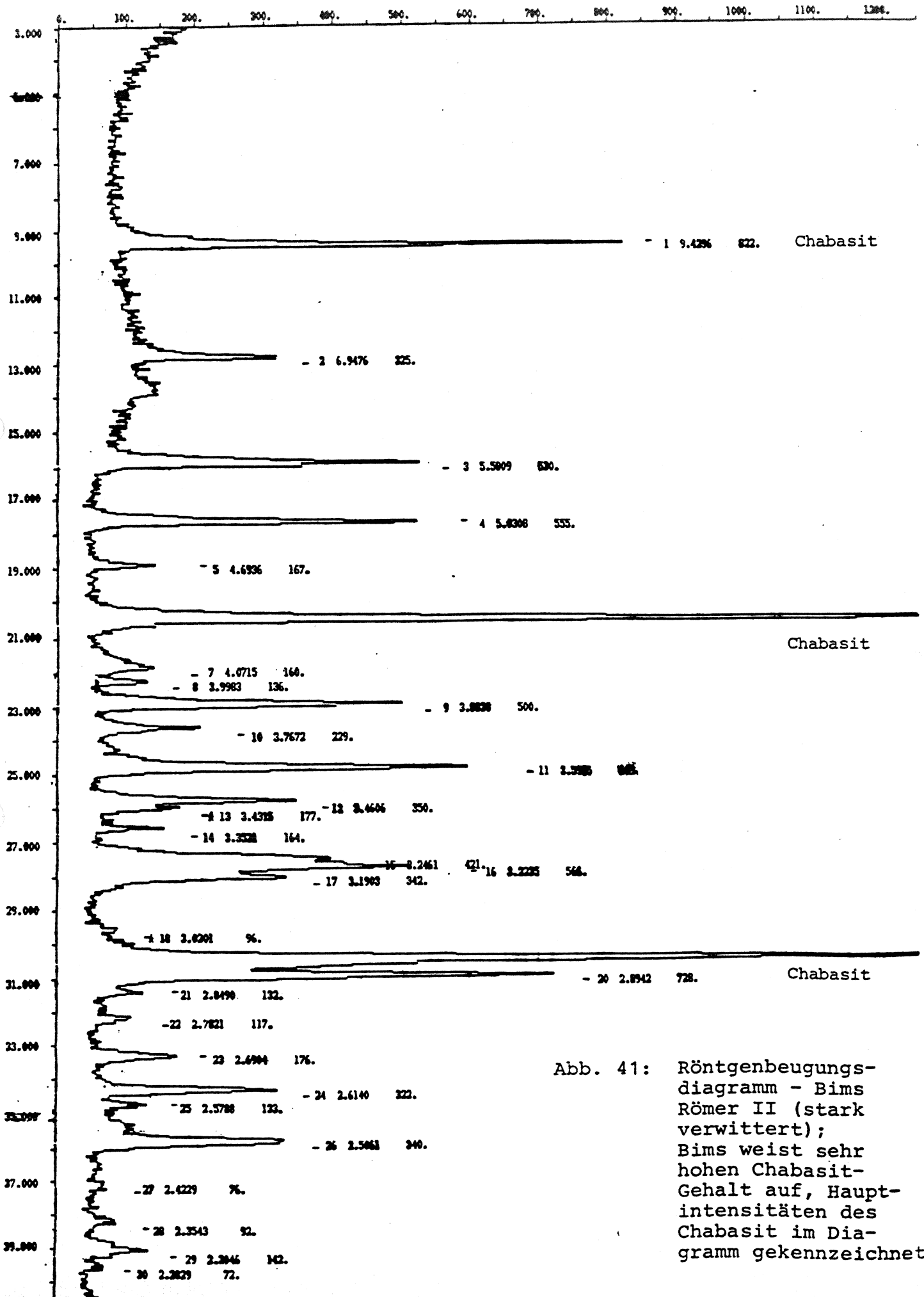


Abb. 41: Röntgenbeugungsdiagramm - Bims Römer II (stark verwittert); Bims weist sehr hohen Chabasit-Gehalt auf, Hauptintensitäten des Chabasit im Diagramm gekennzeichnet.

3.4 Porenraumanalyse

Die vorangegangenen Untersuchungsverfahren erlaubten keine eindeutigen Aussagen über den für gesteintechnische Fragestellungen wichtigen Porenraum. Es wurde daher mit Hilfe der Quecksilberporosimetrie eine Porenraumanalyse durchgeführt. Im Rahmen der Porenraumanalyse werden folgende Kennwerte ermittelt:

Reindichte
Rohdichte
Gesamtporosität
Porenradienverteilung

Diese Kennwerte beziehen sich auf den Porenraum mit den Abmessungen $r = 750 \mu\text{m}$ bis $r = 0,00375 \mu\text{m}$. Von jeder Probenart wurden mehrere Teilproben quecksilberporosimetrisch untersucht und jeweils zwei Messungen dargestellt, die charakteristische Kennwerte lieferten.

3.4.1 Reindichte, Rohdichte und Gesamtporosität

Die Werte für Reindichte, Rohdichte und Gesamtporosität, die mit Hilfe der Quecksilberporosimetrie ermittelt wurden, beziehen sich nur auf den bei diesem Verfahren erfaßten Porenradienbereich. Es ist zu berücksichtigen, daß aufgrund des oben aufgeführten Meßbereichs die realen Werte größer (Reindichte, Gesamtporosität) bzw. kleiner (Rohdichte) sein können. Daher wurden im weiteren sowohl durch Volumenbestimmung (Wasserverdrängungsverfahren) und maximale Wasseraufnahme (Versuch im Autoklaven bei 150 bar) von formatisierten Probenkörpern als auch mit einem Luftvergleichs-Pyknometer Reindichte-Werte ermittelt. Aus diesen Reindichte- und Rohdichte-Werten wurden dann auch Gesamtporositäten berechnet. In Abb. 42 sind die quecksilberporosimetrisch und durch Vergleichsverfahren ermittelten Kennwerte Reindichte, Rohdichte und Gesamtporosität aufgelistet.

Gestein	Reindichte (g · cm ⁻³)			Rohdichte (g · cm ⁻³)		Gesamtporosität (%)			
	Quecksilberporosimetrie 1. Teilprobe 2. Teilprobe	Luftver- gleichs- pyknometer	H ₂ O-Aufnahme + H ₂ O-Verdrän- gungsverfahren	Quecksilberporosimetrie 1. Teilprobe 2. Teilprobe	H ₂ O-Ver- drängungs- verfahren	Quecksilberporosimetrie 1. Teilprobe 2. Teilprobe	Luftvergleichspyknometer + H ₂ O-Verdrängungsverfahren	H ₂ O-Aufnahme + H ₂ O-Verdrän- gungsverfahren	
Ettringer	2,26 2,18	2,46	2,59	1,68 1,57	1,59	25,46 27,93	35,4	38,5	
Hasenstoppel	2,23 2,20	2,40	2,54	1,57 1,52	1,51	29,48 30,90	37,1	40,6	
Weiberner I	2,30 2,33	2,47	2,52	1,34 1,31	1,36	41,62 43,74	44,9	46,1	
Weiberner II	2,33 2,38	2,51	2,53	1,35 1,38	1,32	41,95 42,06	47,4	47,8	
Riedener I	2,36 2,39	2,51	2,51	1,45 1,43	1,43	38,65 40,35	43,0	42,9	
Riedener II	2,35 2,33	2,57	2,61	1,47 1,52	1,59	37,21 34,59	38,1	39,3	
Römer I	2,18 2,22	2,37	2,47	1,31 1,33	1,31	39,70 40,03	44,7	47,3	
Römer II	2,20 2,26	2,32	2,43	1,33 1,21	1,11	39,31 46,30	52,2	54,1	

Abb. 42: Reindichte, Rohdichte und Gesamtporosität

3.4.2 Porenradienverteilung

Neben der Gesamtporosität stellt die Porenradienverteilung eine wichtige Kenngröße dar, welche die Geschwindigkeit und Intensität der Verwitterungsprozesse im Gestein beeinflusst. So werden zum Beispiel Kristallwachstum bzw. Hydratationsvorgänge bei der Salzverwitterung maßgeblich von der Porenradienverteilung bestimmt. Auch lassen sich vormakroskopische Gefügeänderungen zwischen frischem und verwittertem Gesteinsmaterial nachweisen sowie Gesteine mit gleichem Modalbestand unterscheiden.

Das Gesamtporenspektrum jeder untersuchten Teilprobe ist in Form von vier Histogrammen dargestellt (Abb. 43 bis 58).

Die ersten beiden Histogramme geben für jede Teilprobe eine relative Porenradienverteilung in unterschiedlicher Auflösung wider. Hierbei bilden die relativen Porositätsanteile, die auf die verschiedenen Porenradienbereiche entfallen, eine Summe von 100 % (Summenabweichungen durch Rundungen möglich). Die zugehörige Kurve gibt dabei das kumulative Volumen ($\text{mm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$) an.

Zwei weitere Darstellungen geben für jede Teilprobe eine absolute Porenradienverteilung in unterschiedlicher Auflösung an. Die Summe aller Porositätsanteile ergibt die absolute Porosität der Teilprobe (Summenabweichungen durch Rundungen möglich).

Die Grundlage für das Erstellen dieser Säulendiagramme ist ein "data listing" von gemessenen und berechneten Werten jeder Porenraumanalyse. Als Beispiel ist das "data listing" des Ettringer Tuffs (1. Teilprobe) abgebildet (Abb. 59). Dabei wird die beim Druckaufbau (PRESSURE) in die Probe eingedrungene Quecksilbermenge als Absenkung (PENETR.) registriert und die dazugehörigen Porenradien (PORE RADIUS) errechnet. Zu jedem Porenradienbereich wird das kumulative Volumen (CUM. VOL.), das relative Volumen (REL. VOL.) sowie die Innere Oberfläche (CUM. AREA, AREA DIST.) ermittelt.

Zur weiteren Gesteinscharakterisierung wurden die durch das Vergleichsverfahren H₂O-Aufnahme und H₂O-Verdrängungsverfahren ermittelten Gesamtporositäten berücksichtigt und in die Radienverteilung mit einbezogen. Hierbei wurde angenommen, daß der Differenzbetrag zwischen den Werten für die Gesamtporosität aus der Quecksilberporosimetrie und dem Vergleichsverfahren Porenräume darstellt, die unterhalb dem quecksilberporosimetrisch erfaßten Porenradienbereich von 0,00375 µm liegen. Für alle Teilproben wurden vier Porenradienverteilungen erstellt (Abb. 60).

Abb. 60.1 stellt eine relative Porenradienverteilung dar, in der nur die Werte aus der Quecksilberporosimetrie berücksichtigt wurden.

Abb. 60.2 stellt eine absolute Porenradienverteilung dar, in der nur die Werte aus der Quecksilberporosimetrie berücksichtigt wurden.

Abb. 60.3 stellt eine relative Porenradienverteilung dar, in der zusätzlich die ermittelten Gesamtporositäten aus dem Vergleichsverfahren H₂O-Aufnahme und H₂O-Verdrängungsverfahren berücksichtigt wurden.

Abb. 60.4 stellt eine absolute Porenradienverteilung dar, in der zusätzlich die ermittelten Gesamtporositäten aus dem Vergleichsverfahren H₂O-Aufnahme und H₂O-Verdrängungsverfahren berücksichtigt wurden.

In jeder Porenradienverteilung wurde das Gesamtporenspektrum aller Teilproben wie folgt in fünf Radienklassen untergliedert:

1. Radienklasse: $r \leq 0,01$ µm
2. Radienklasse: $r = 0,01 - 0,1$ µm
3. Radienklasse: $r = 0,1 - 1$ µm
4. Radienklasse: $r = 1 - 10$ µm
5. Radienklasse: $r \geq 10$ µm

Die durch das Vergleichsverfahren H_2O -Aufnahme und H_2O -Verdrängungsverfahren zusätzlich ermittelte Gesamtporosität wurde der Radienklasse $r \leq 0,01 \mu m$ zugeordnet.

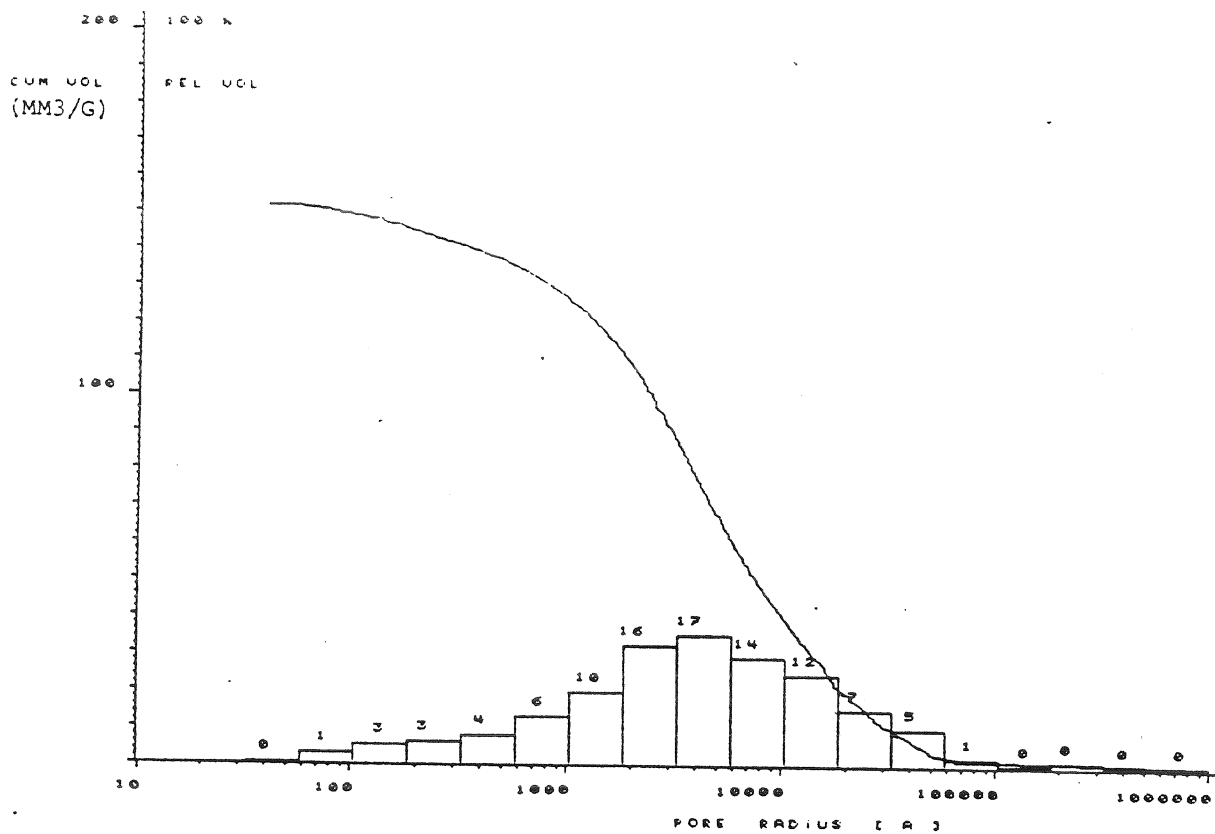


Abb. 43.1 : Porenradienverteilung (rel.) - Ettringer 1. Teilprobe

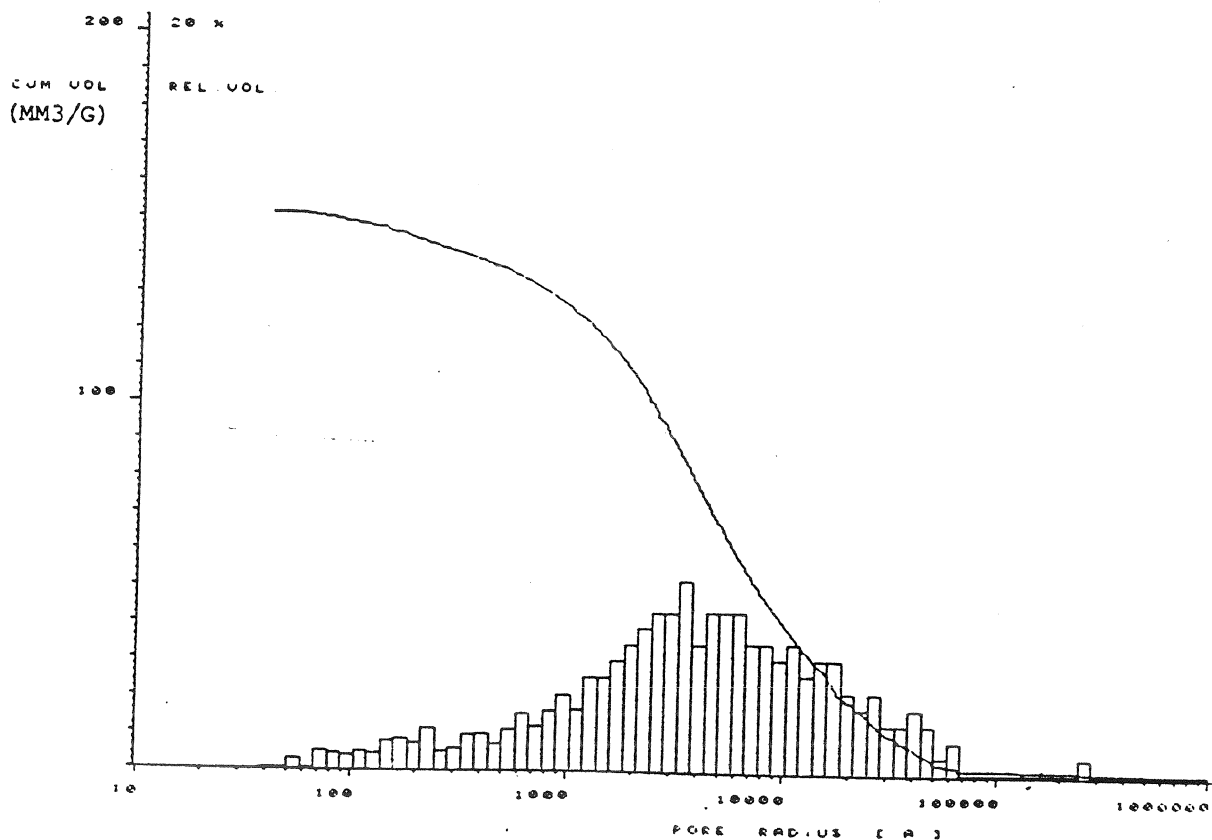


Abb. 43.2 : Porenradienverteilung (rel.) - Ettringer 1. Teilprobe

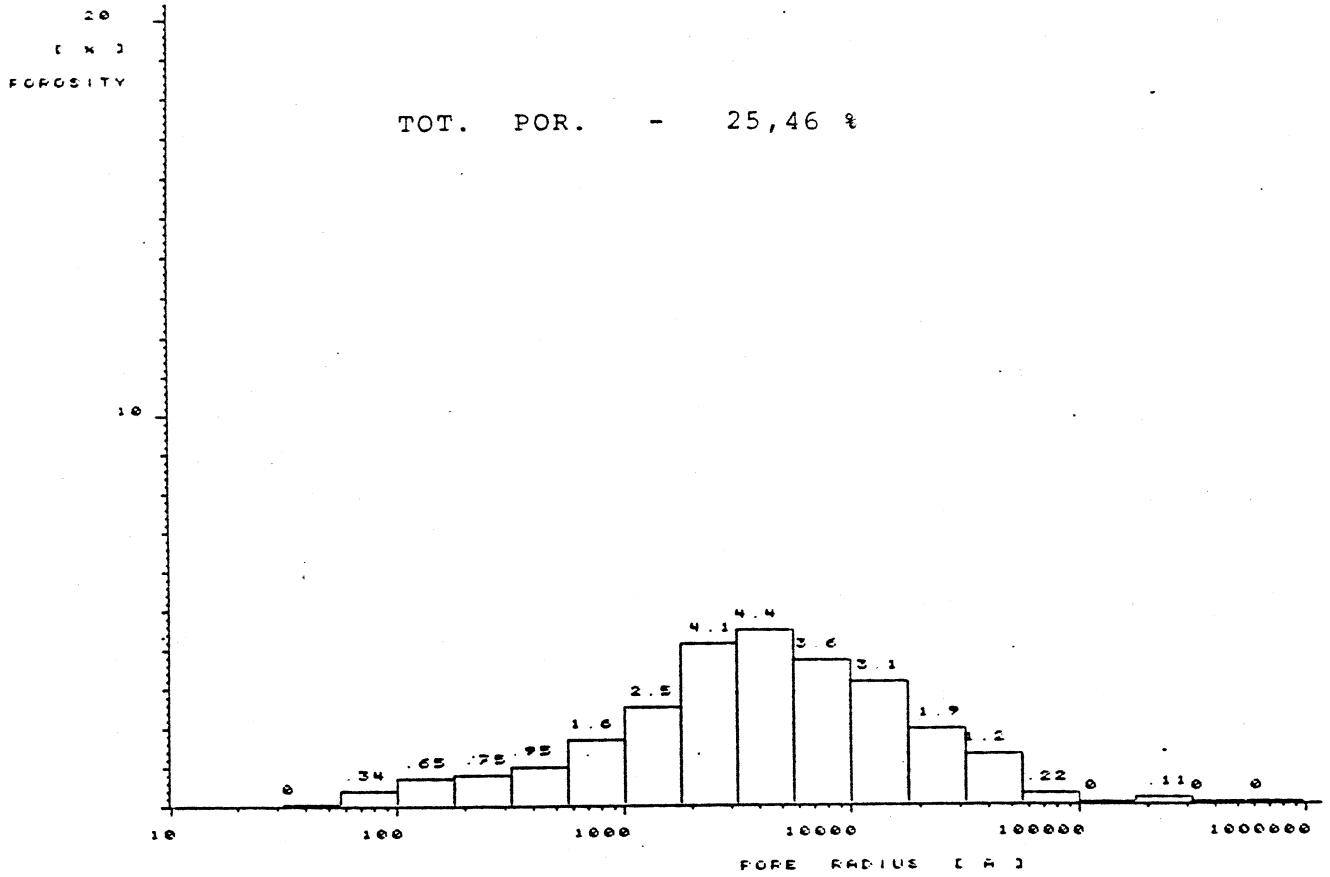


Abb. 43.3 : Porenradienverteilung (abs.) - Ettringer 1. Teilprobe

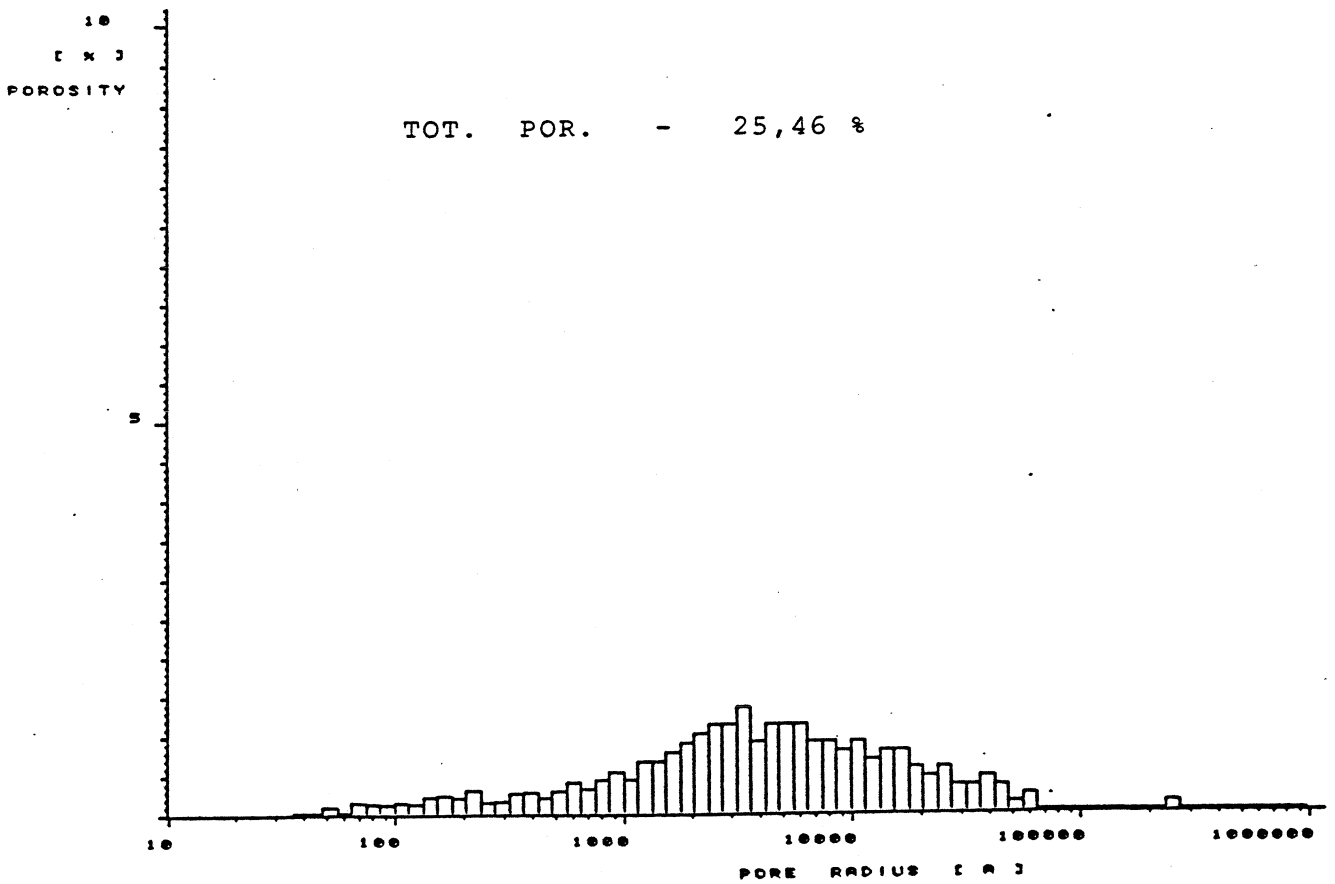


Abb. 43.4 : Porenradienverteilung (abs.) - Ettringer 1. Teilprobe

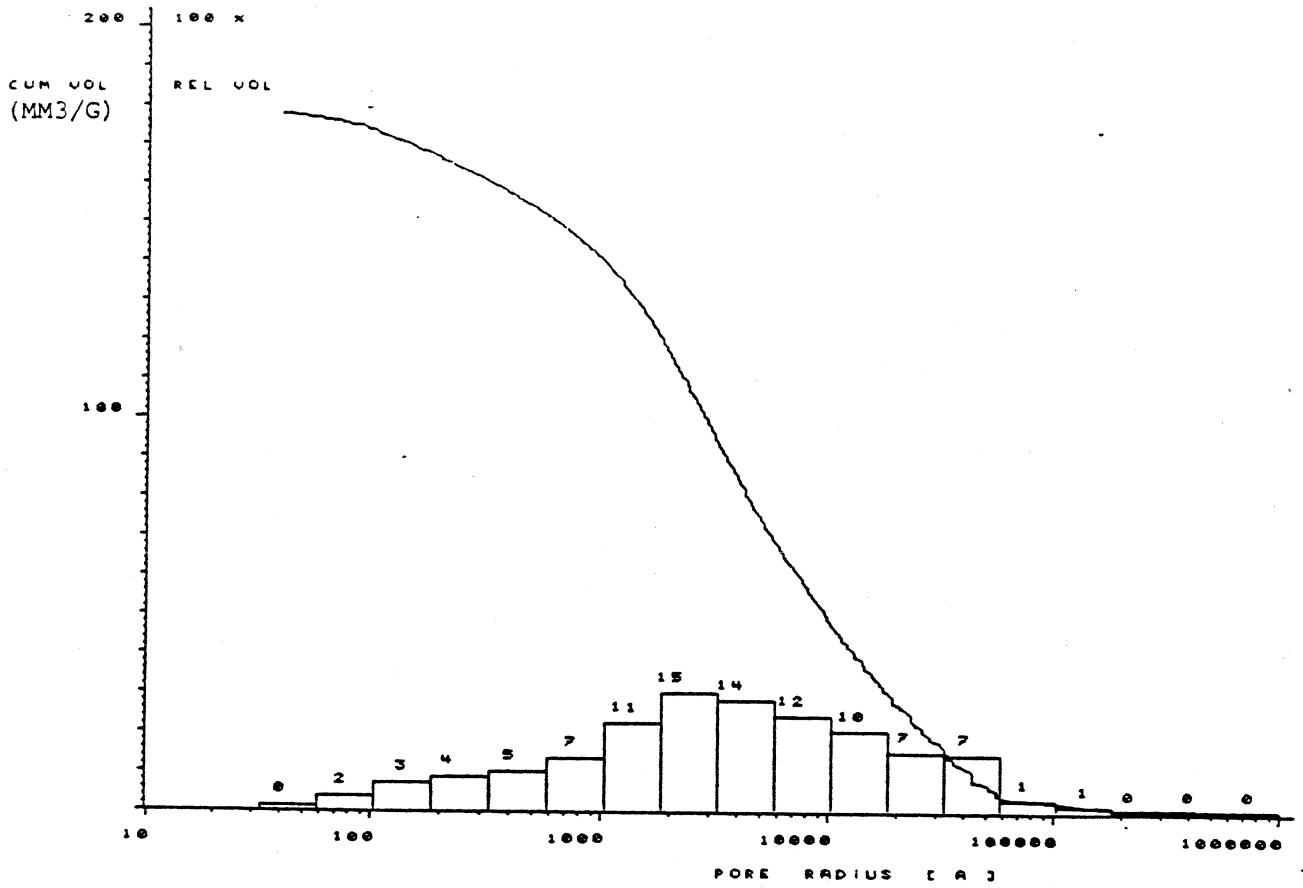


Abb. 44.1 : Porenradienverteilung (rel.) - Ettringer 2. Teilprobe

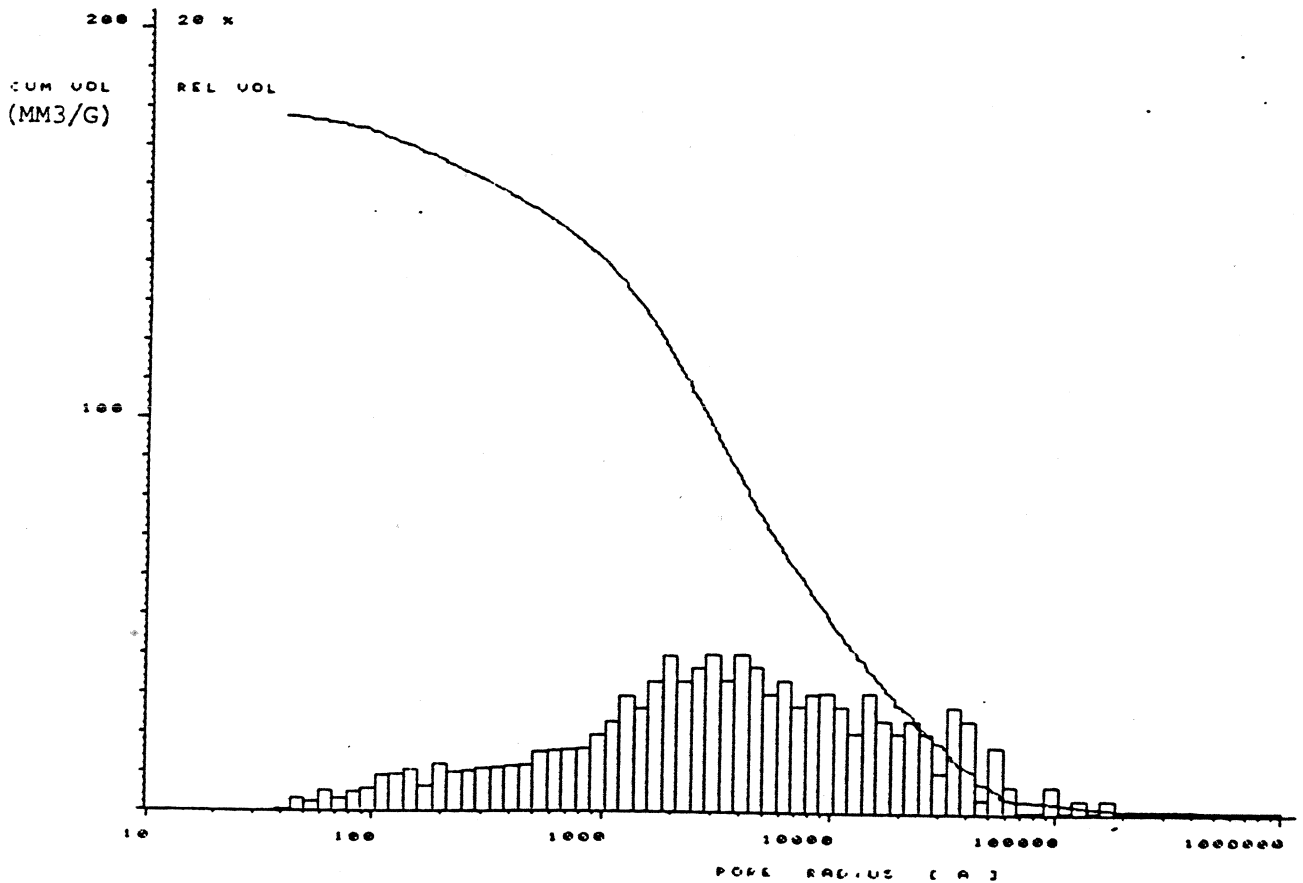


Abb. 44.2 : Porenradienverteilung (rel.) - Ettringer 2. Teilprobe

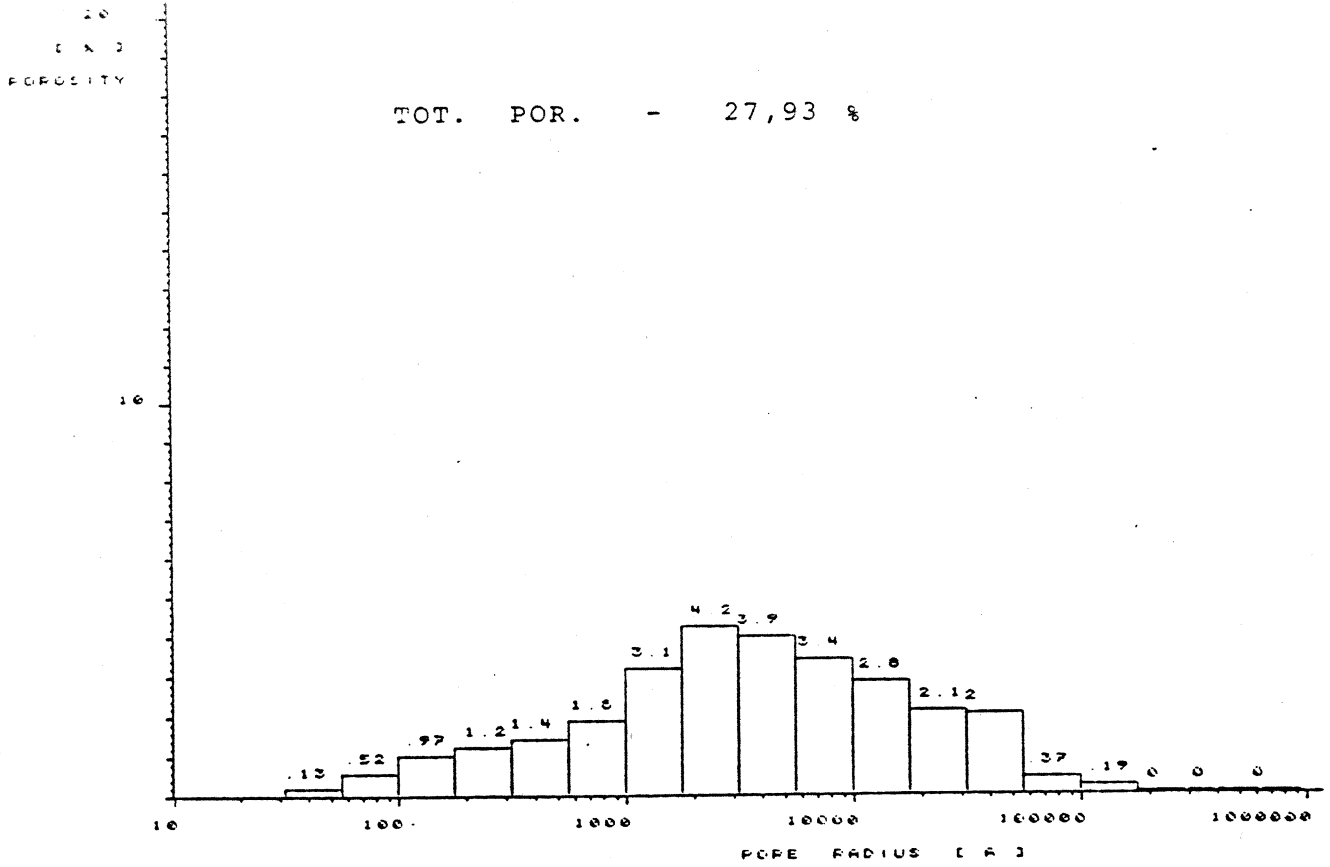


Abb. 44.3 : Porenradienverteilung (abs.) - Ettringer 2. Teilprobe

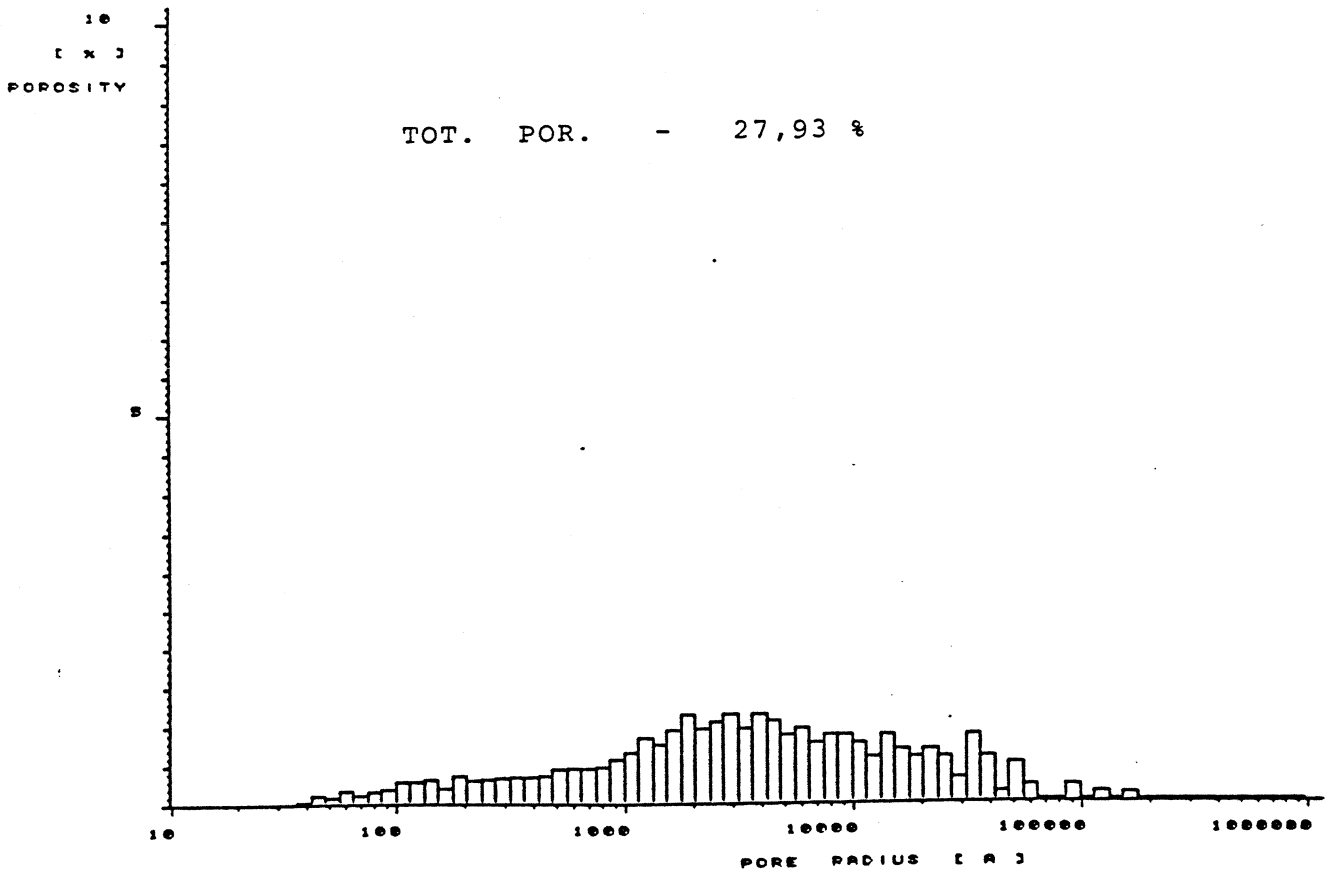


Abb. 44.4 : Porenradienverteilung (abs.) - Ettringer 2. Teilprobe

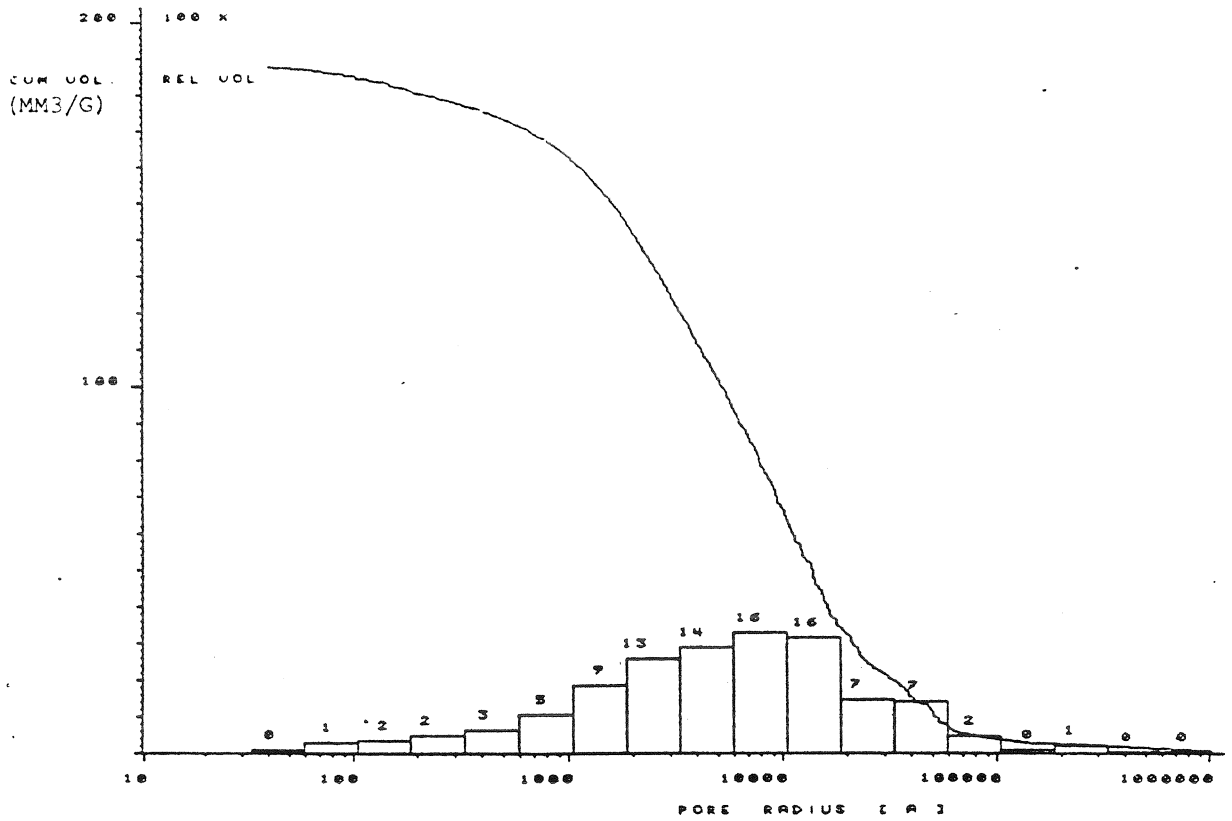


Abb. 45.1 : Porenradienverteilung (rel.) - Hasenstoppel 1. Teilprobe

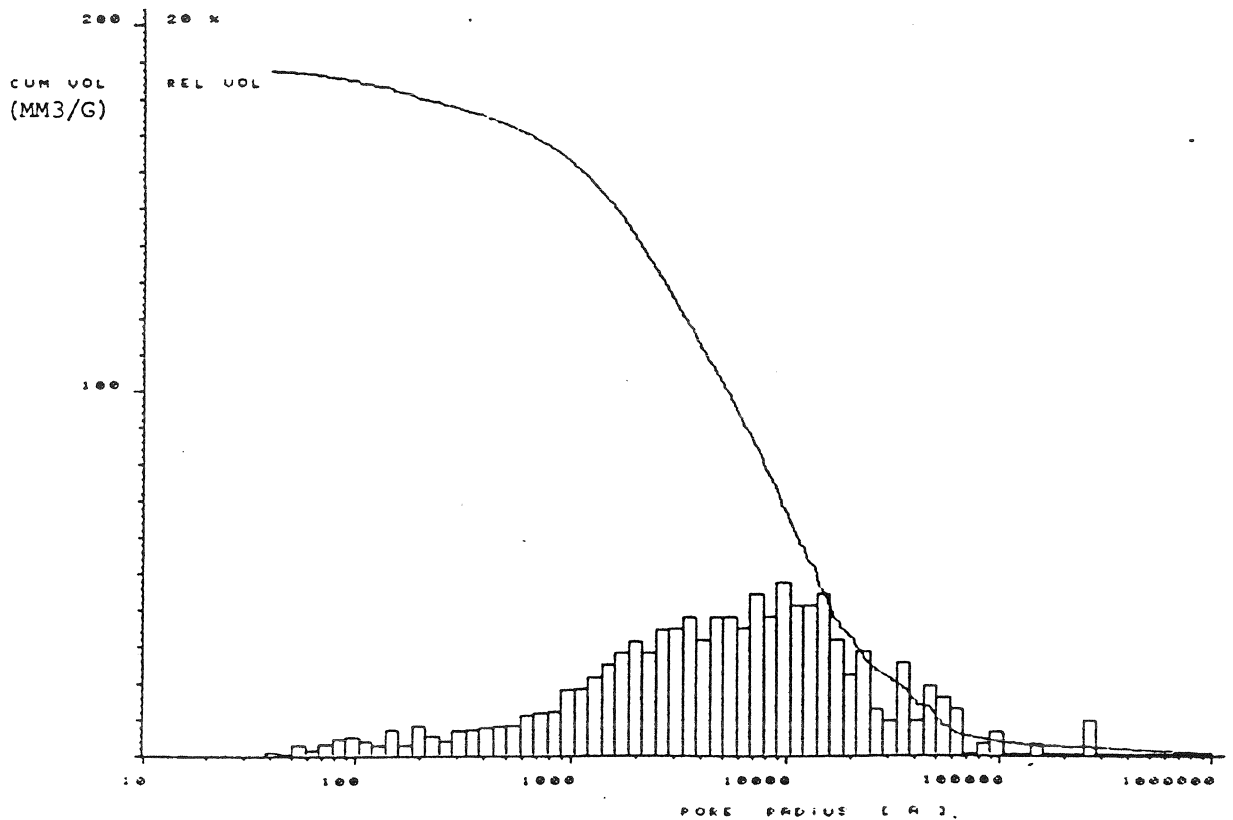


Abb. 45.2 : Porenradienverteilung (rel.) - Hasenstoppel 1. Teilprobe

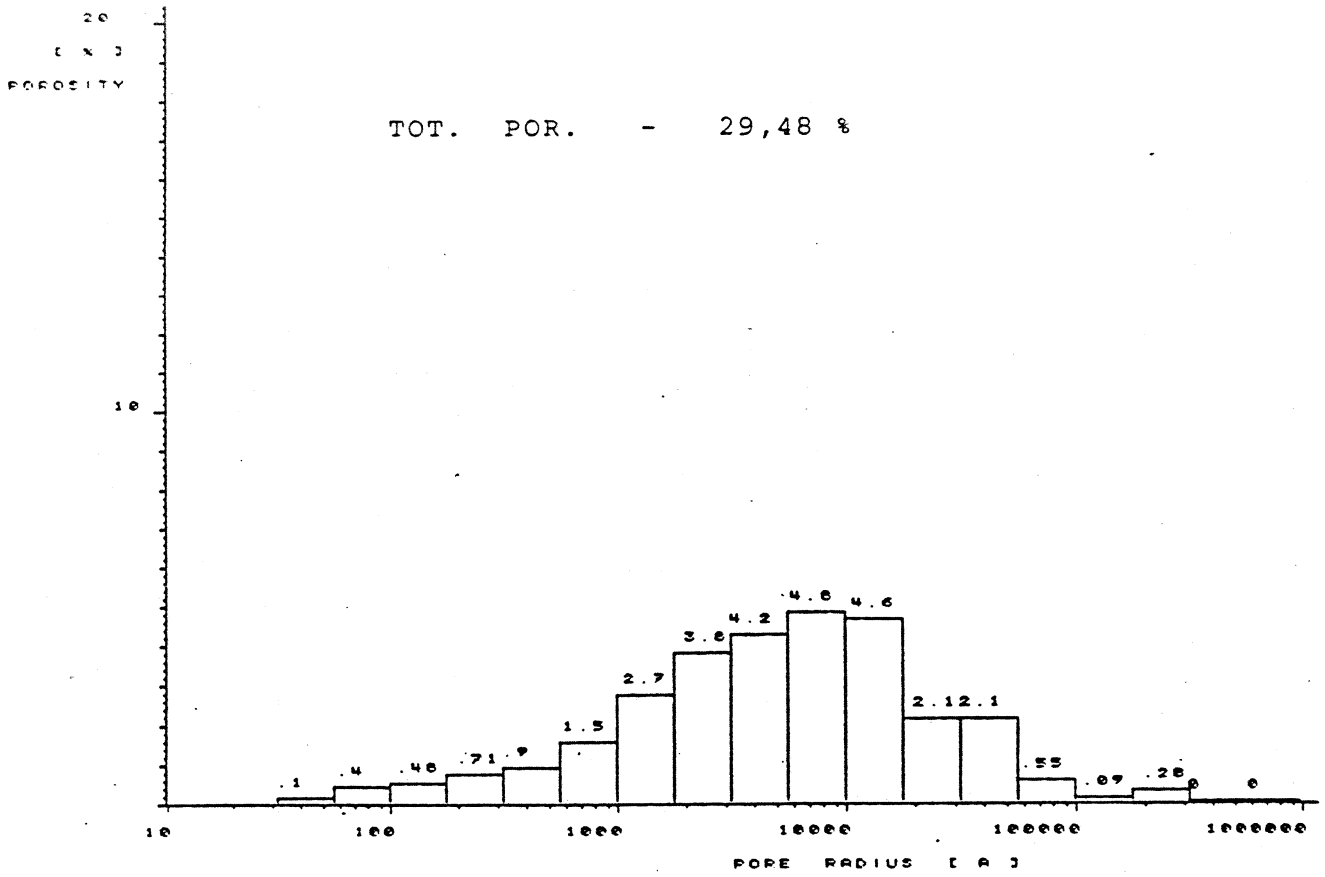


Abb. 45.3 : Porenradienverteilung (abs.) - Hasenstoppel 1. Teilprobe

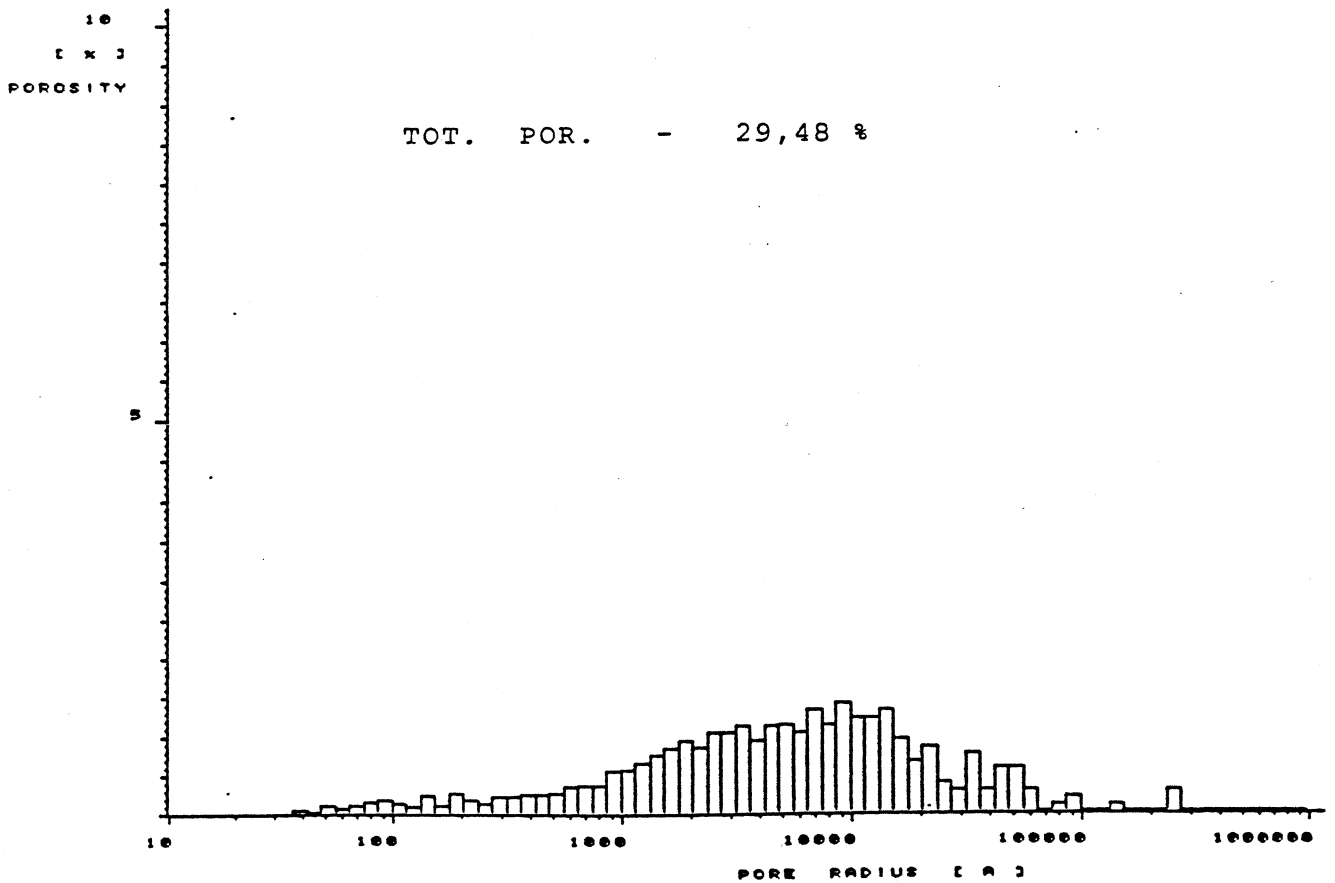


Abb. 45.4 : Porenradienverteilung (abs.) - Hasenstoppel 1. Teilprobe

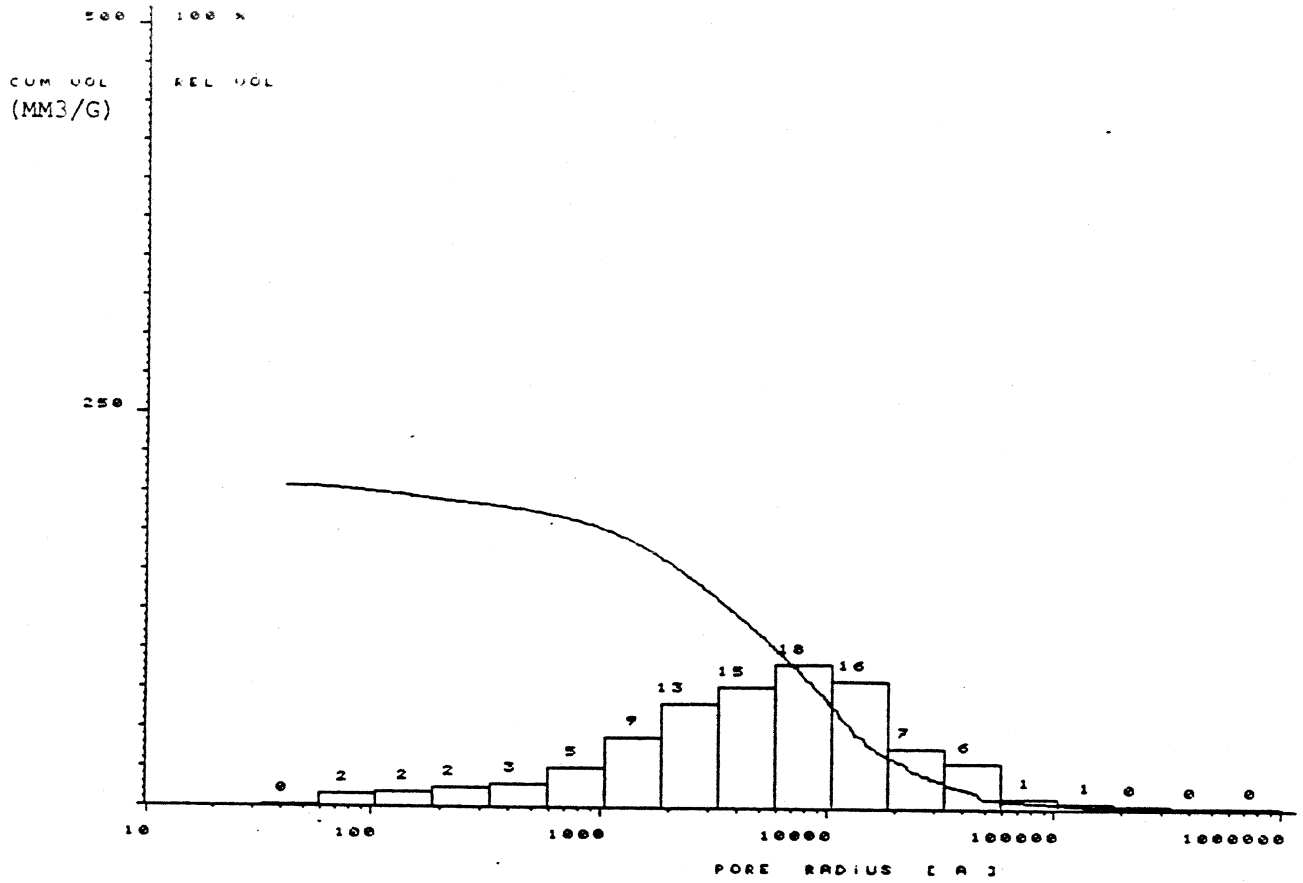


Abb. 46.1 : Porenradienverteilung (rel.) - Hasenstoppel 2. Teilprobe

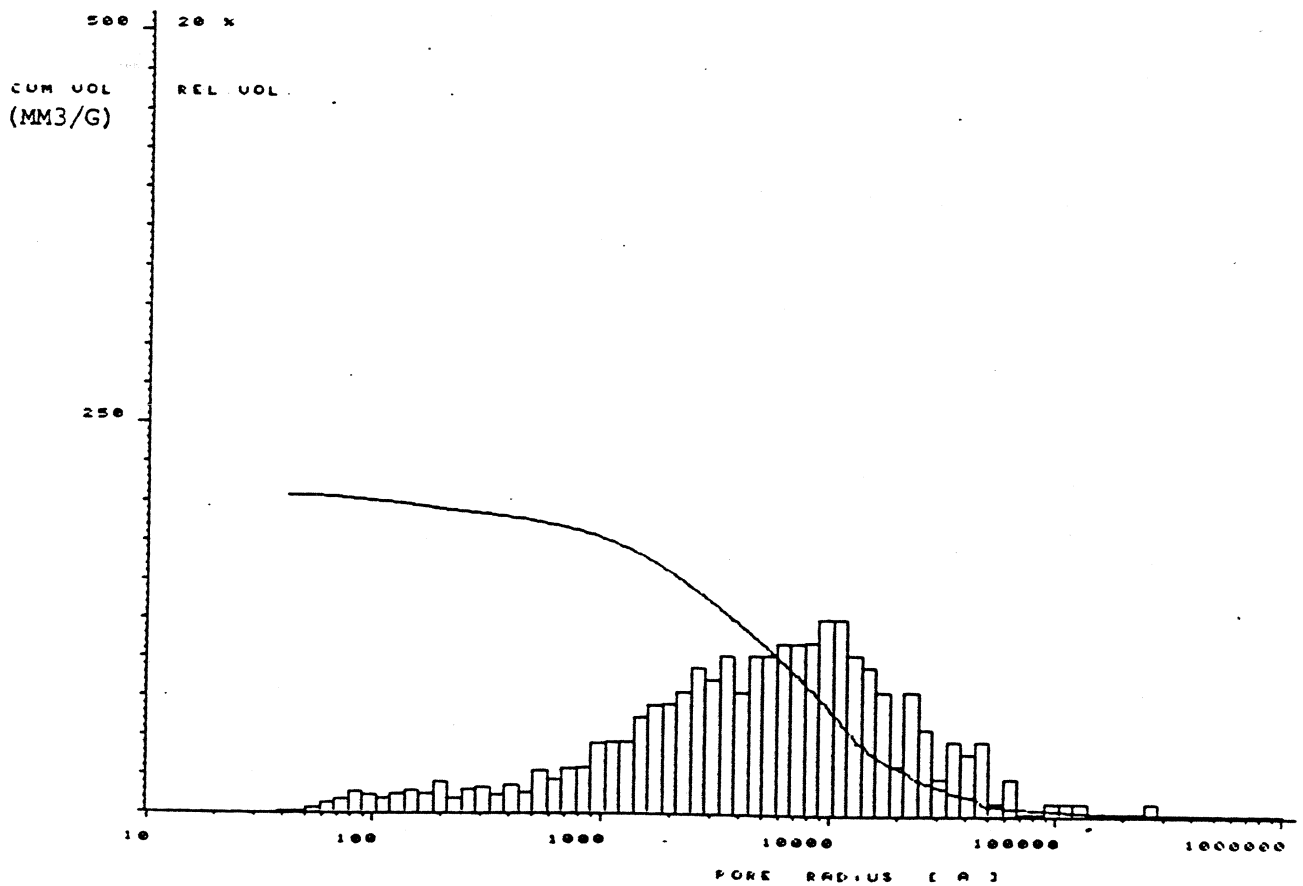


Abb. 46.2 : Porenradienverteilung (rel.) - Hasenstoppel 2. Teilprobe

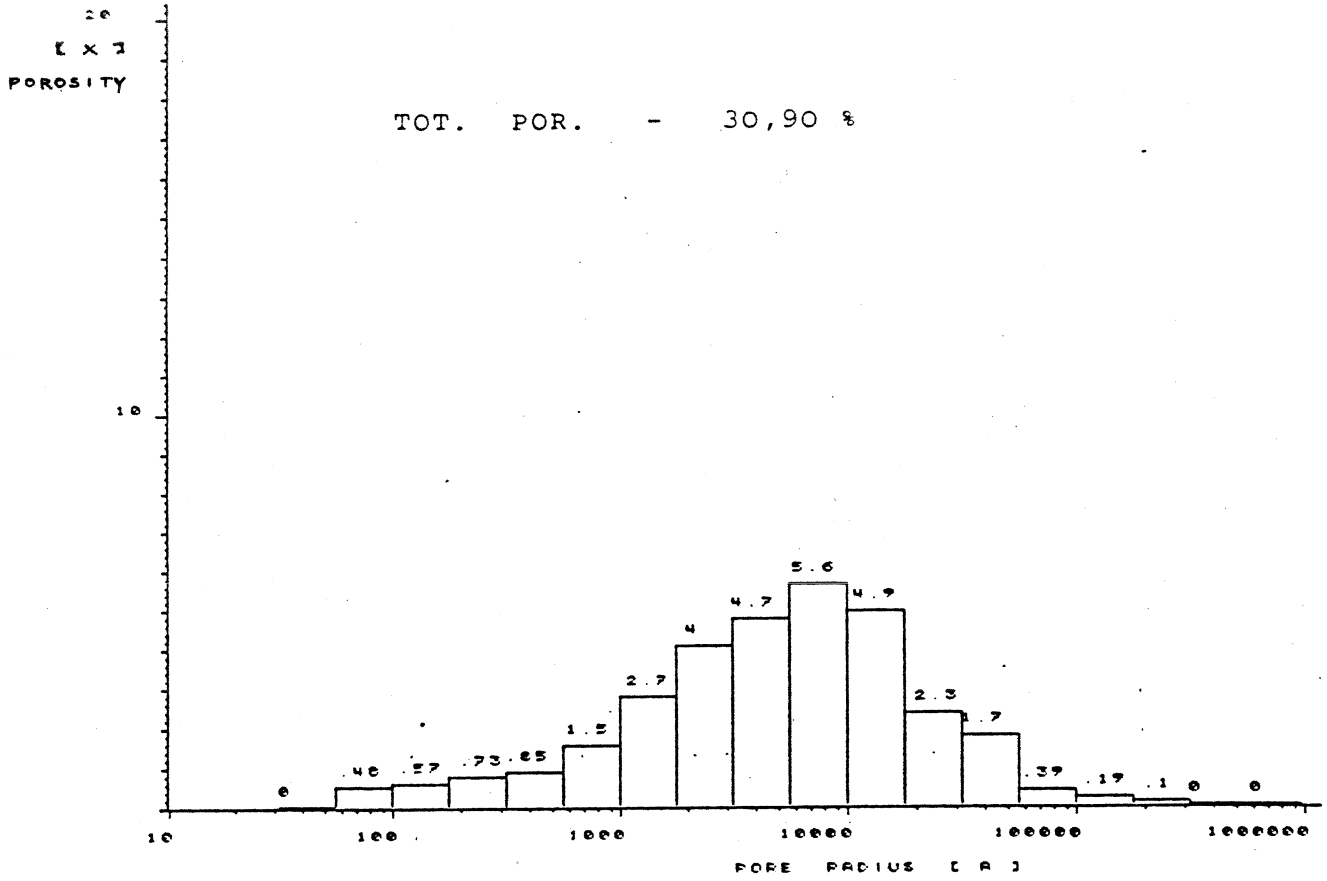


Abb. 46.3 : Porenradienverteilung (abs.) - Hasenstoppel 2. Teilprobe

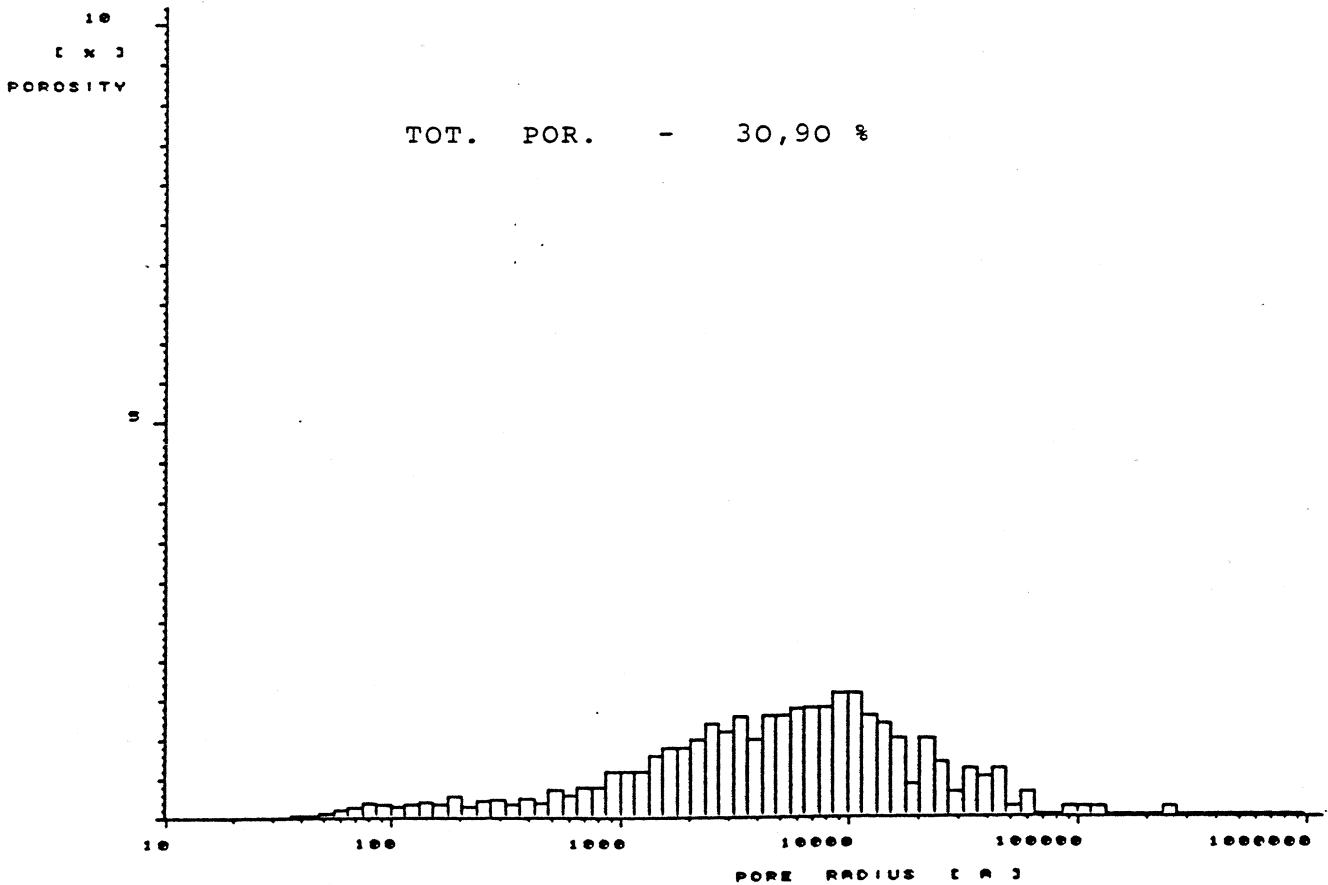


Abb. 46.4 : Porenradienverteilung (abs.) - Hasenstoppel 2. Teilprobe

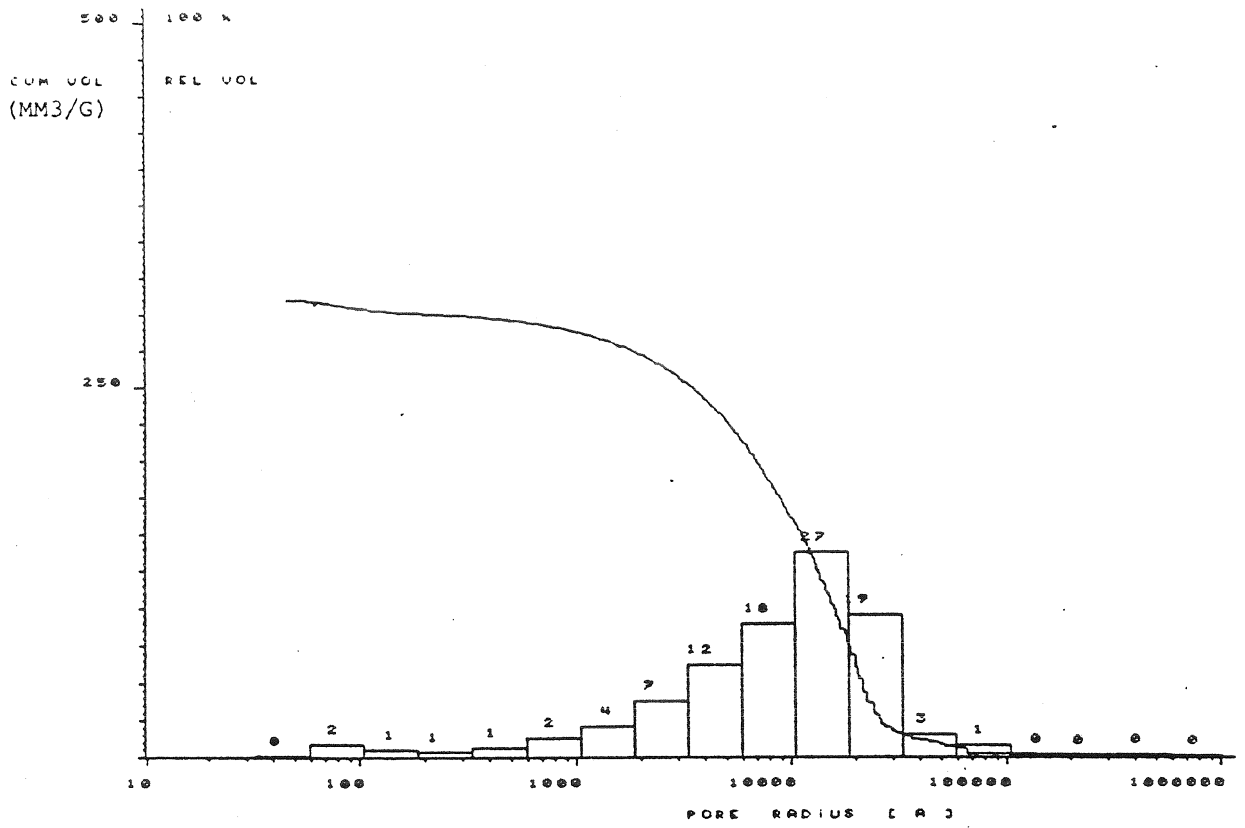


Abb. 47.1 : Porenradienverteilung (rel.) - Weiberner I 1. Teilprobe

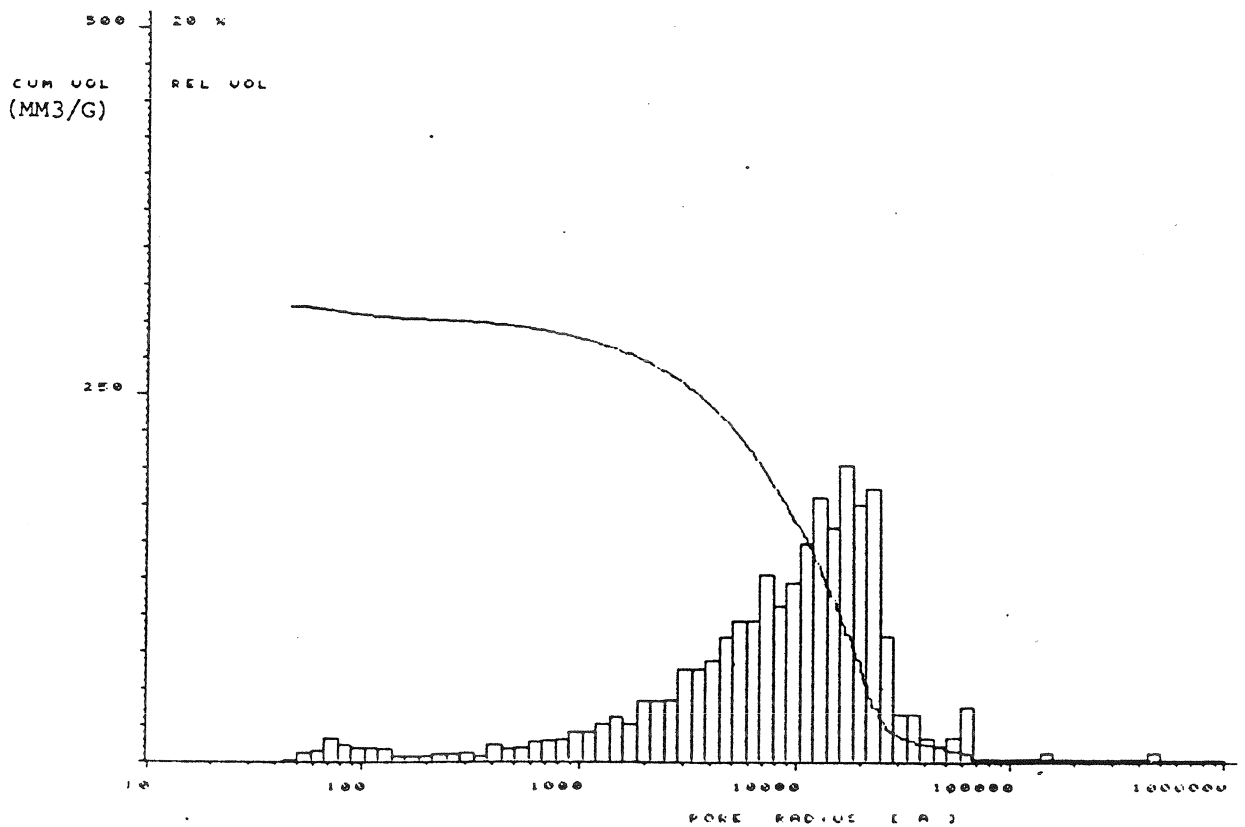


Abb. 47.2 : Porenradienverteilung (rel.) - Weiberner I 1. Teilprobe

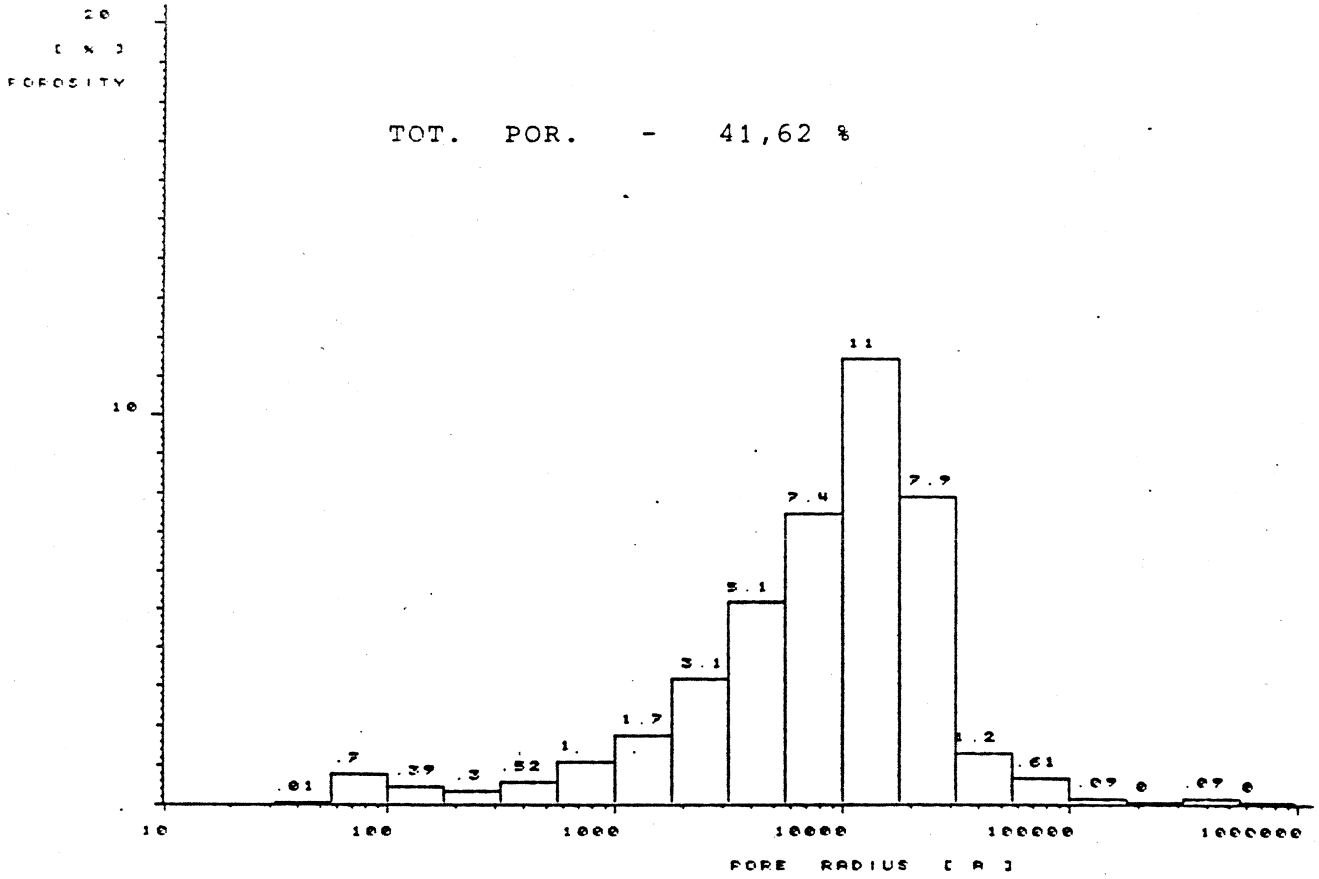


Abb. 47.3 : Porenradienverteilung (abs.) - Weiberner I 1. Teilprobe

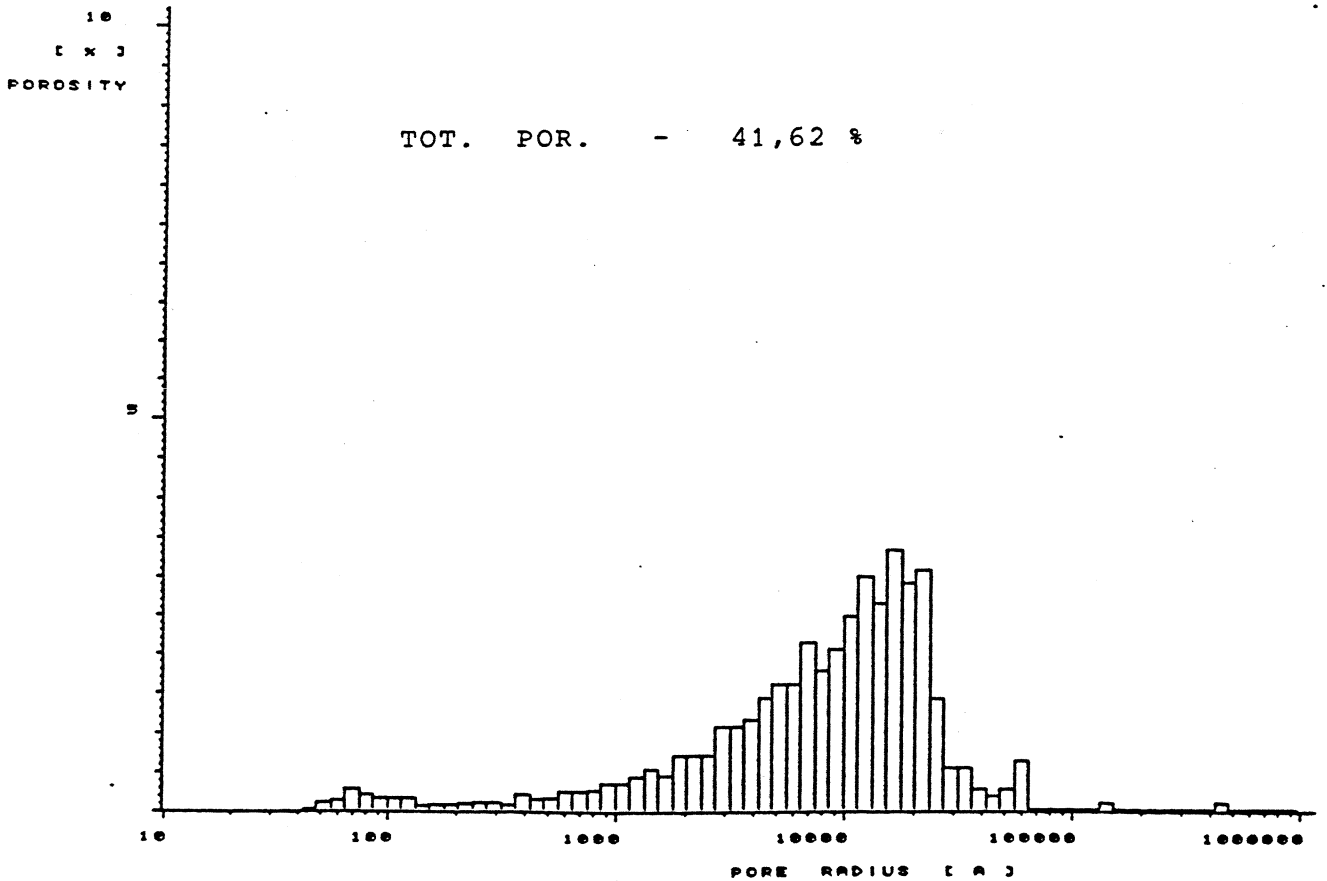


Abb. 47.4 : Porenradienverteilung (abs.) - Weiberner I 1. Teilprobe

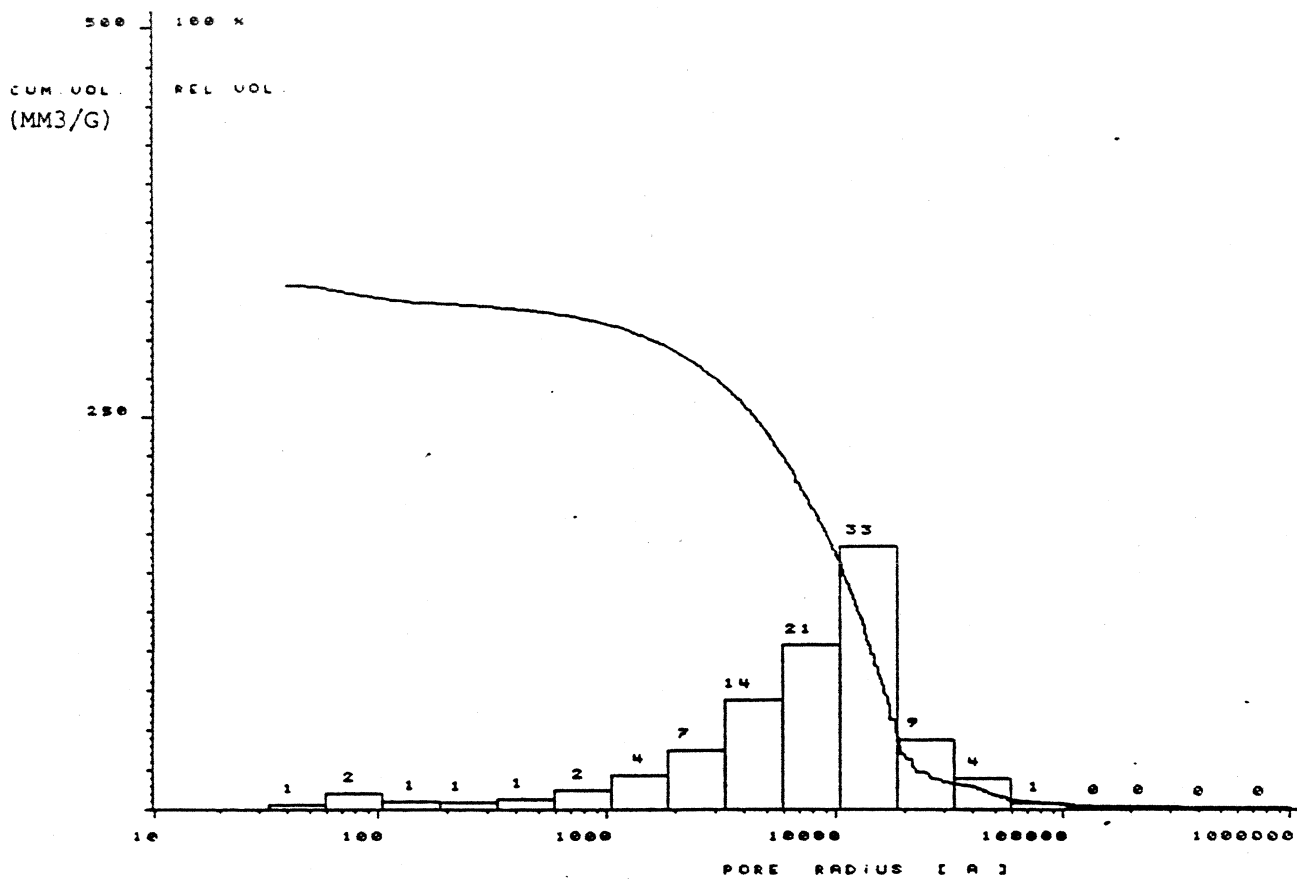


Abb. 48.1 : Porenradienverteilung (rel.) - Weiberner I 2. Teilprobe

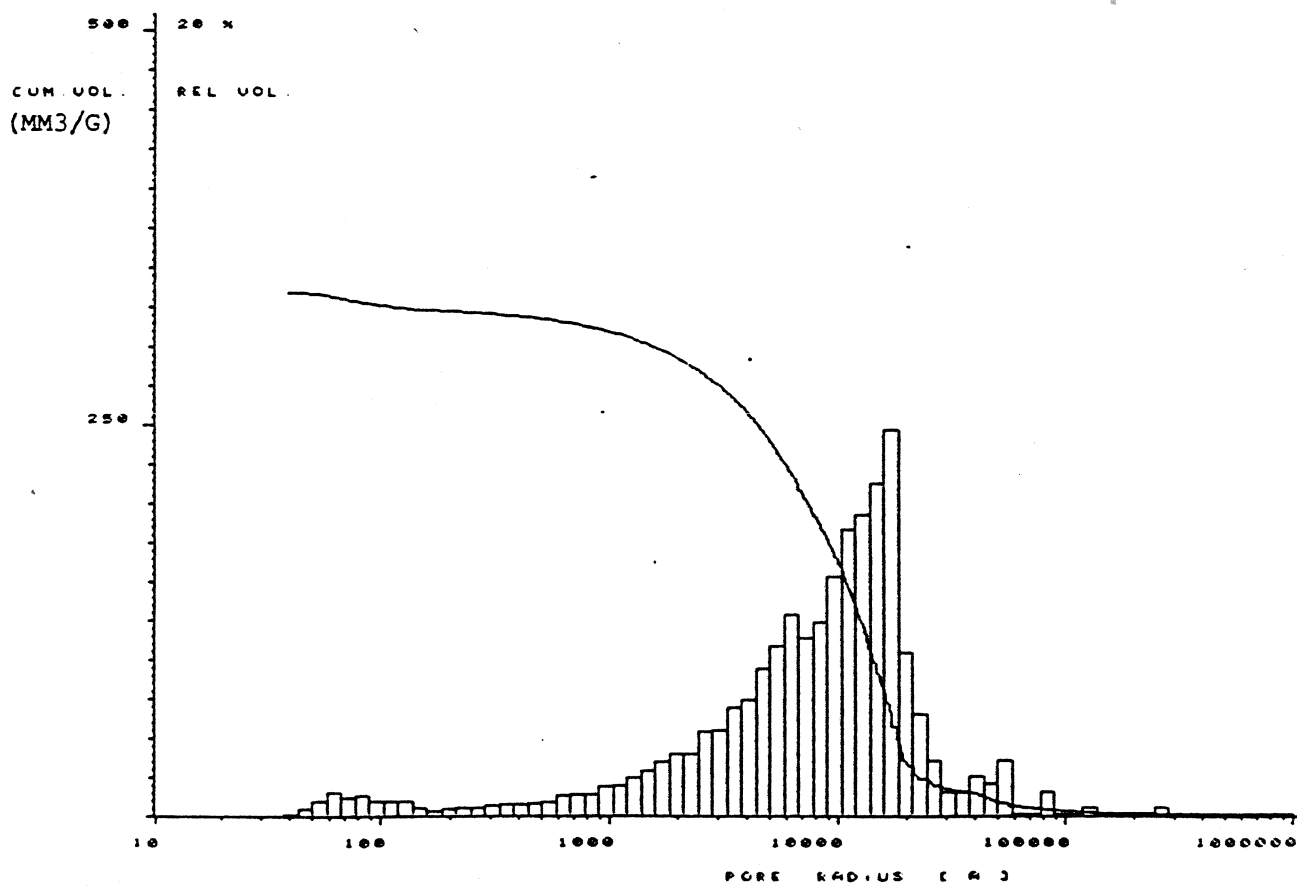


Abb. 48.2 : Porenradienverteilung (rel.) - Weiberner I 2. Teilprobe

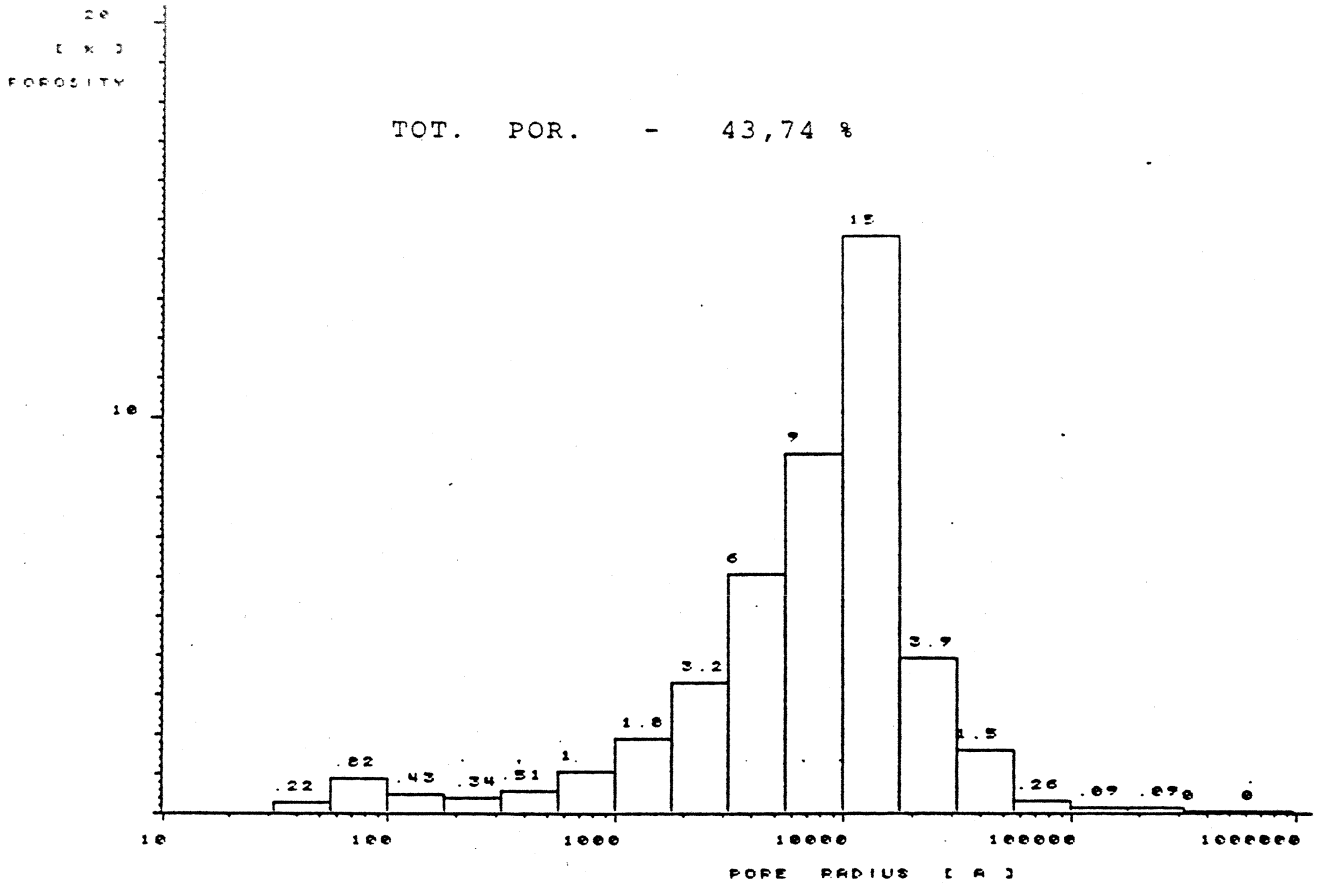


Abb. 48.3 : Porenradienverteilung (abs.) - Weiberner I 2. Teilprobe

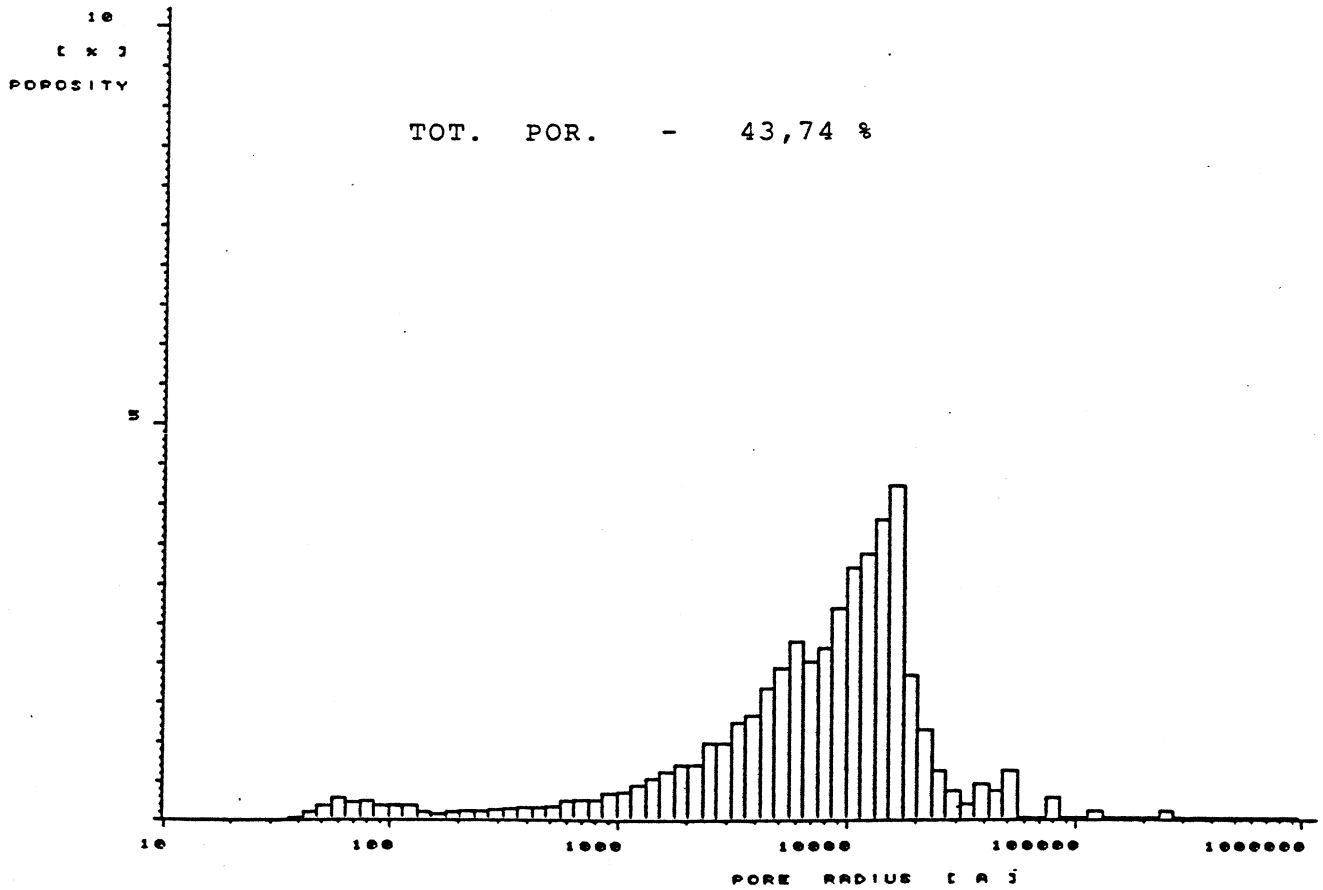


Abb. 48.4 : Porenradienverteilung (abs.) - Weiberner I 2. Teilprobe

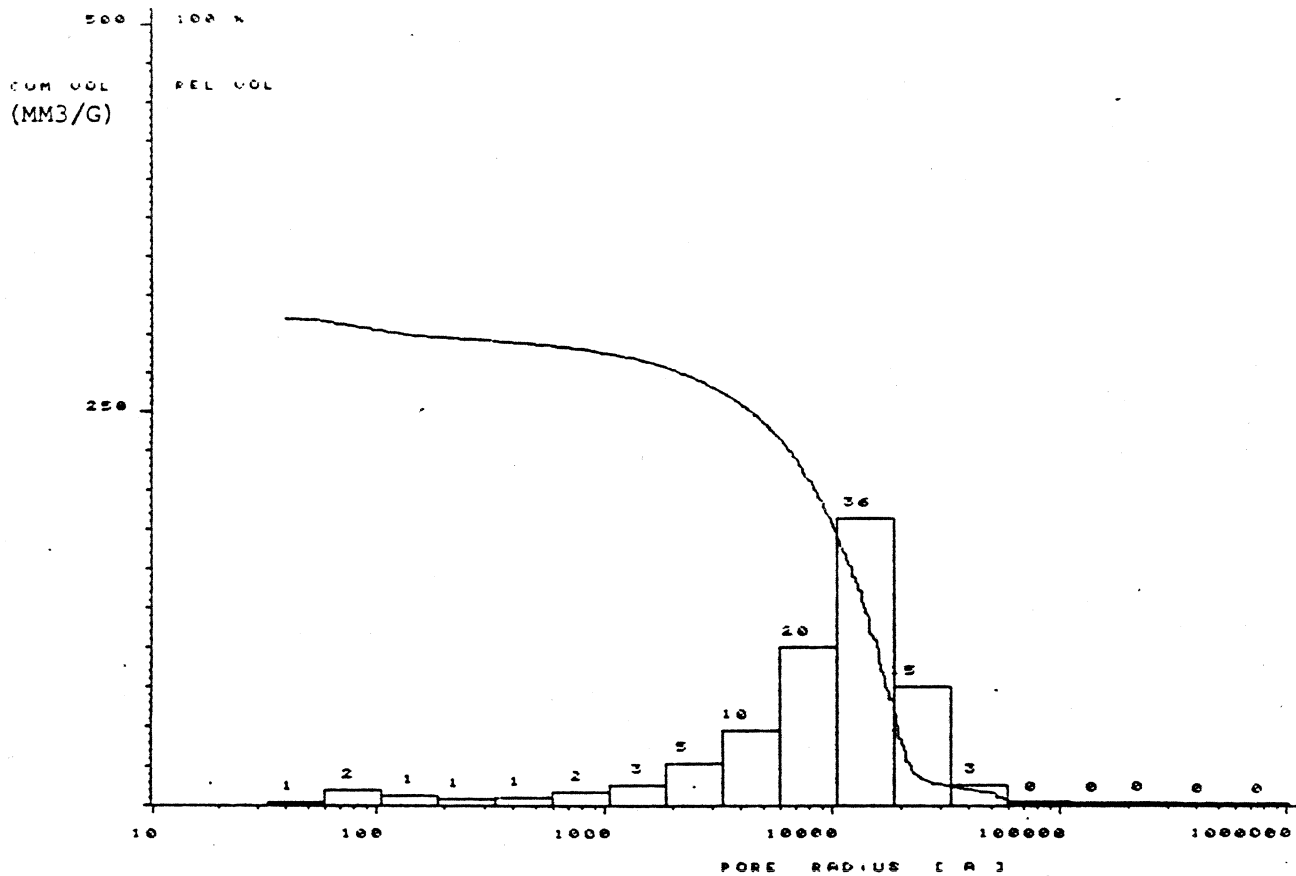


Abb. 49.1 : Porenradienverteilung (rel.) - Weiberner II 1. Teilprobe

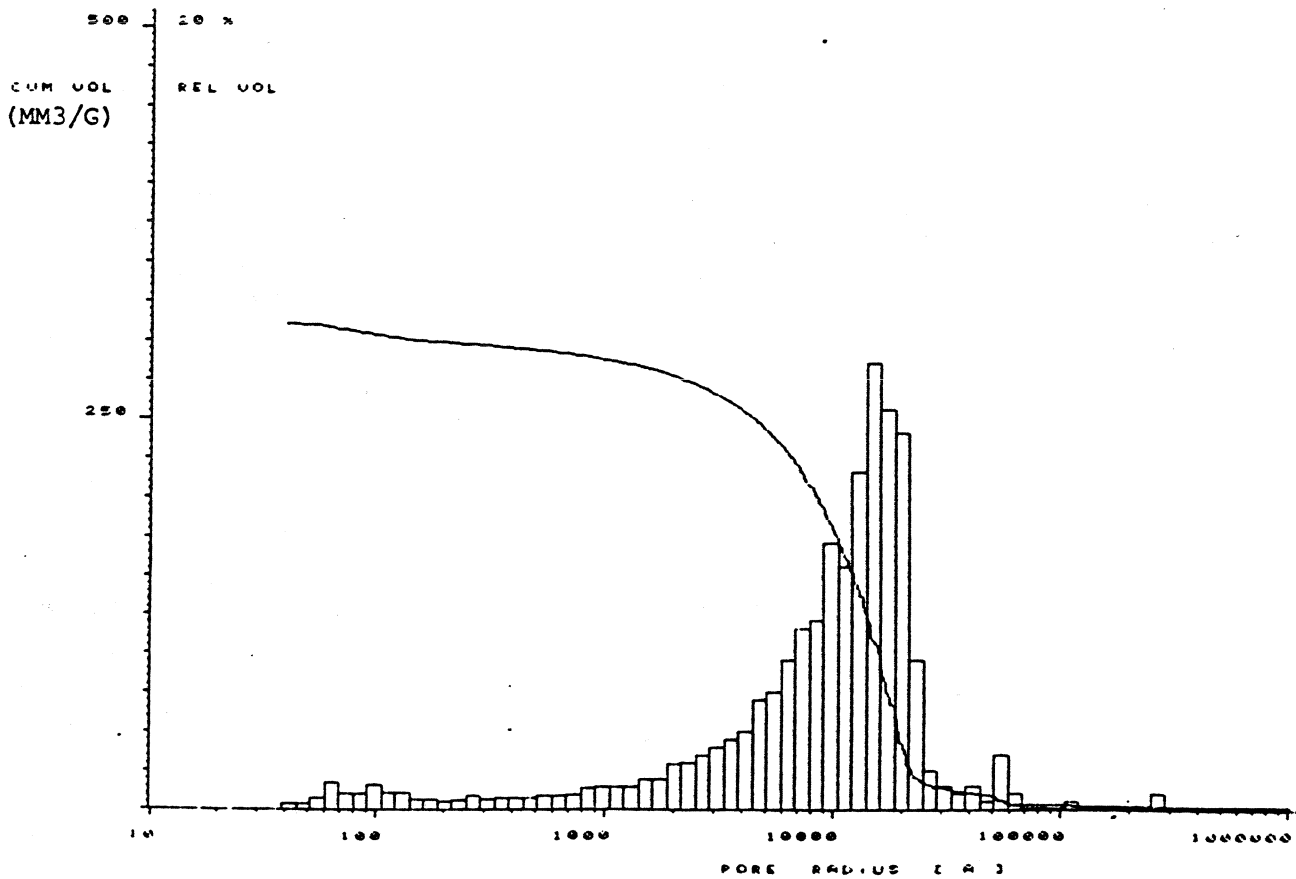


Abb. 49.2 : Porenradienverteilung (rel.) - Weiberner II 1. Teilprobe

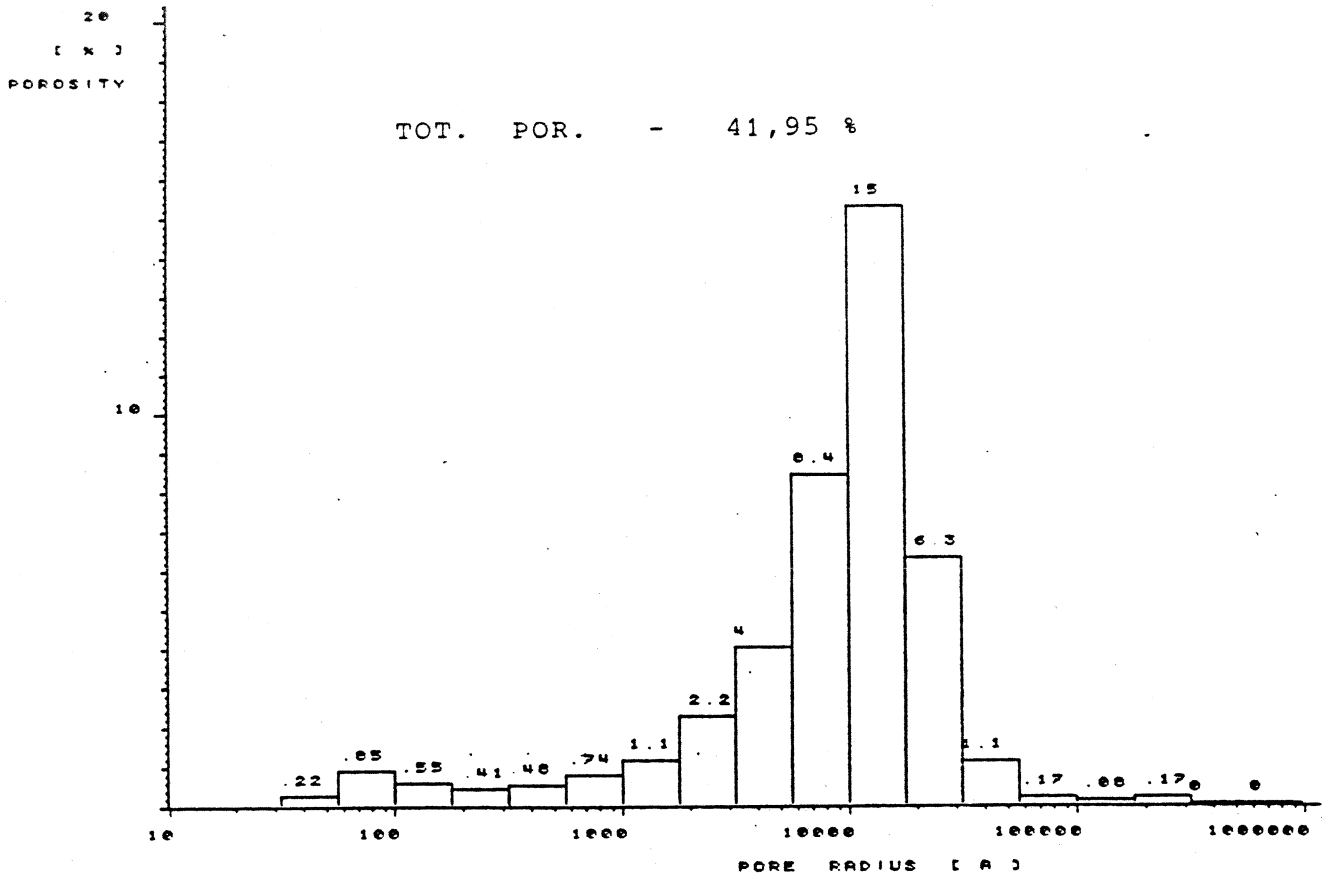


Abb. 49.3 : Porenradienverteilung (abs.) - Weiberner II 1. Teilprobe

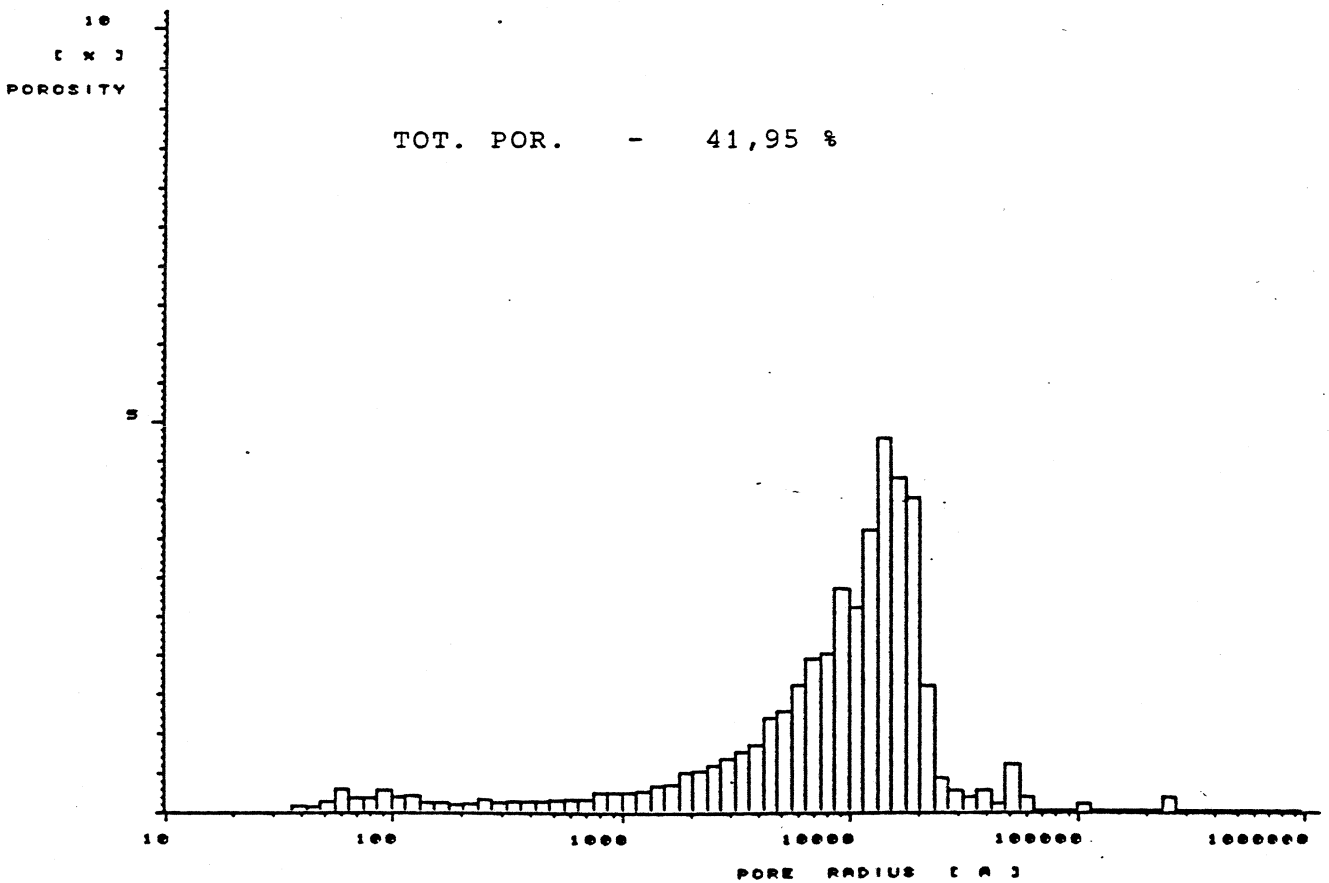


Abb. 49.4 : Porenradienverteilung (abs.) - Weiberner II 1. Teilprobe

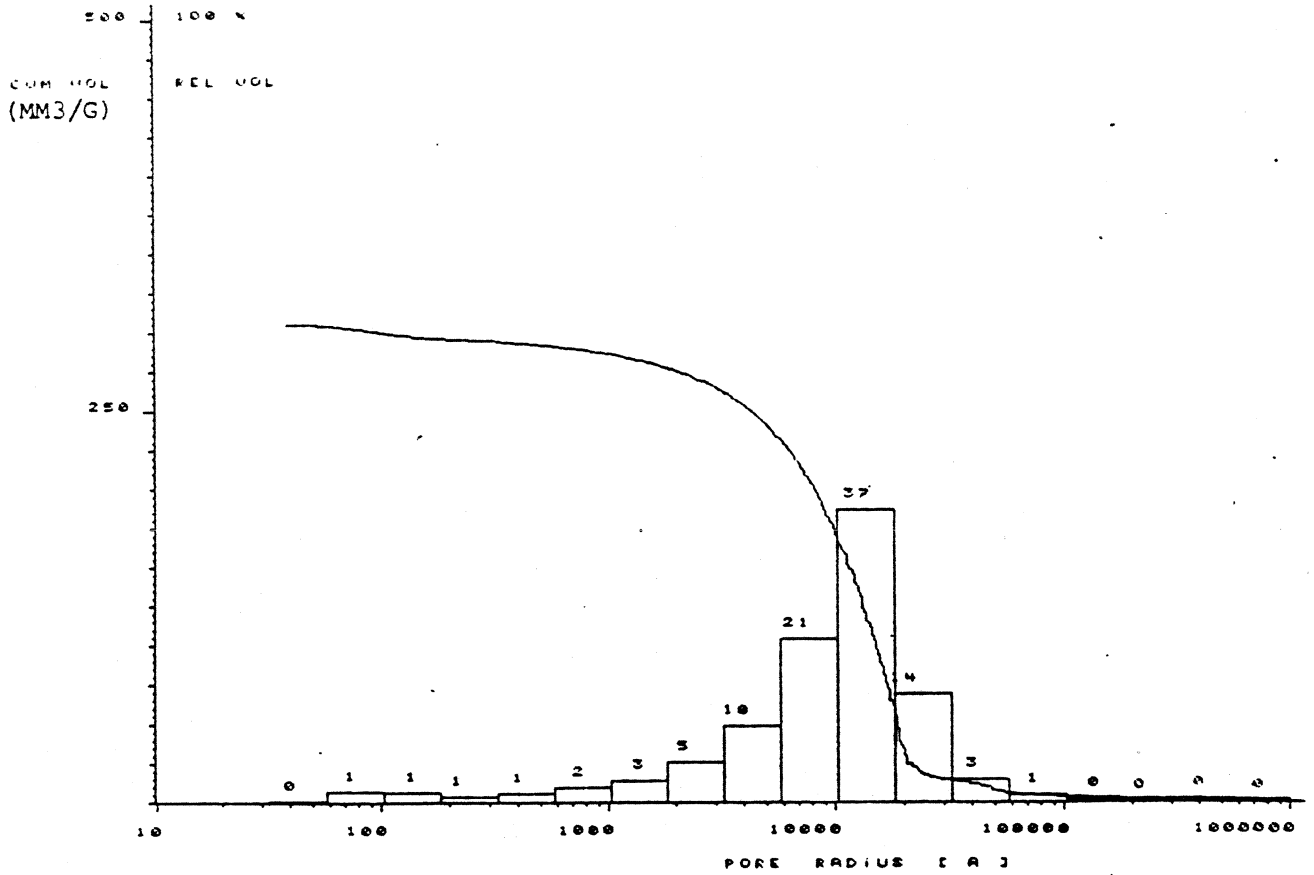


Abb. 50.1 : Porenradienverteilung (rel.) - Weiberner II 2. Teilprobe

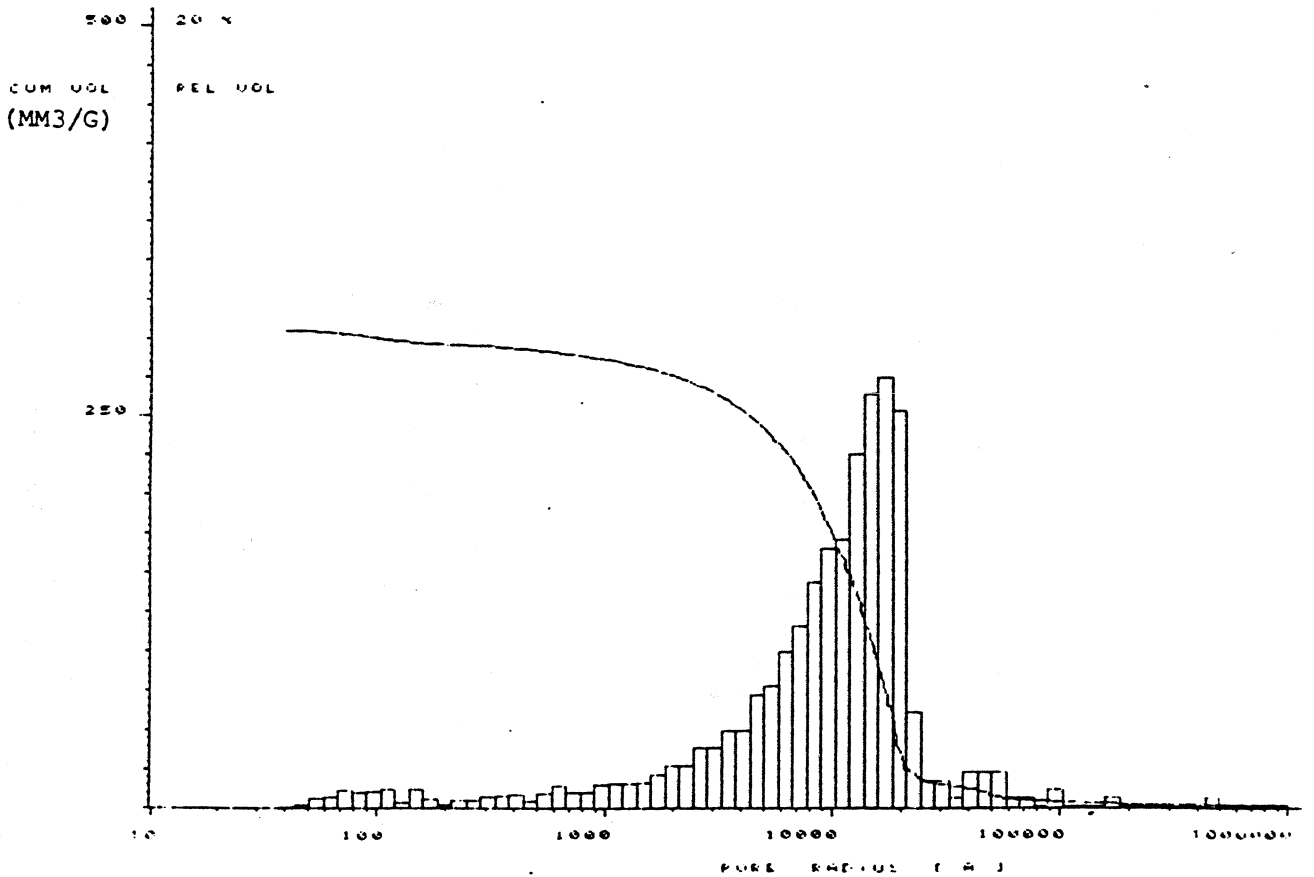


Abb. 50.2 : Porenradienverteilung (rel.) - Weiberner II 2. Teilprobe

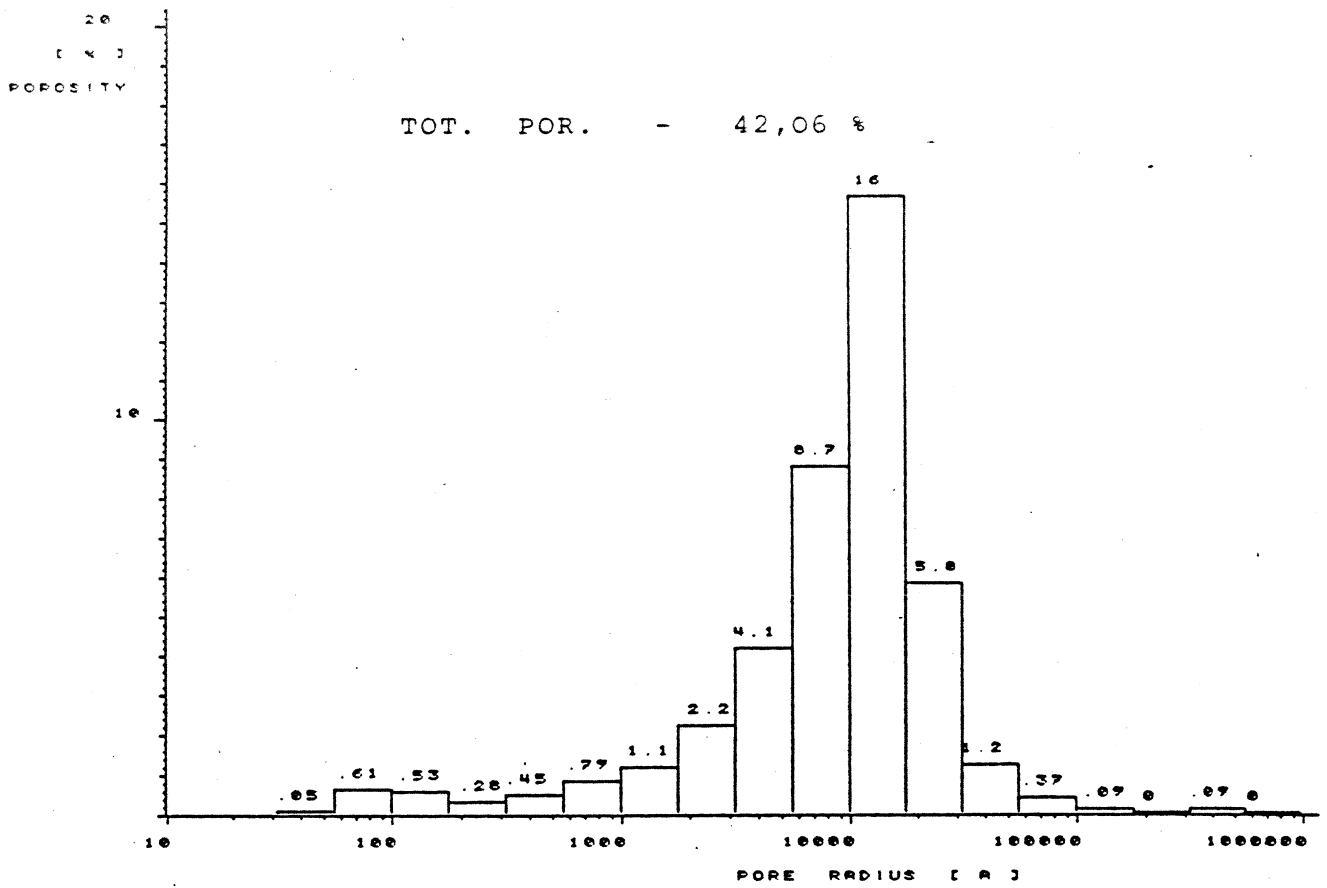


Abb. 50.3 : Porenradienverteilung (abs.) - Weiberner II 2. Teilprobe

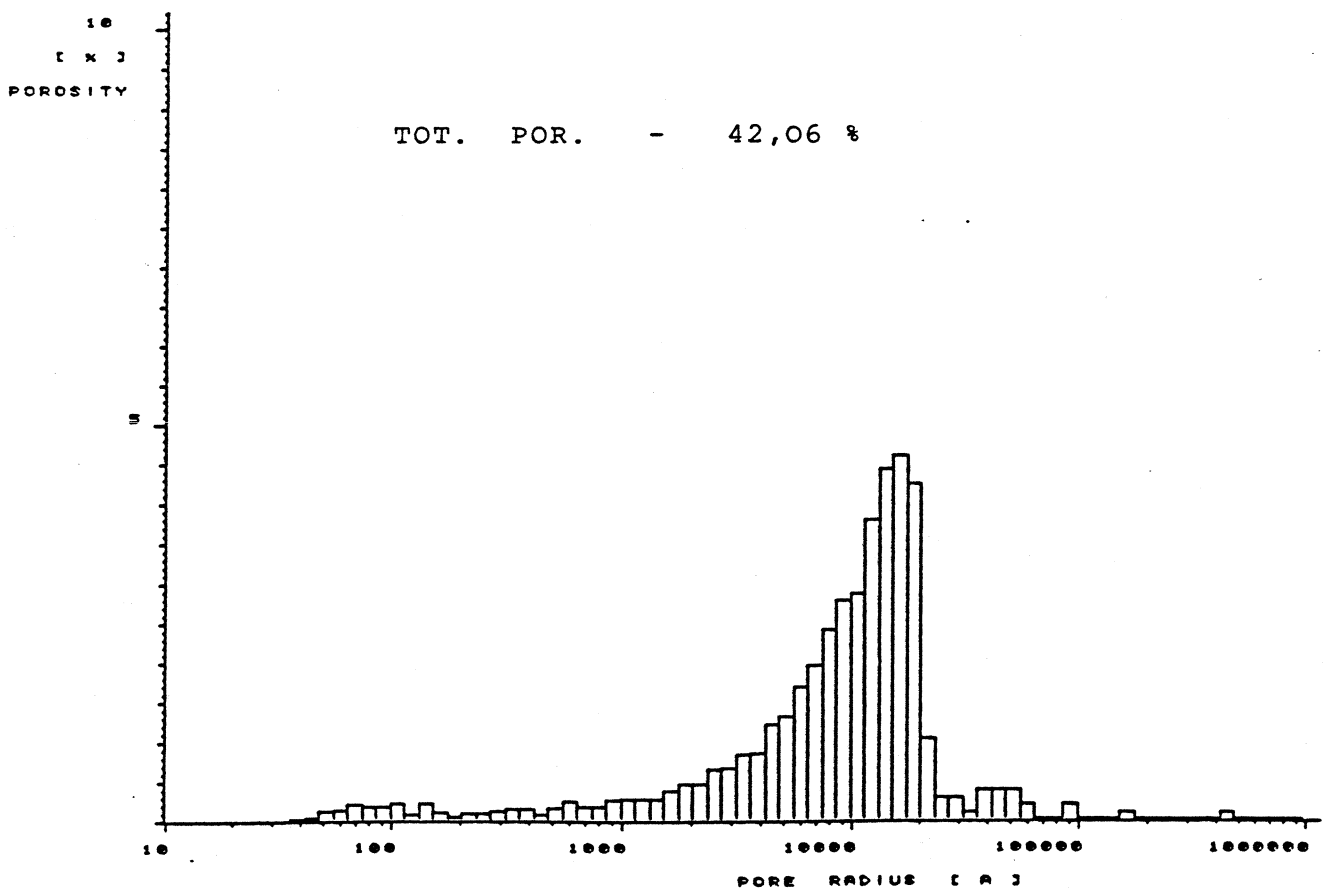


Abb. 50.4 : Porenradienverteilung (abs.) - Weiberner II 2. Teilprobe

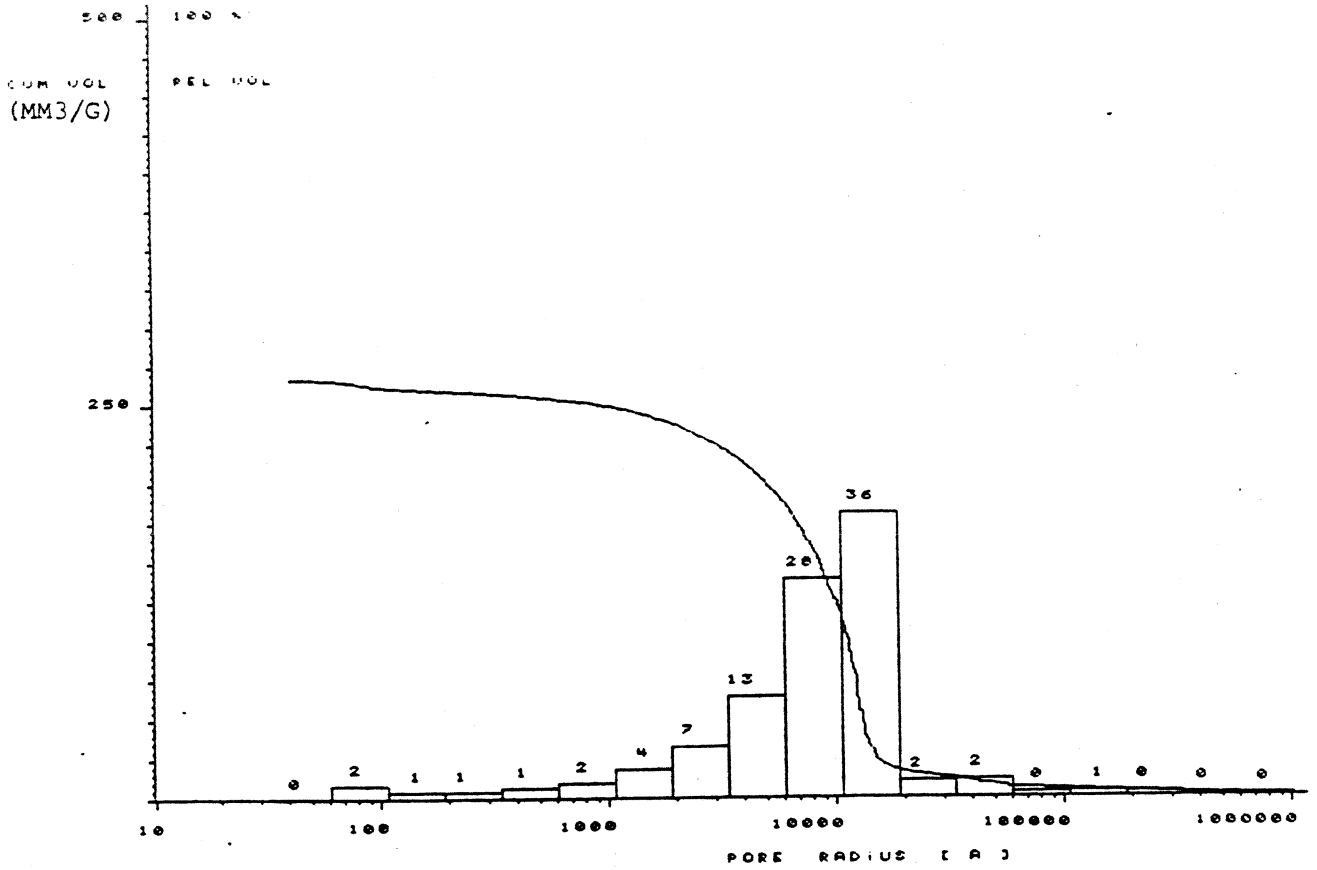


Abb. 51.1 : Porenradienverteilung (rel.) - Riedener I 1. Teilprobe

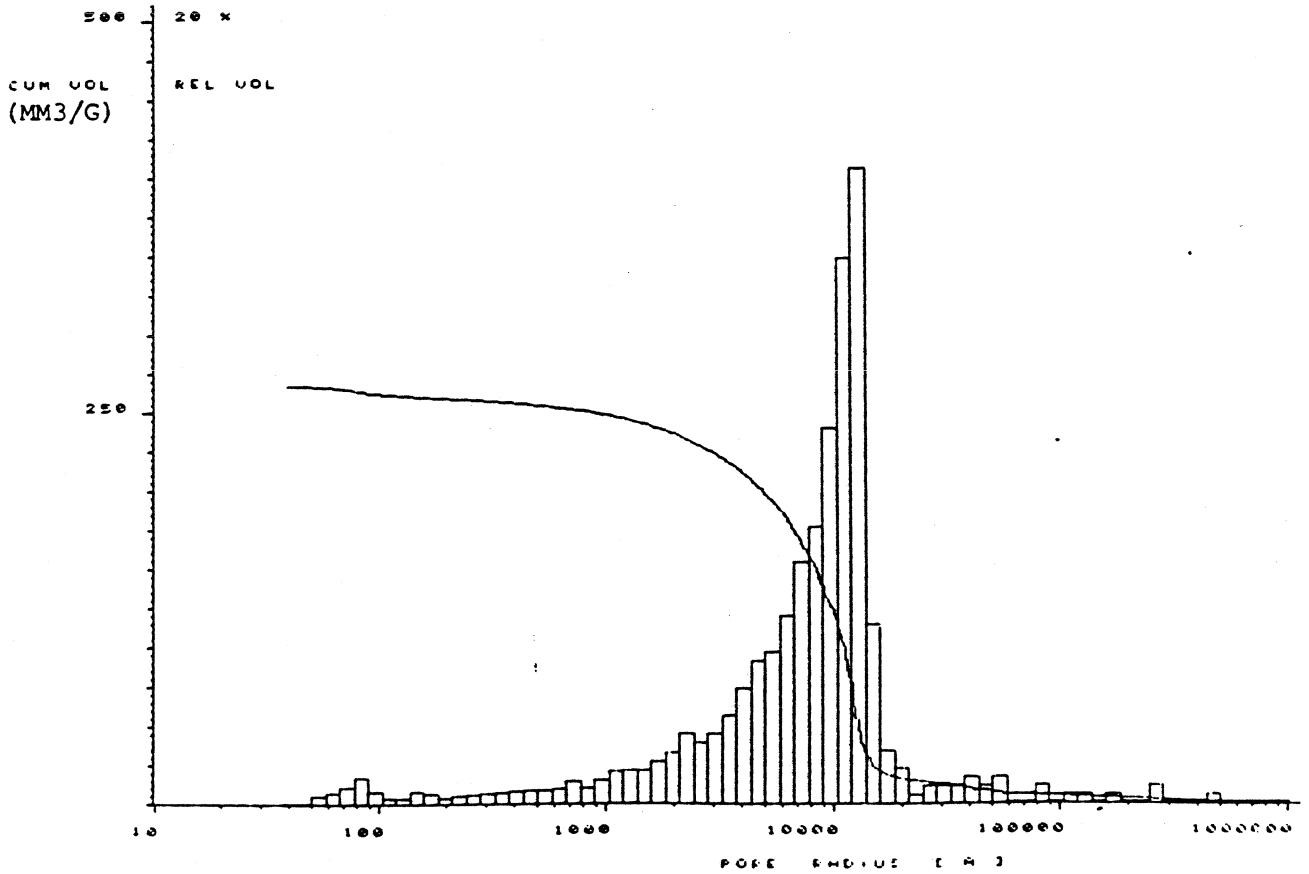


Abb. 51.2 : Porenradienverteilung (rel.) - Riedener I 1. Teilprobe

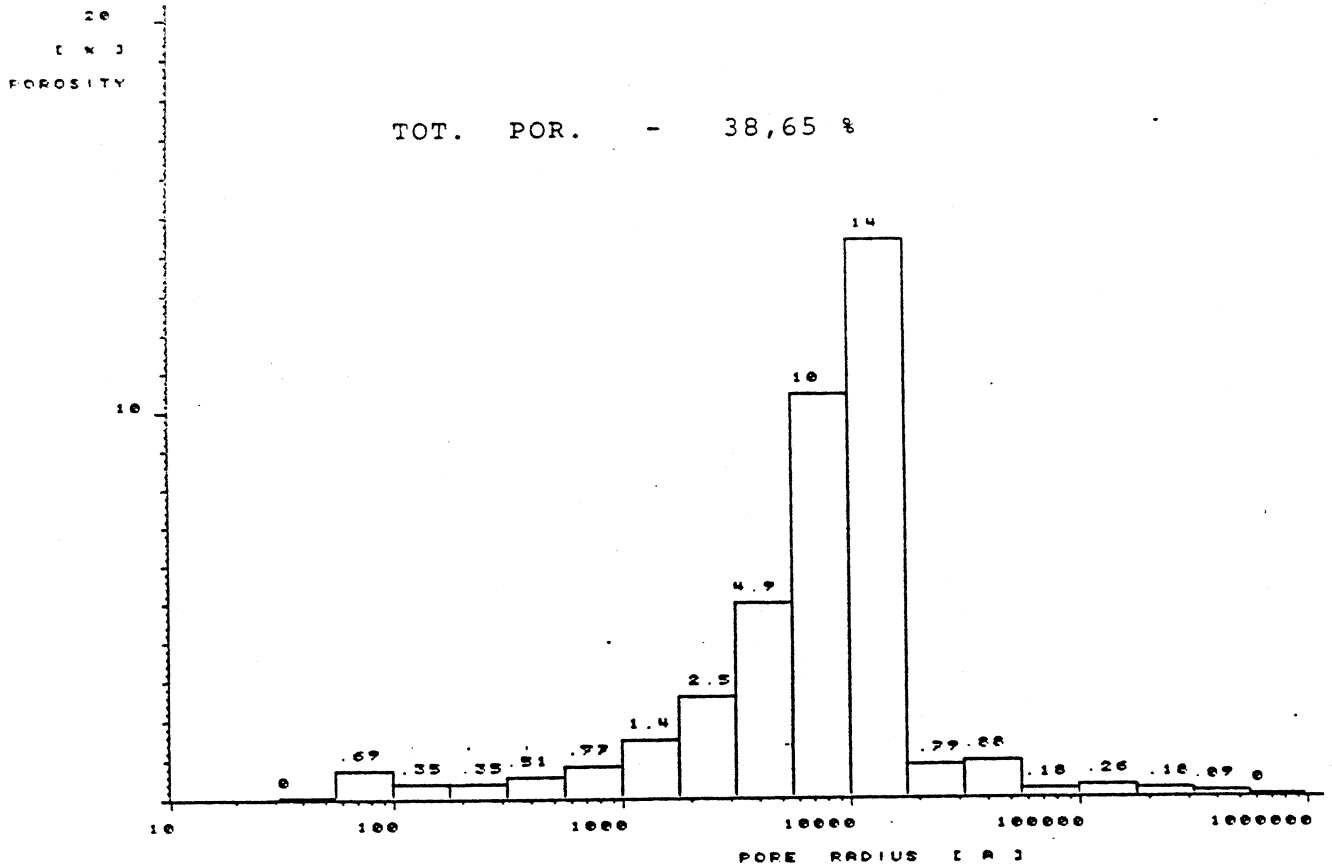


Abb. 51.3 : Porenradienverteilung (abs.) - Riedener I 1. Teilprobe

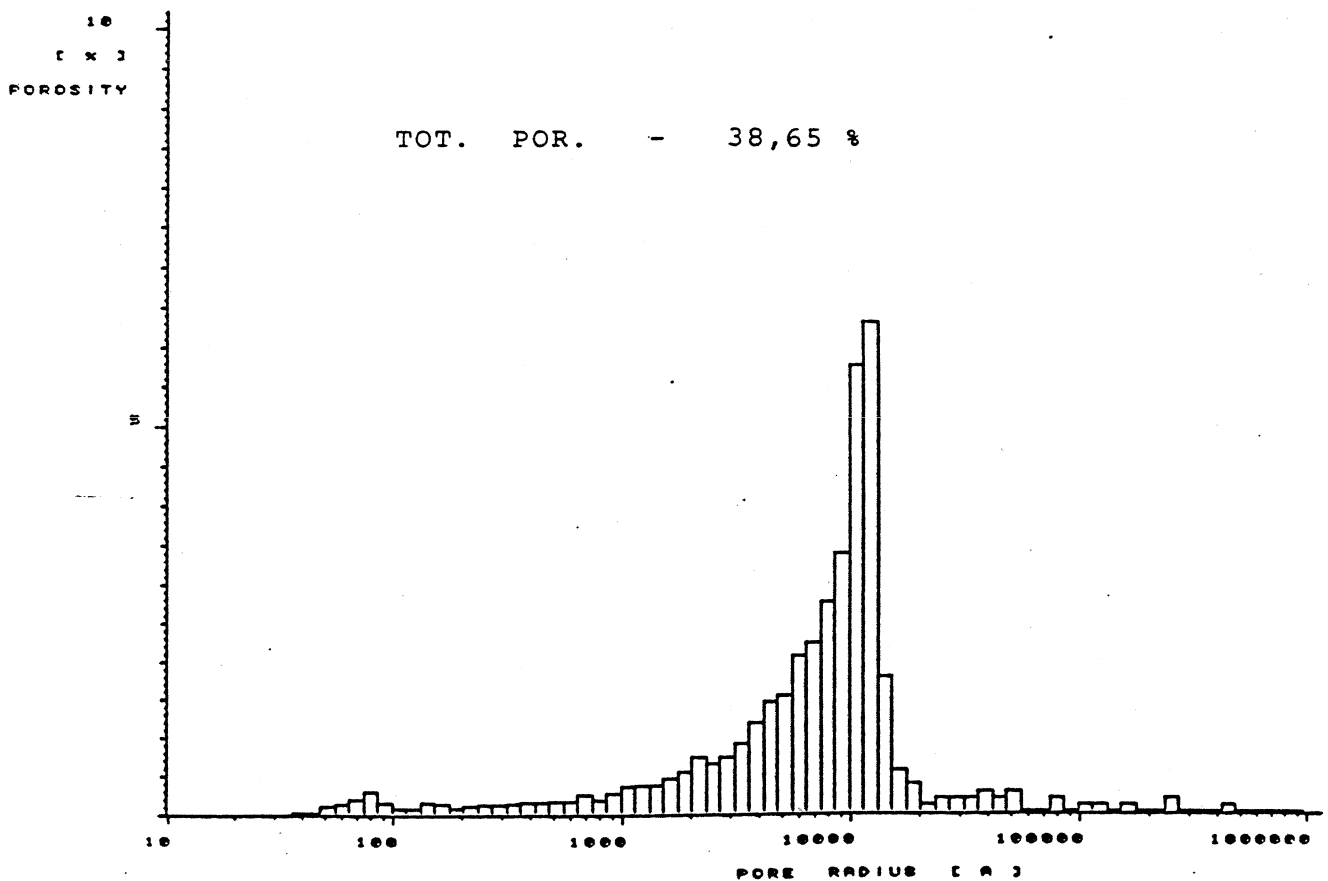


Abb. 51.4 : Porenradienverteilung (abs.) - Riedener I 1. Teilprobe

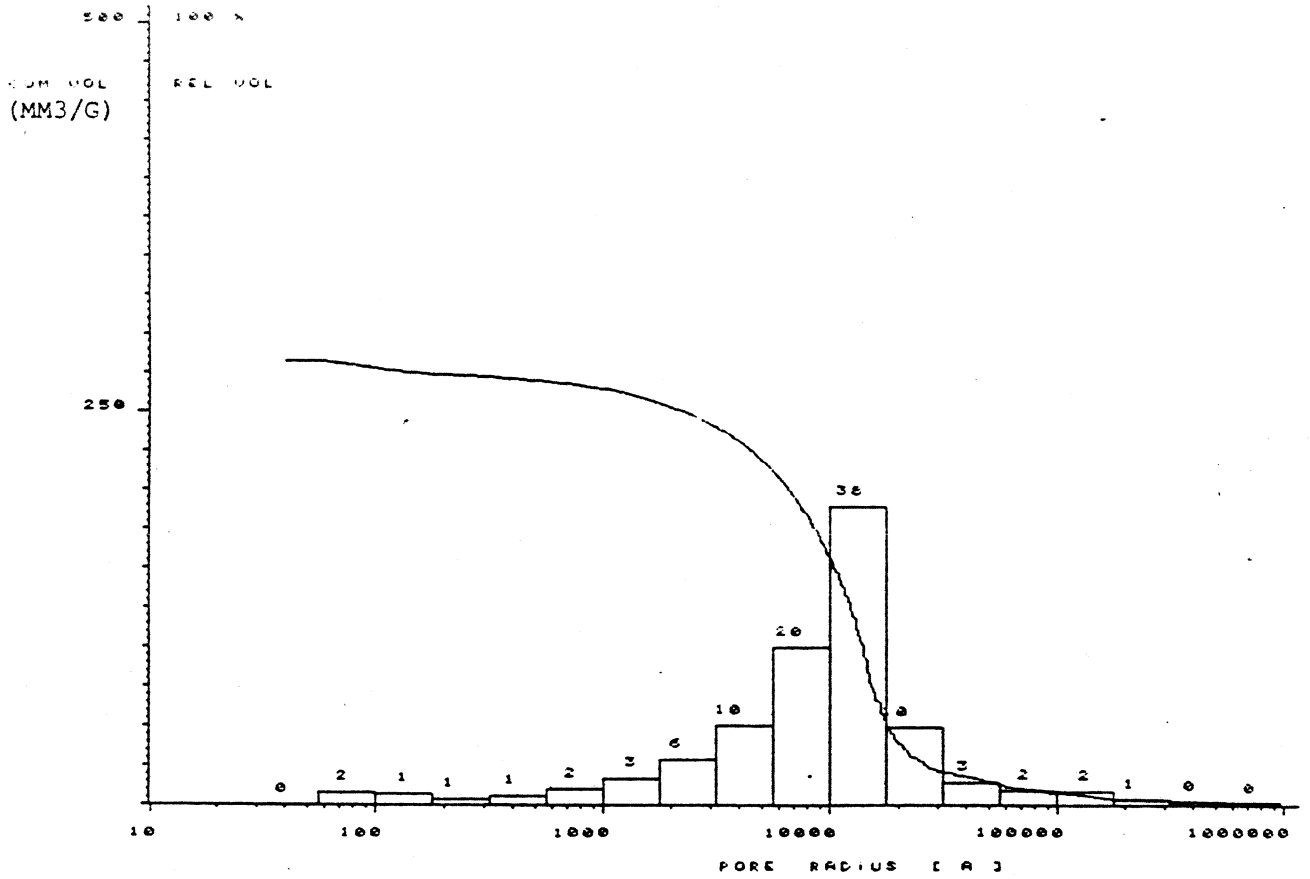


Abb. 52.1 : Porenradienverteilung (rel.) - Riedener I 2. Teilprobe

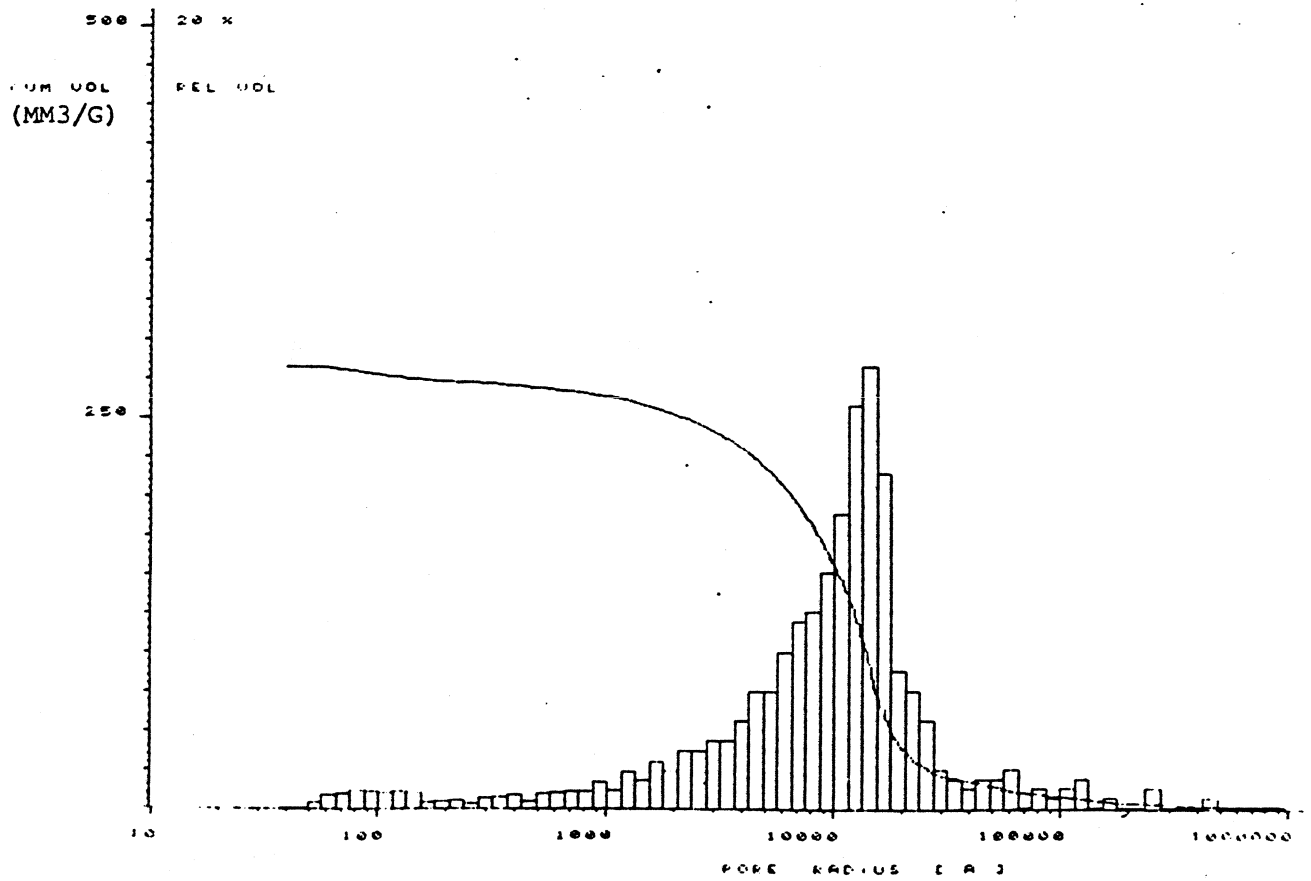


Abb. 52.2 : Porenradienverteilung (rel.) - Riedener I 2. Teilprobe

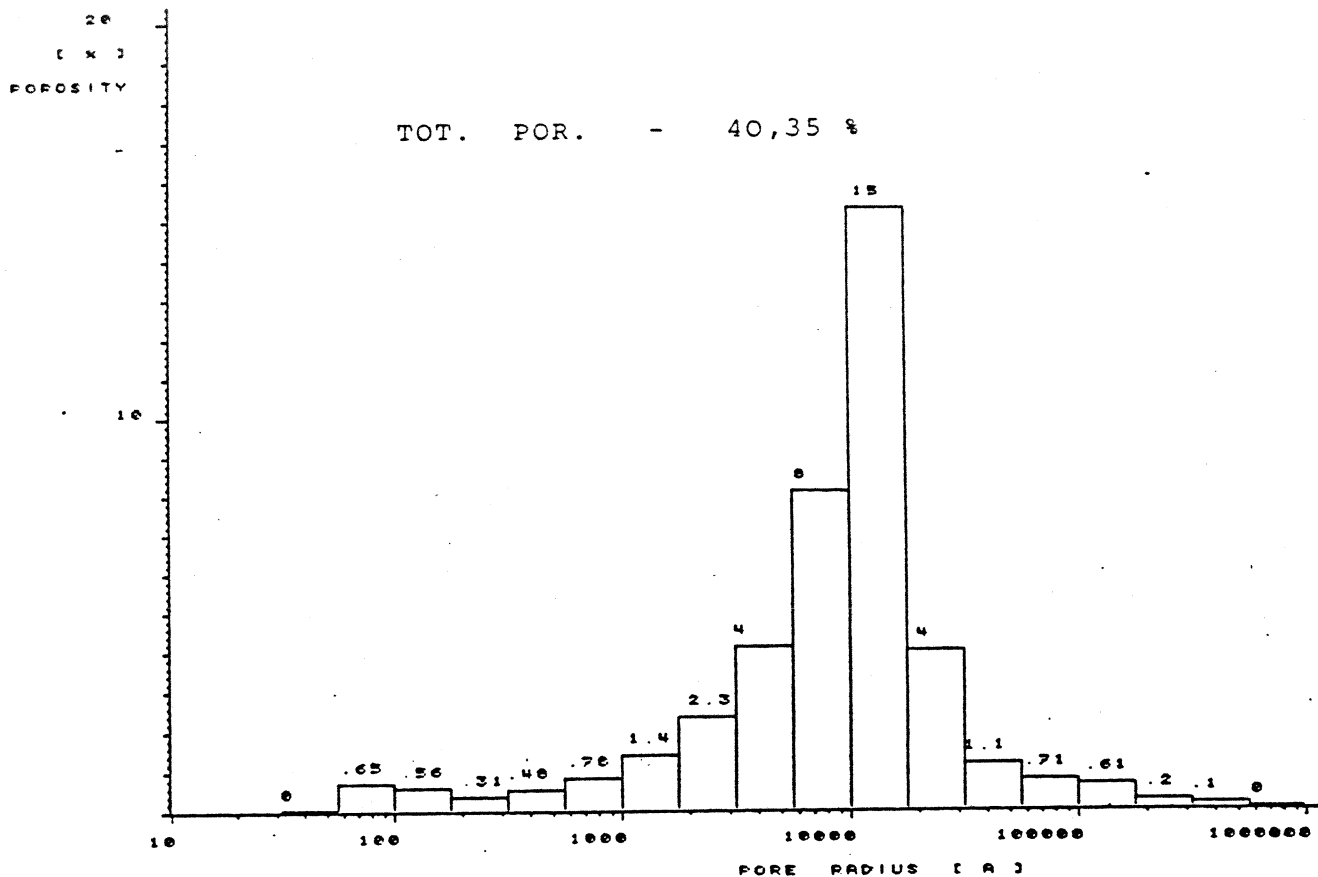
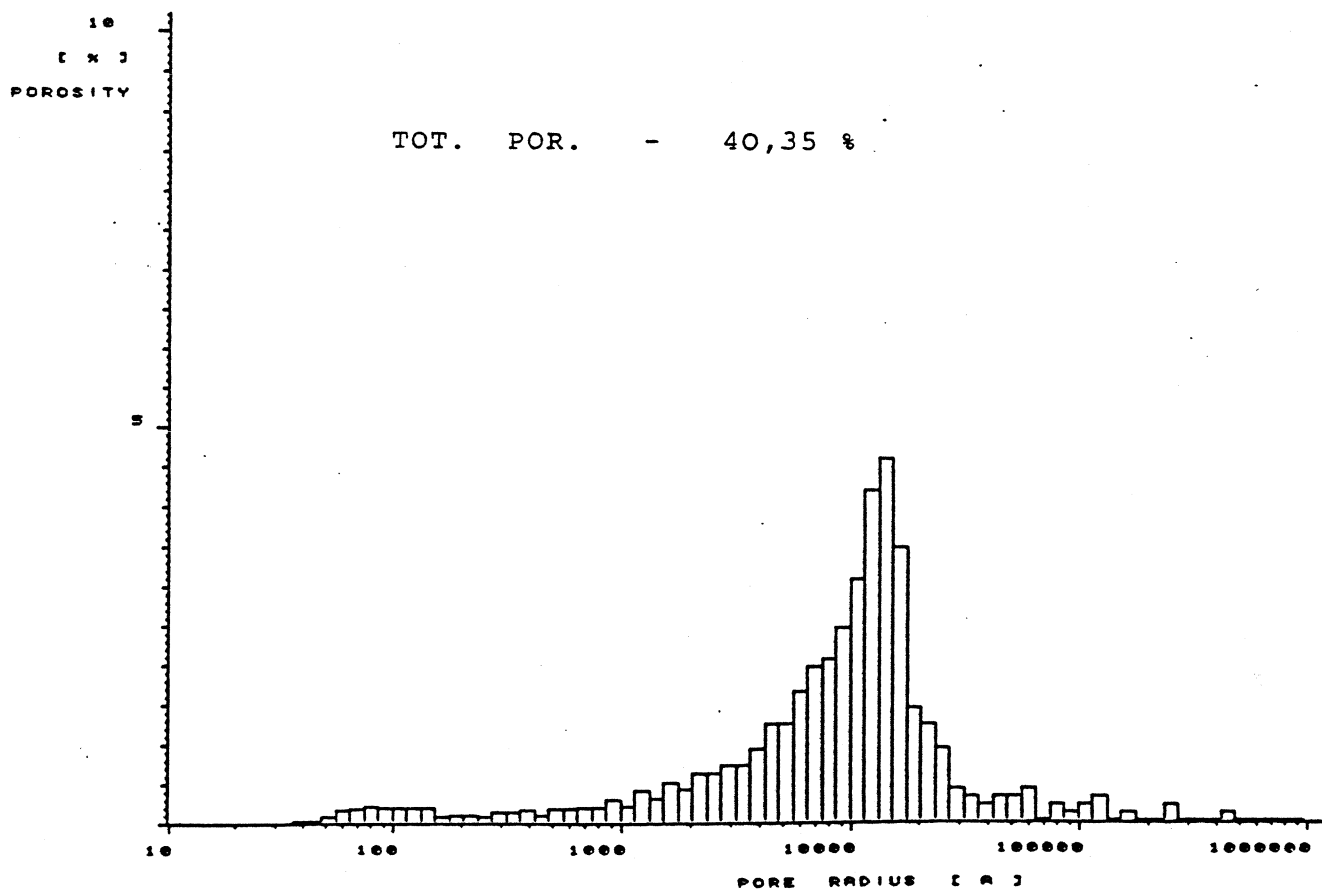


Abb. 52.3 : Porenradienverteilung (abs.) - Riedener I 2. Teilprobe



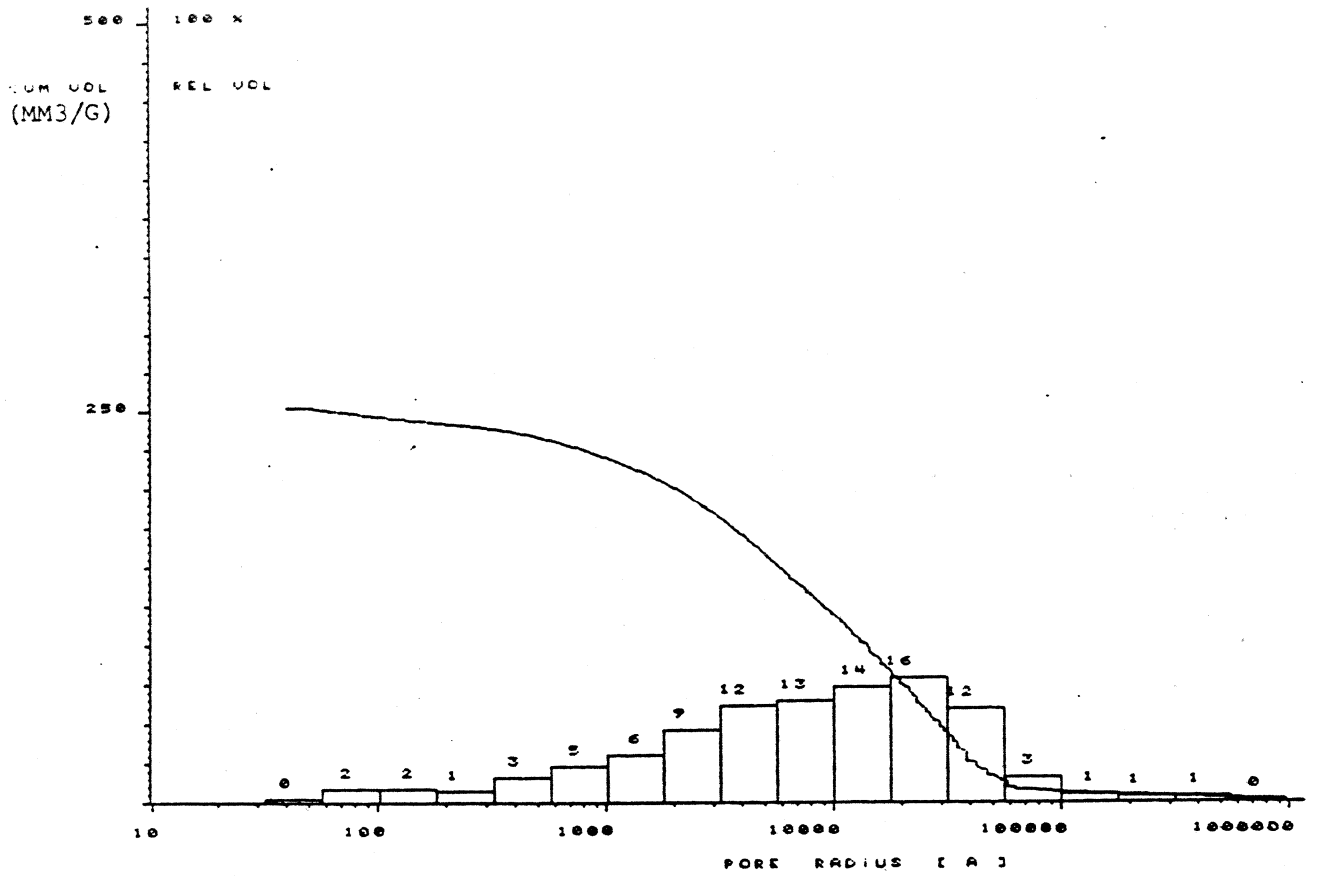


Abb. 53.1 : Porenradienverteilung (rel.) - Riedener II 1. Teilprobe

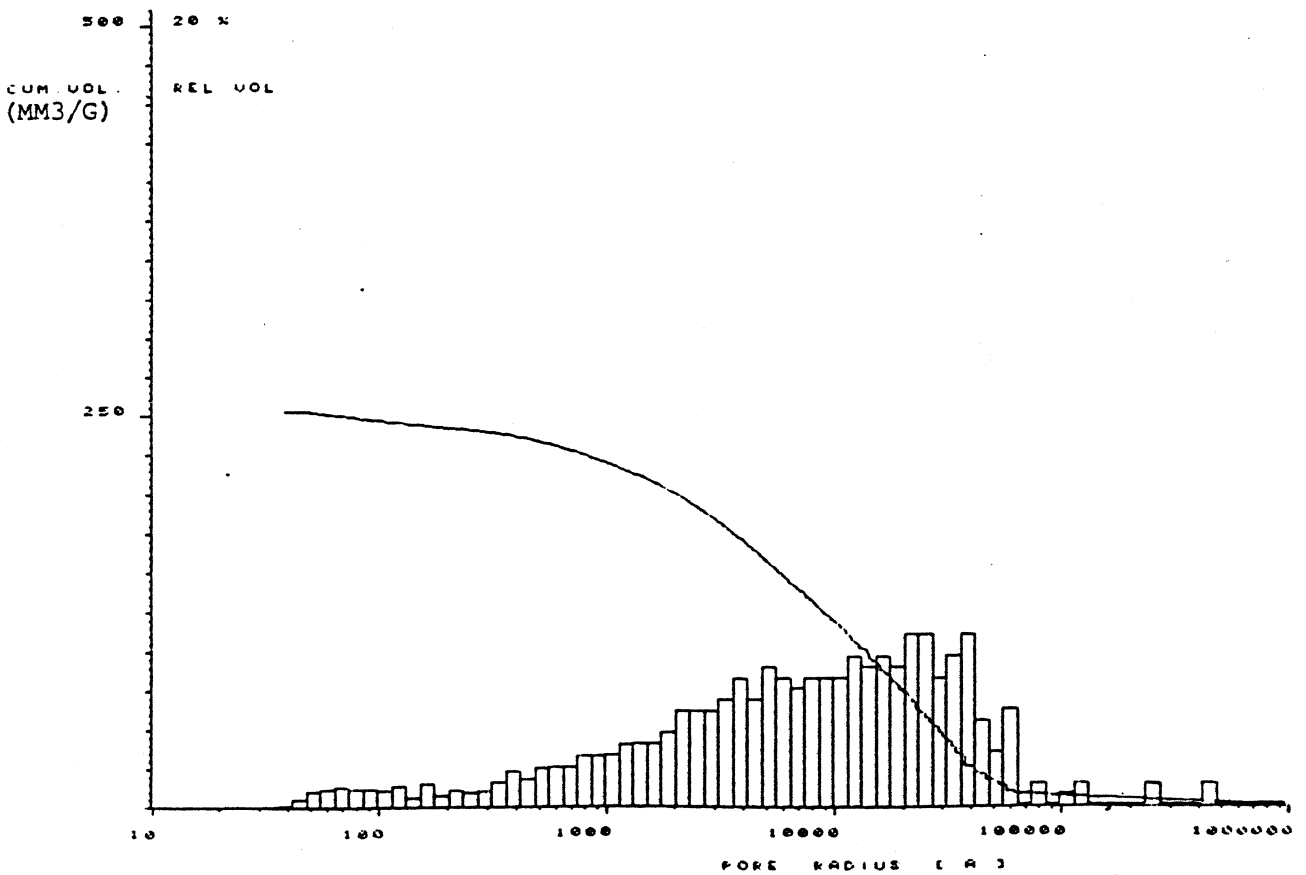


Abb. 53.2 : Porenradienverteilung (rel.) - Riedener II 1. Teilprobe

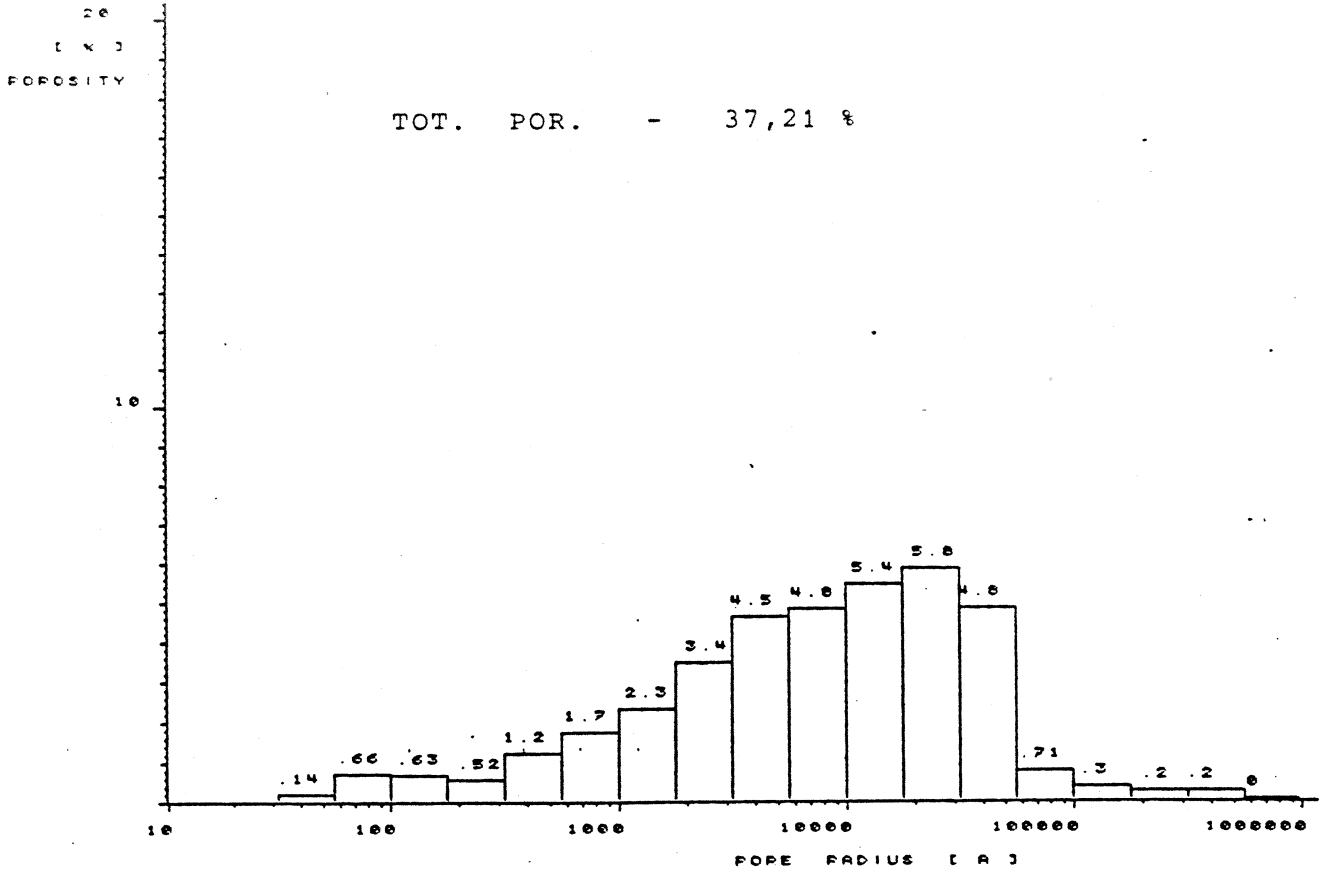


Abb. 53.3 : Porenradienverteilung (abs.) - Riedener II 1. Teilprobe

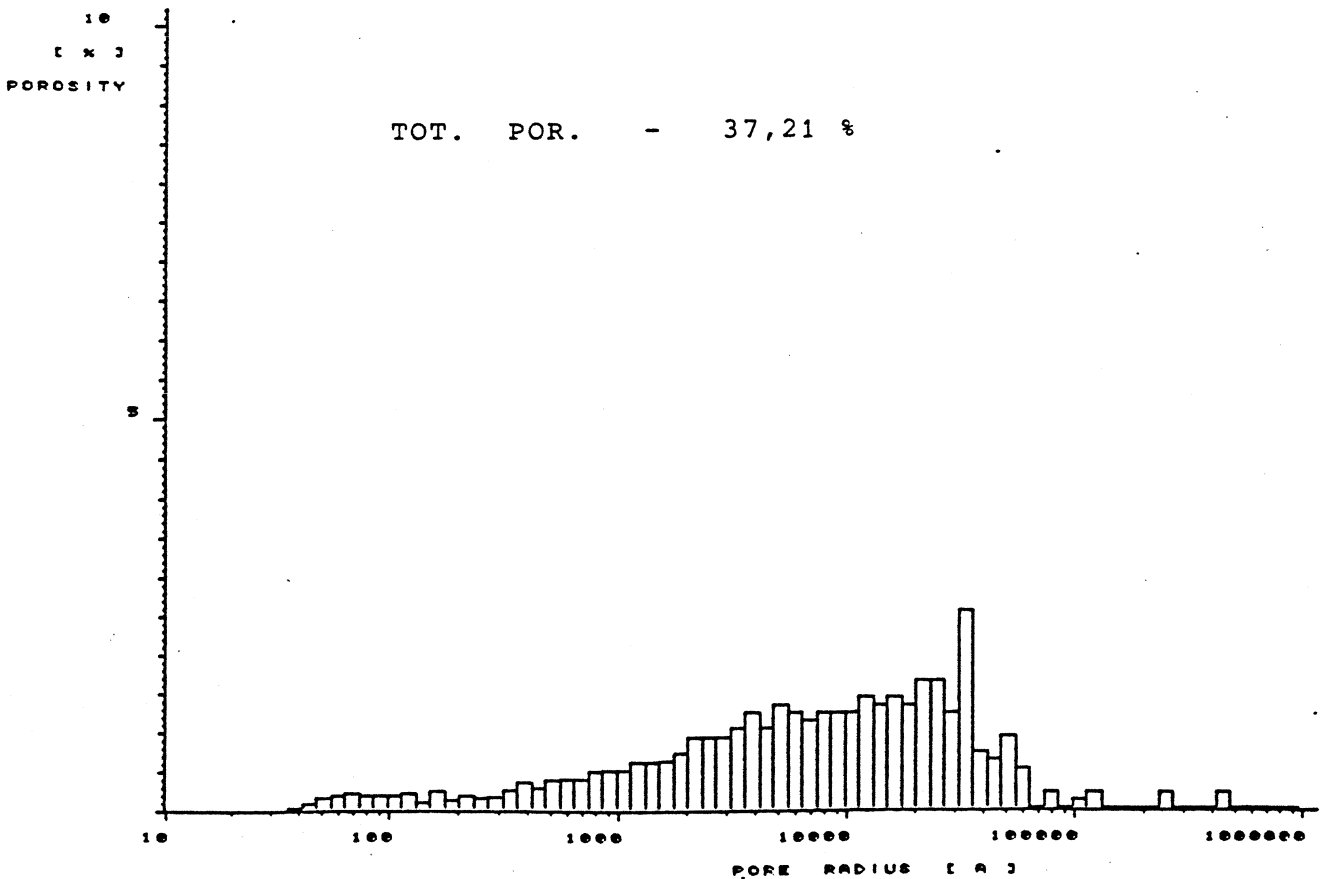


Abb. 53.4 : Porenradienverteilung (abs.) - Riedener II 1. Teilprobe

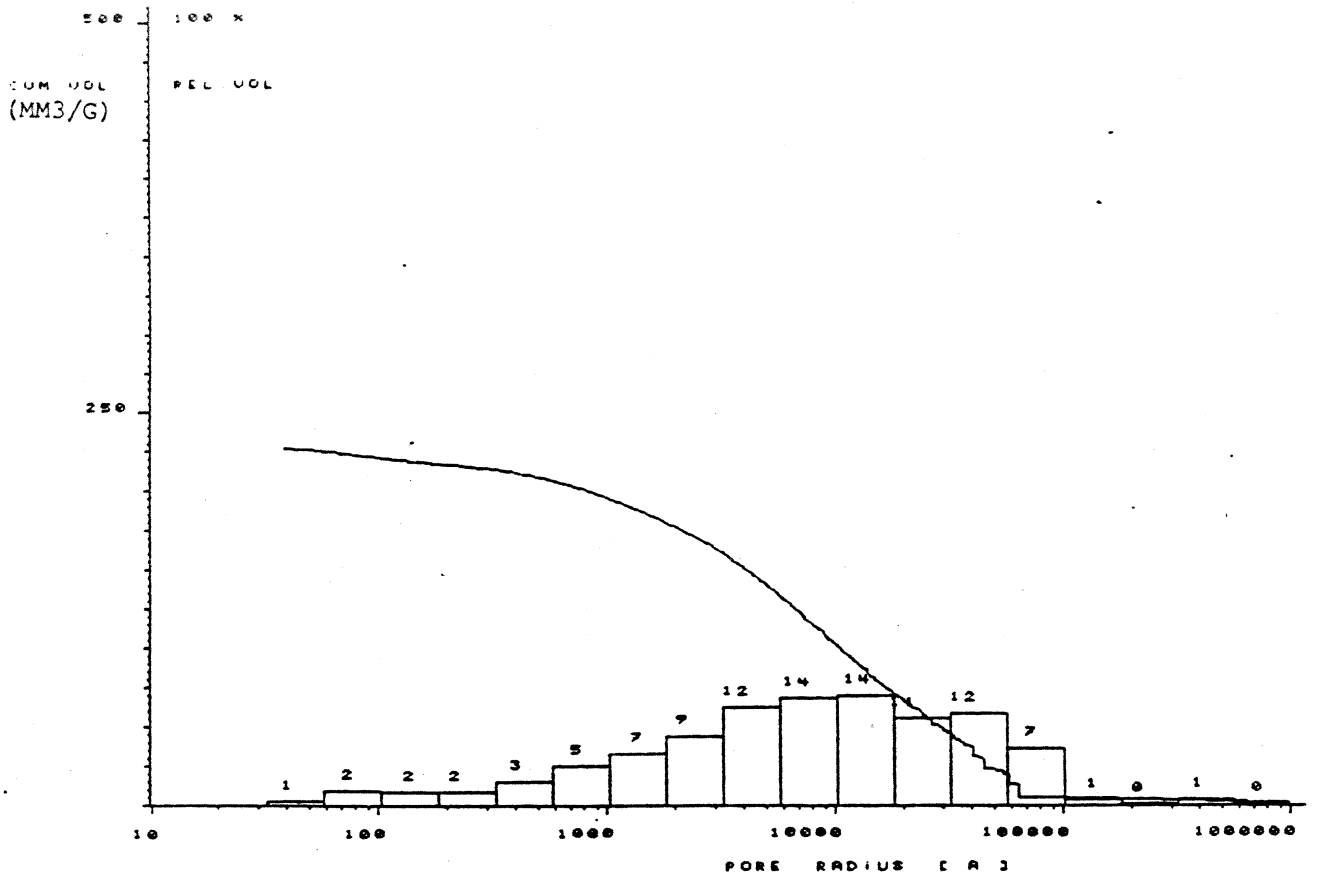


Abb. 54.1 : Porenradienverteilung (rel.) - Riedener II 2. Teilprobe

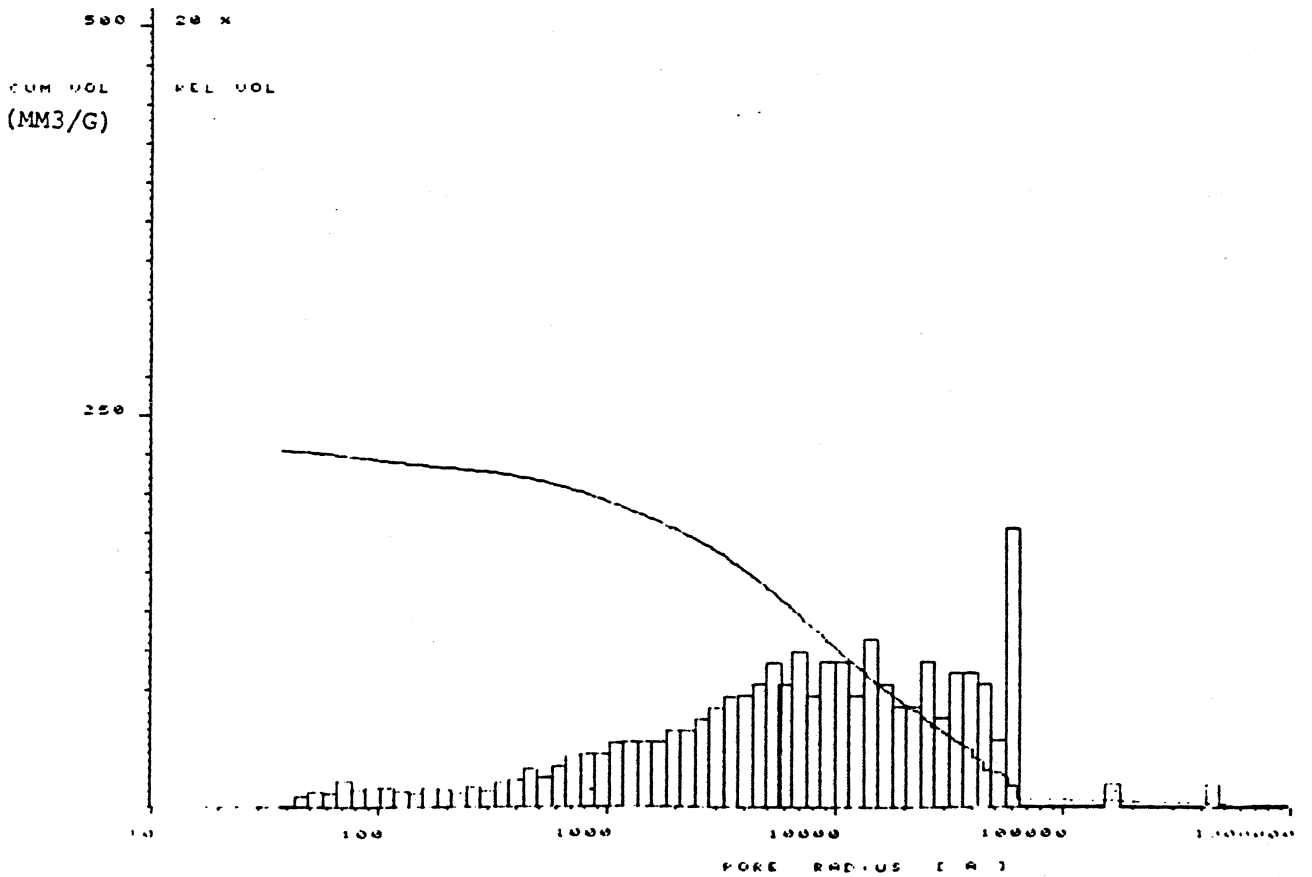


Abb. 54.2 : Porenradienverteilung (rel.) - Riedener II 2. Teilprobe

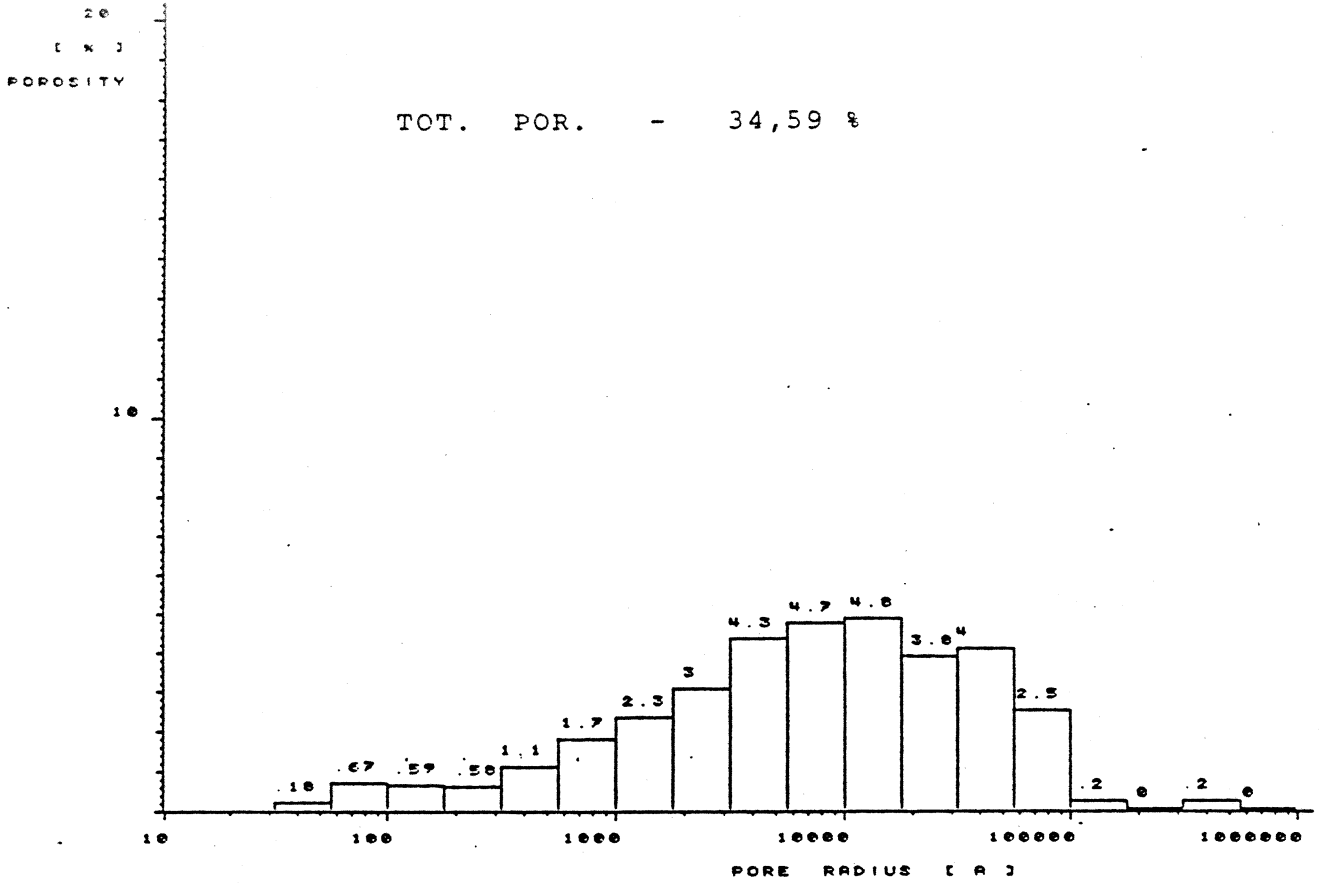


Abb. 54.3 : Porenradienverteilung (abs.) - Riedener II 2. Teilprobe

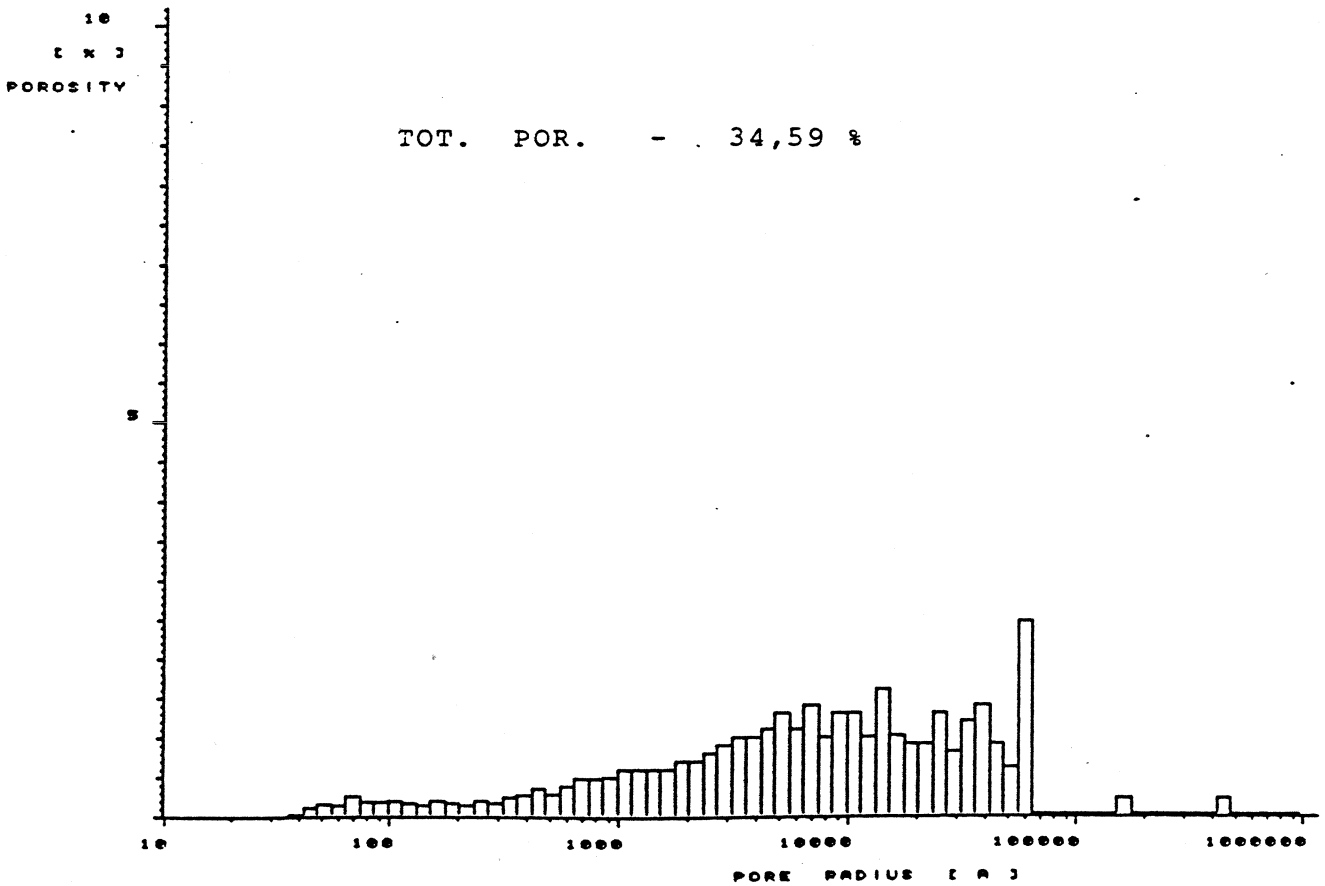


Abb. 54.4 : Porenradienverteilung (abs.) - Riedener II 2. Teilprobe

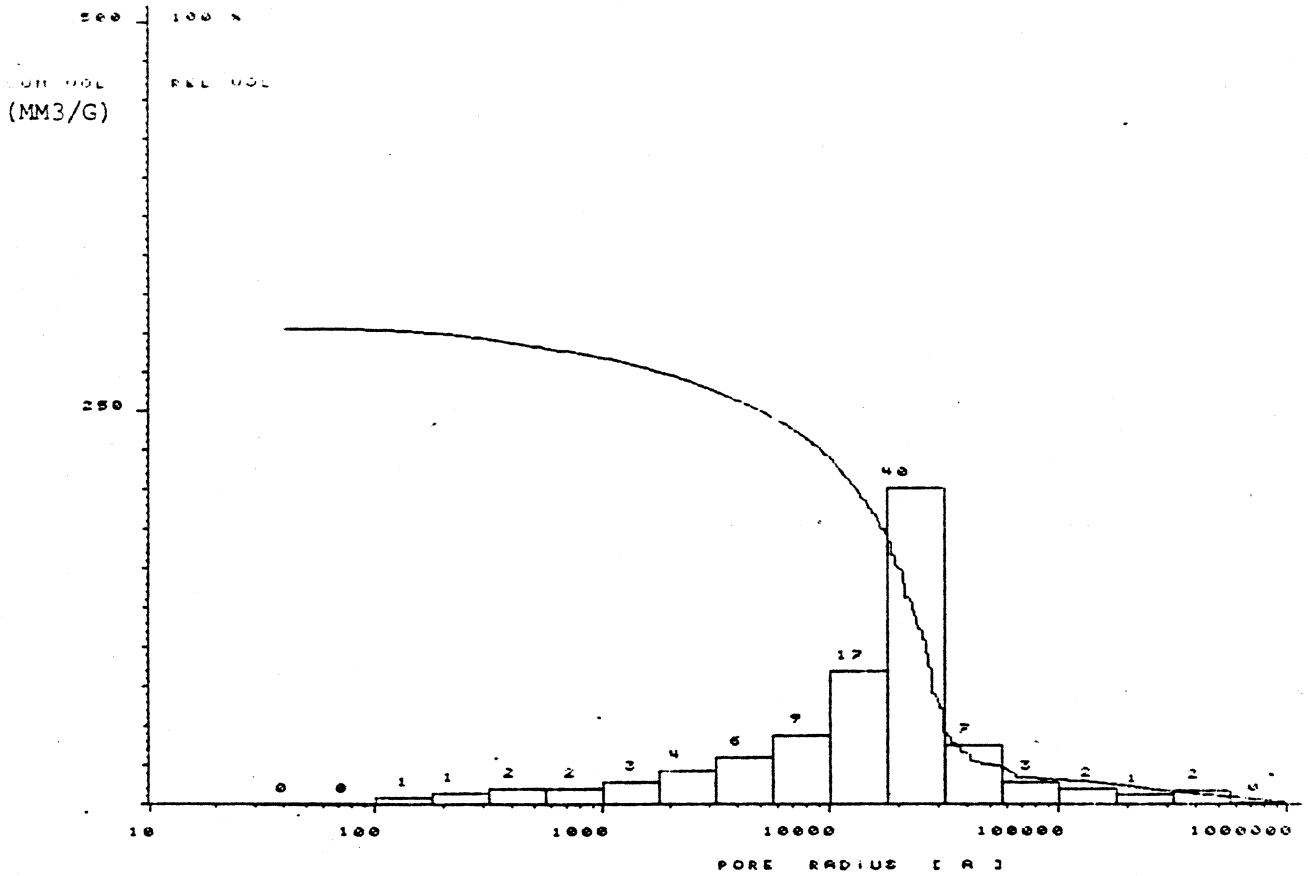


Abb. 55.1 : Porenradienverteilung (rel.) - Römer I 1. Teilprobe

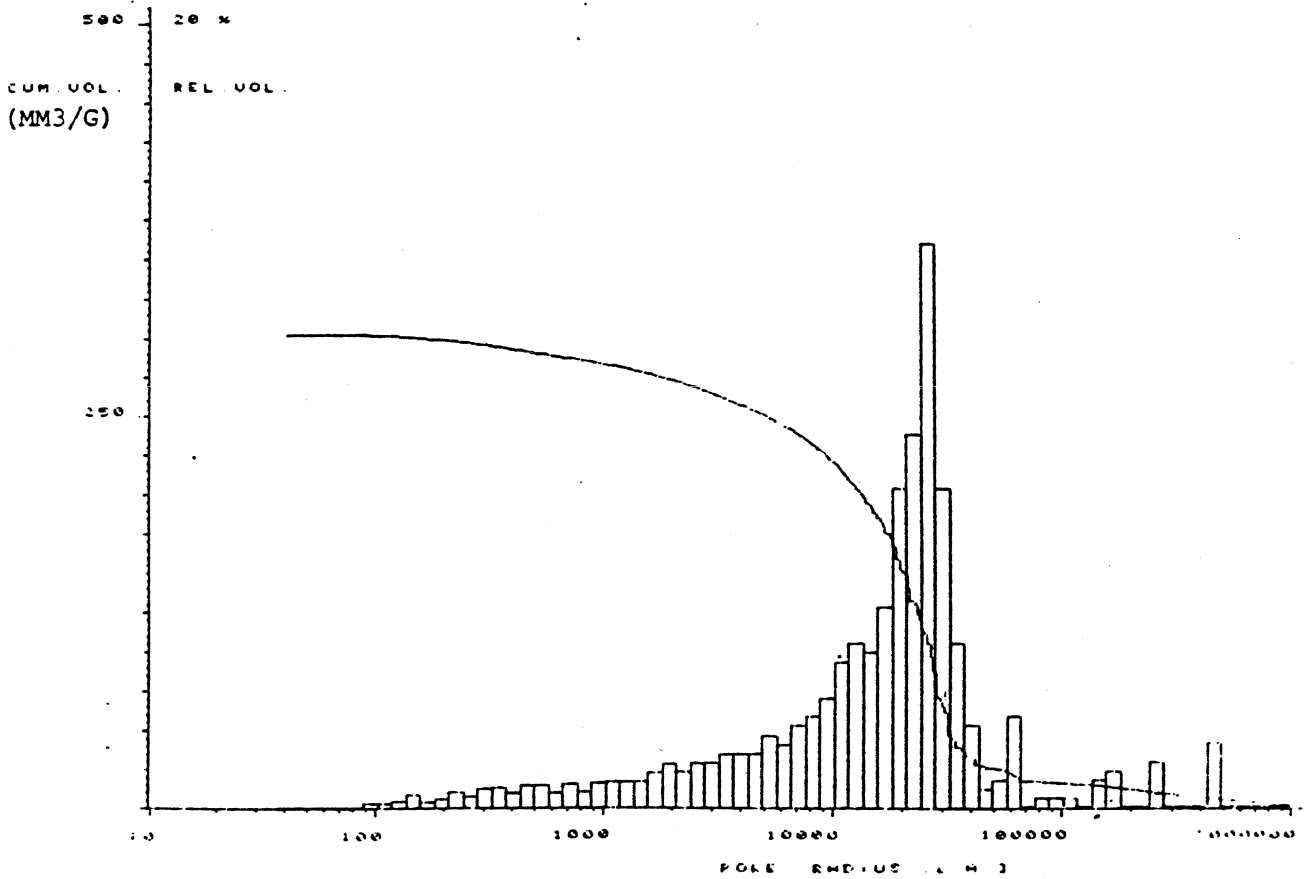


Abb. 55.2 : Porenradienverteilung (rel.) - Römer I 1. Teilprobe

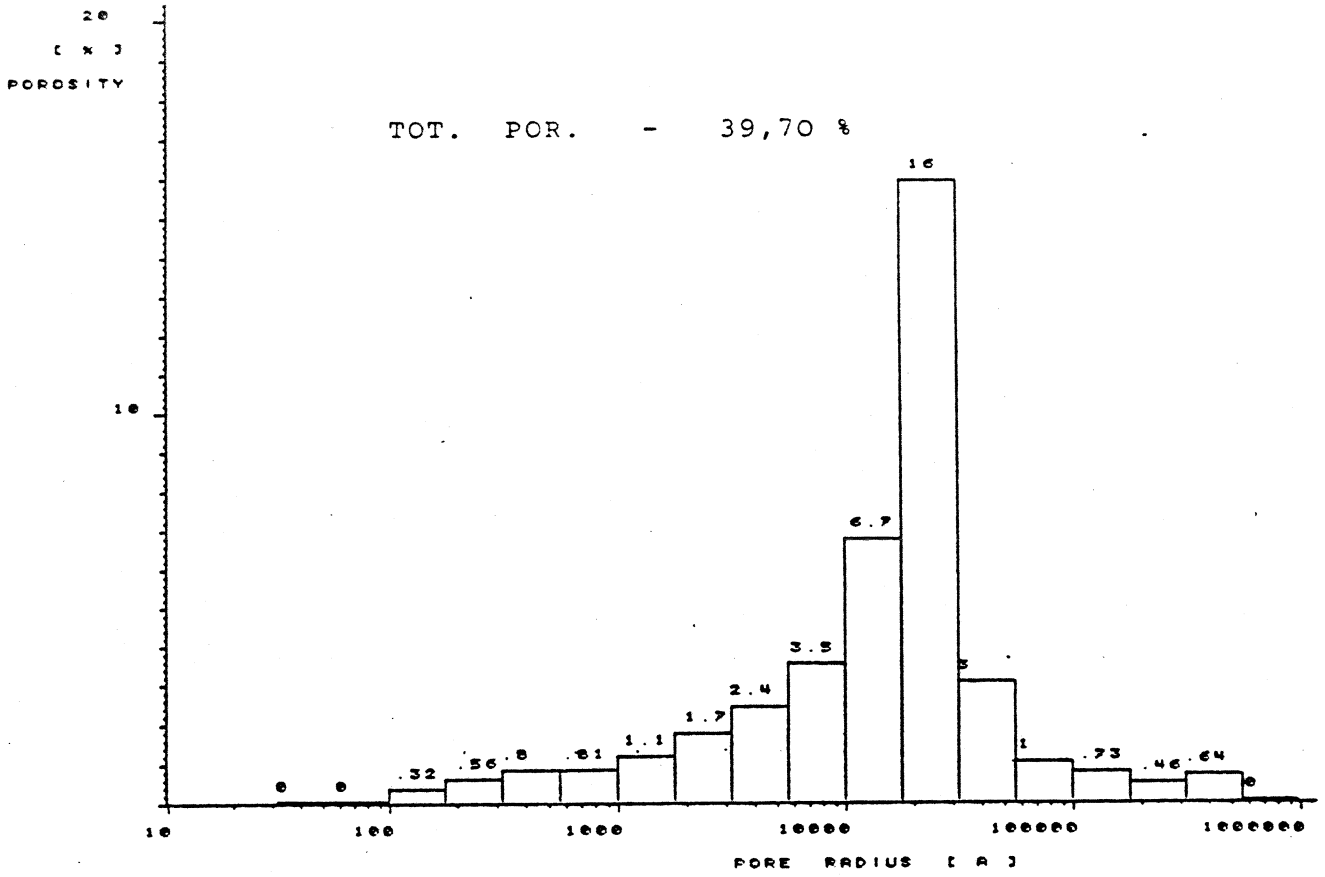


Abb. 55.3 : Porenradienverteilung (abs.) - Römer I 1. Teilprobe

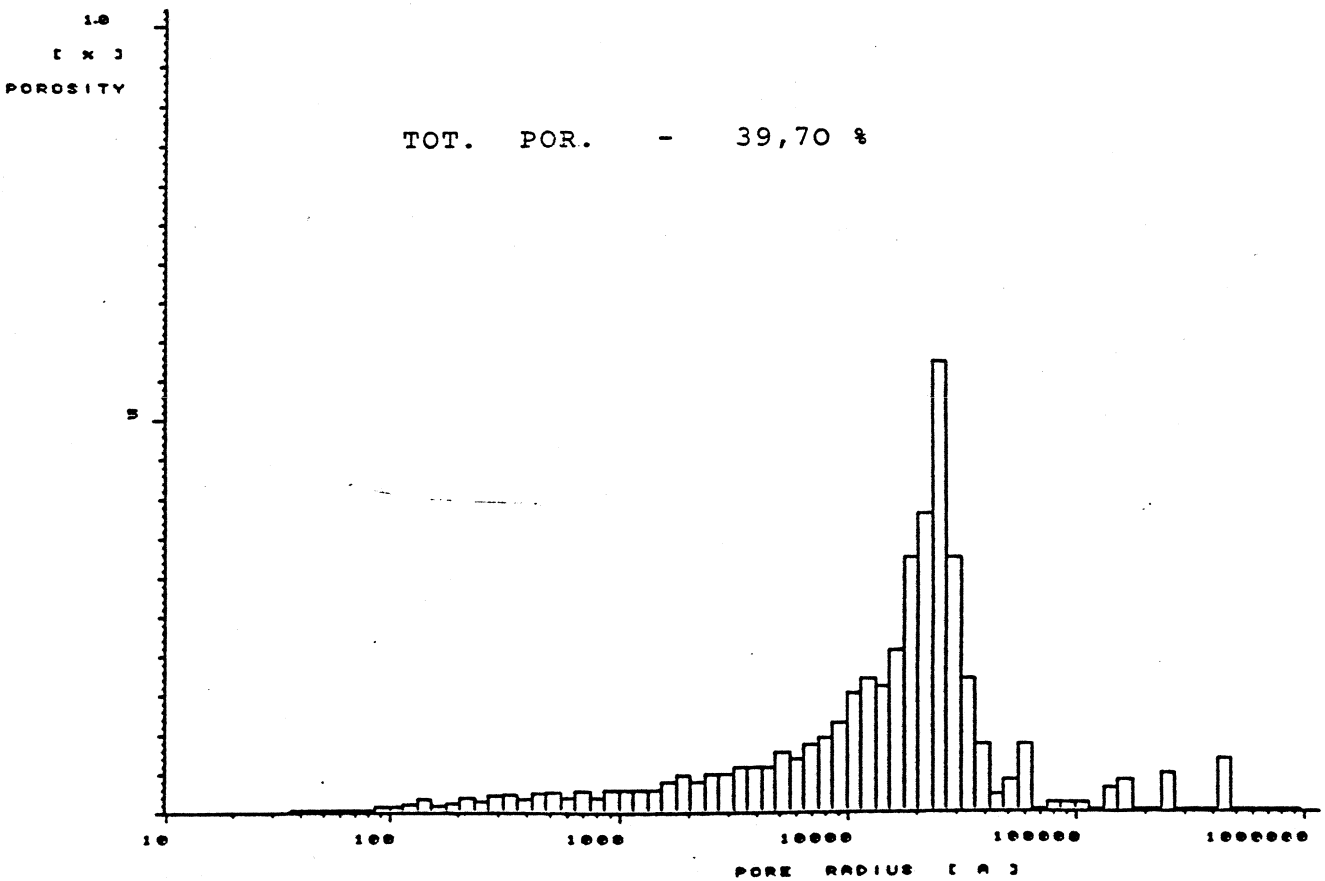


Abb. 55.4 : Porenradienverteilung (abs.) - Römer I 1. Teilprobe

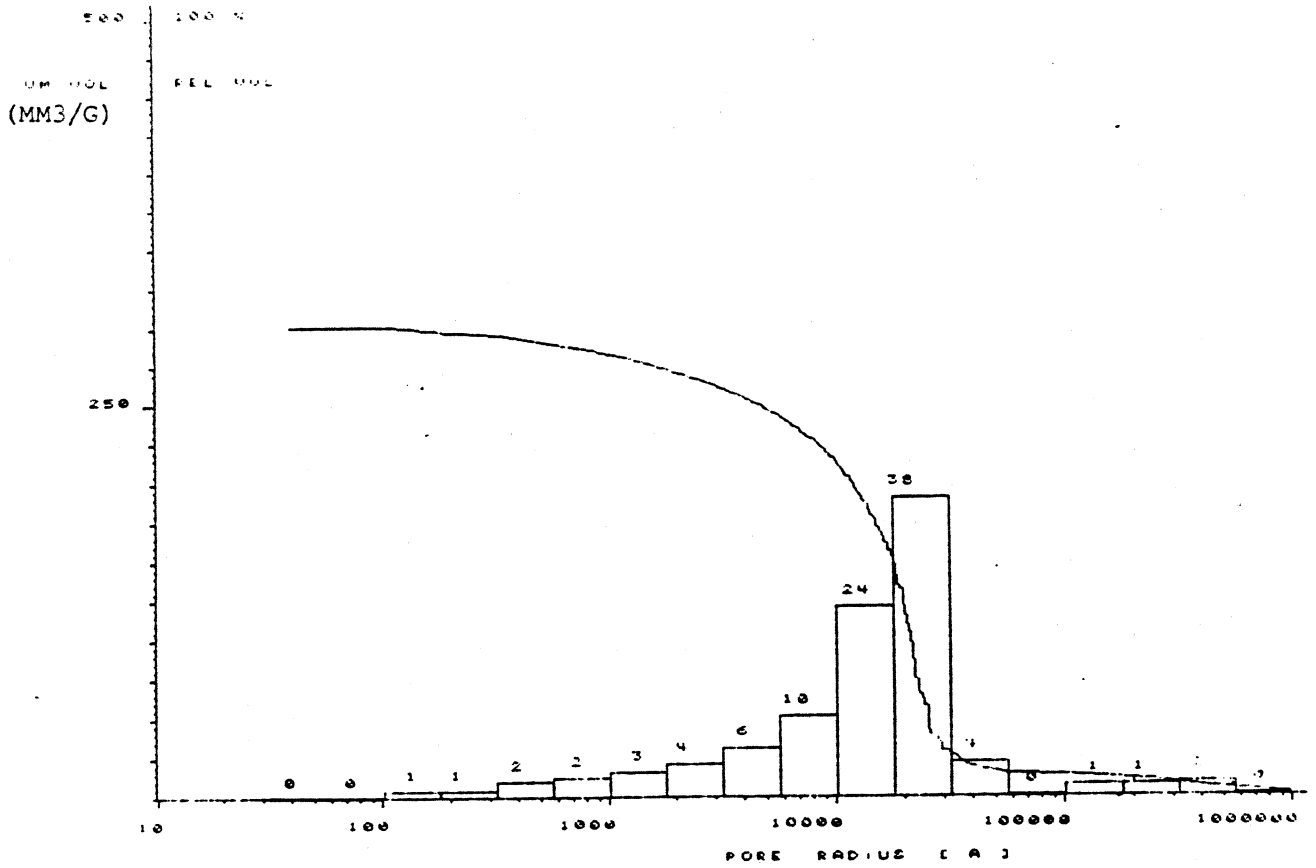


Abb. 56.1 : Porenradienverteilung (rel.) - Römer I 2. Teilprobe

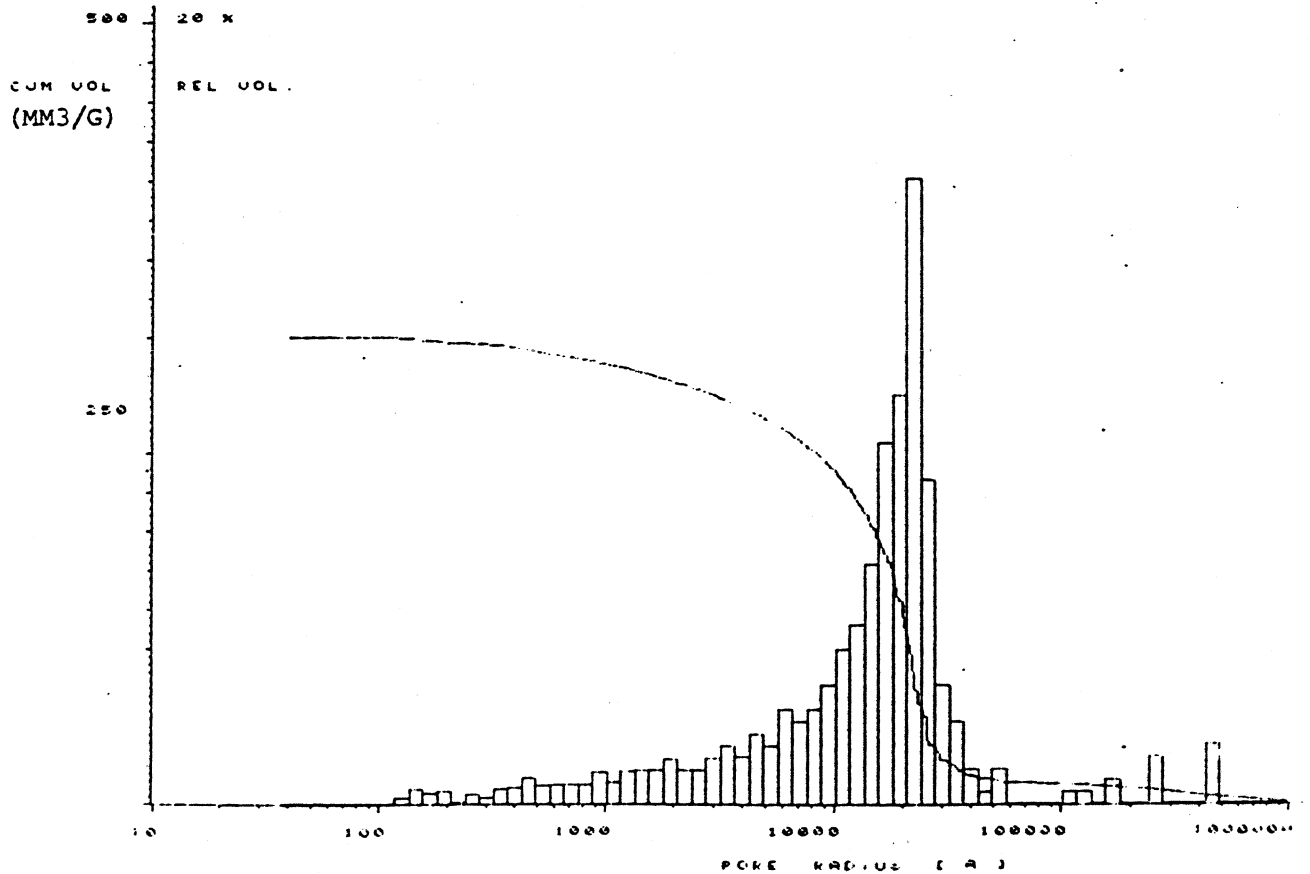


Abb. 56.2 : Porenradienverteilung (rel.) - Römer I 2. Teilprobe

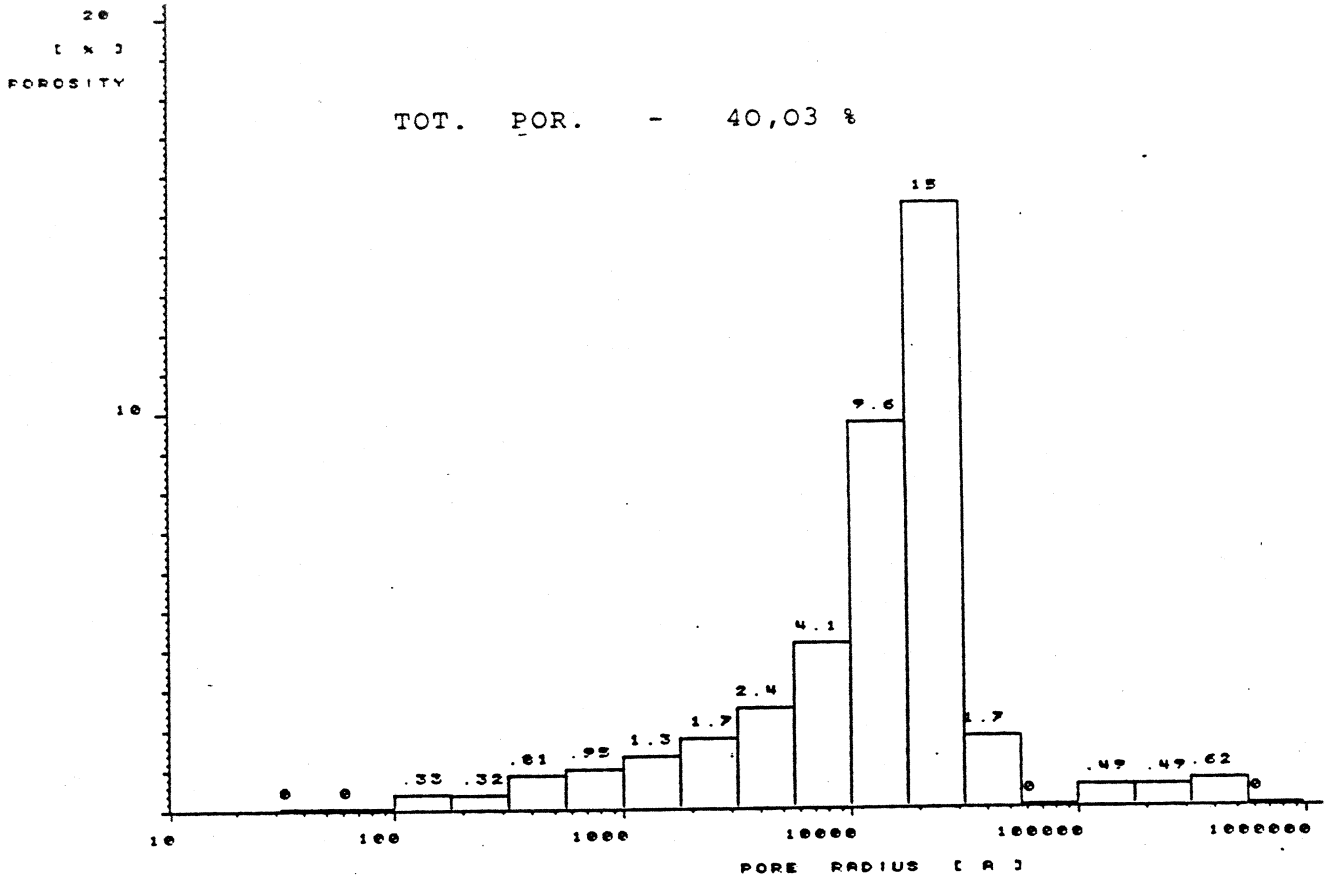


Abb. 56.3 : Porenradienverteilung (abs.) - Römer I 2. Teilprobe

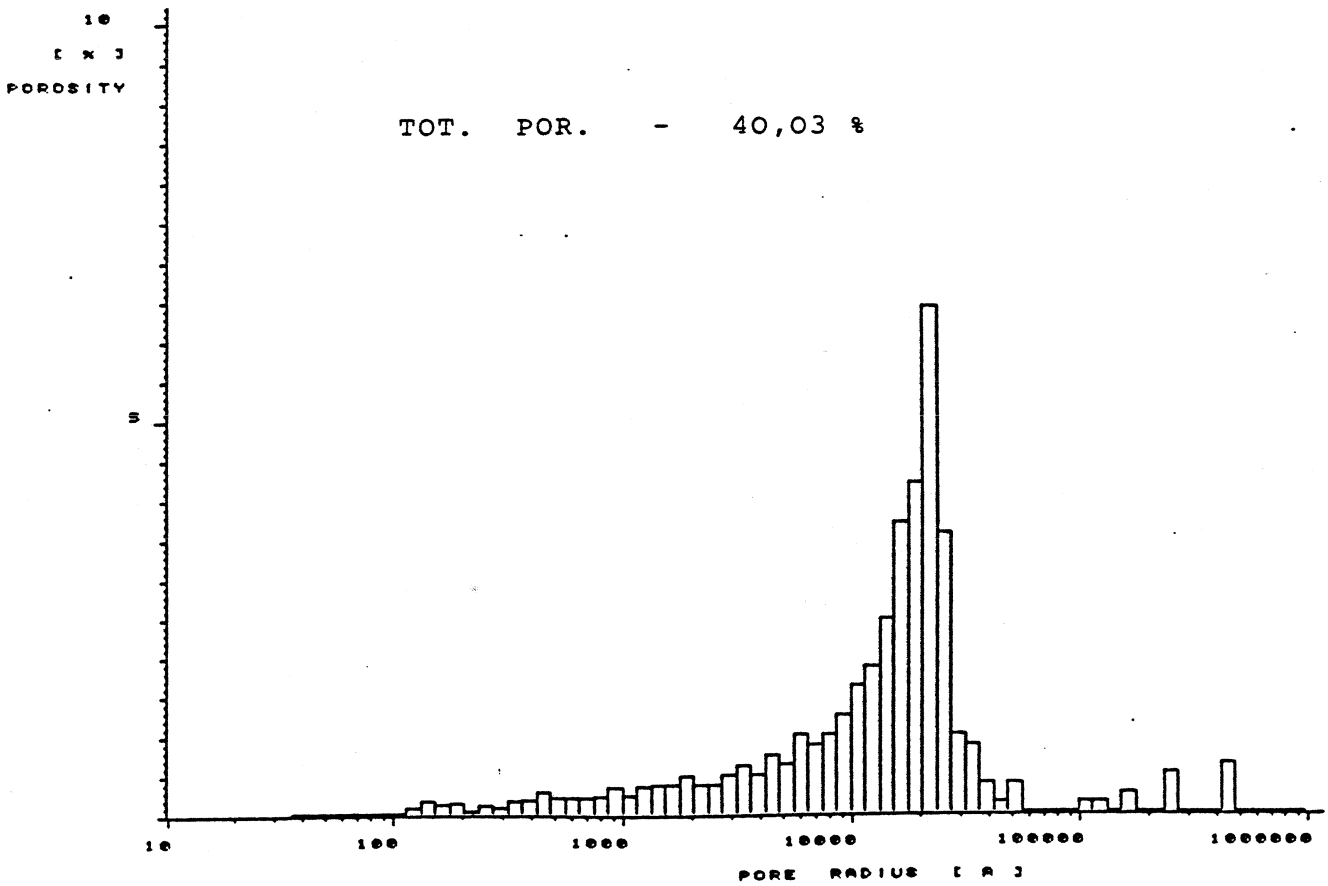


Abb. 56.4 : Porenradienverteilung (abs.) - Römer I 2. Teilprobe

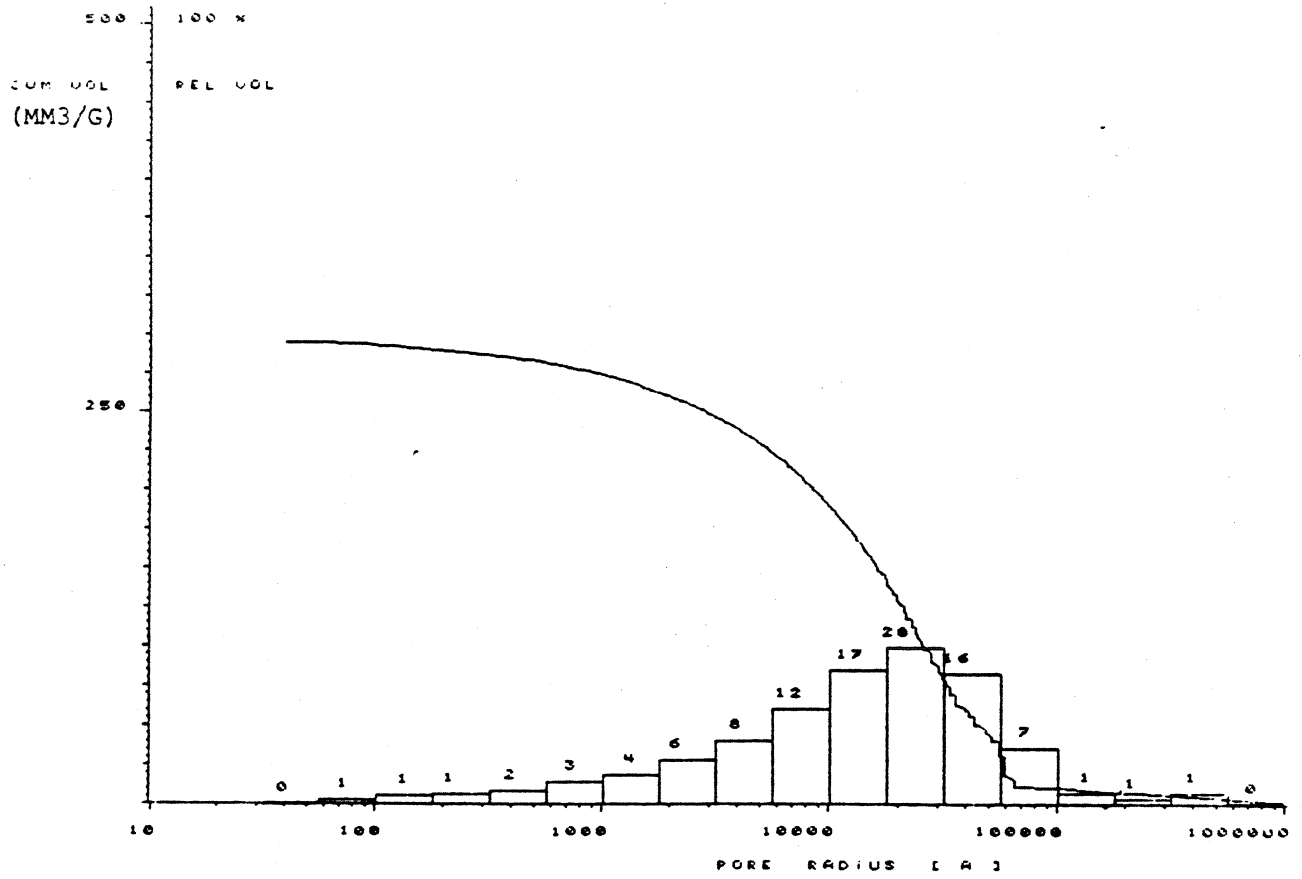


Abb. 57.1 : Porenradienverteilung (rel.) - Römer II 1. Teilprobe

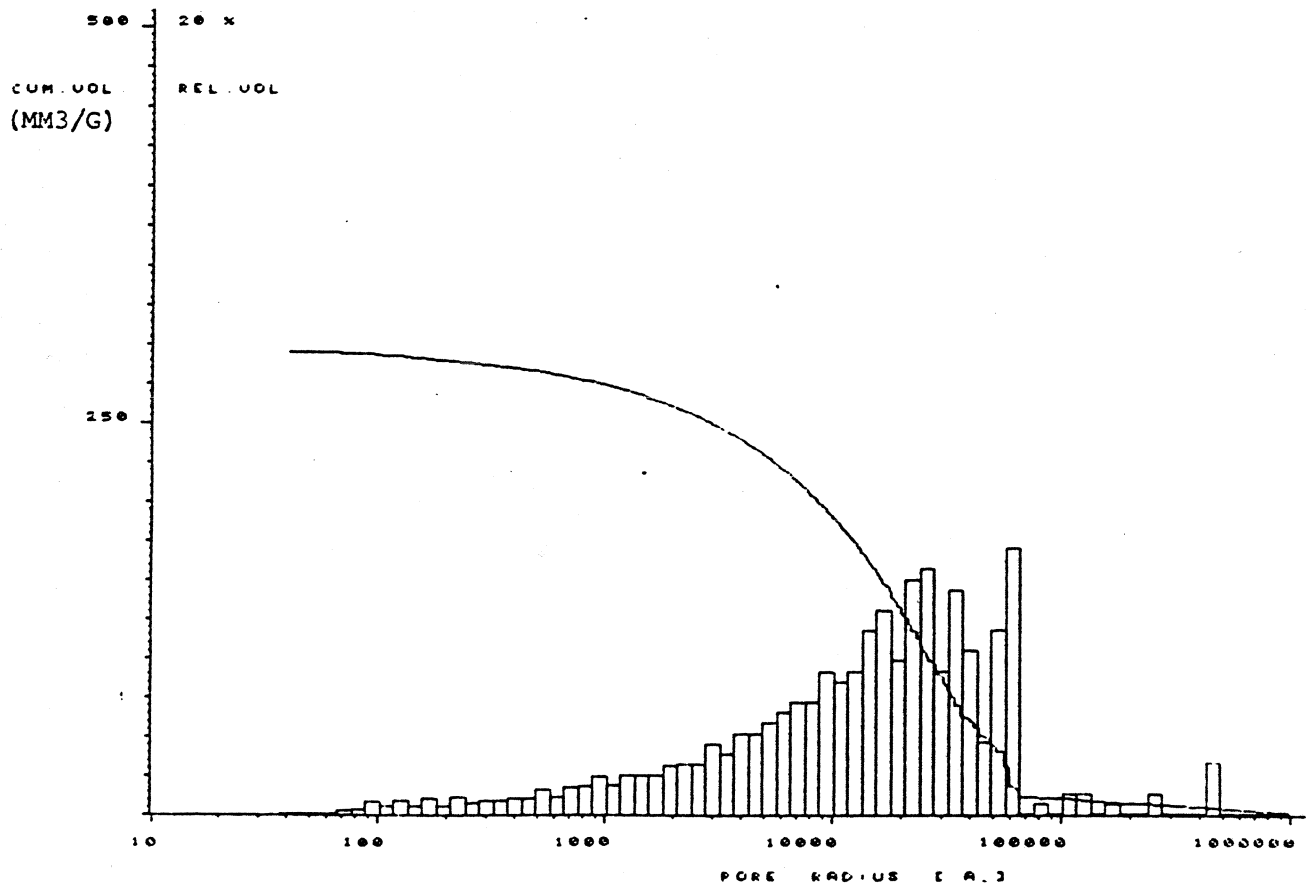


Abb. 57.2 : Porenradienverteilung (rel.) - Römer II 1. Teilprobe

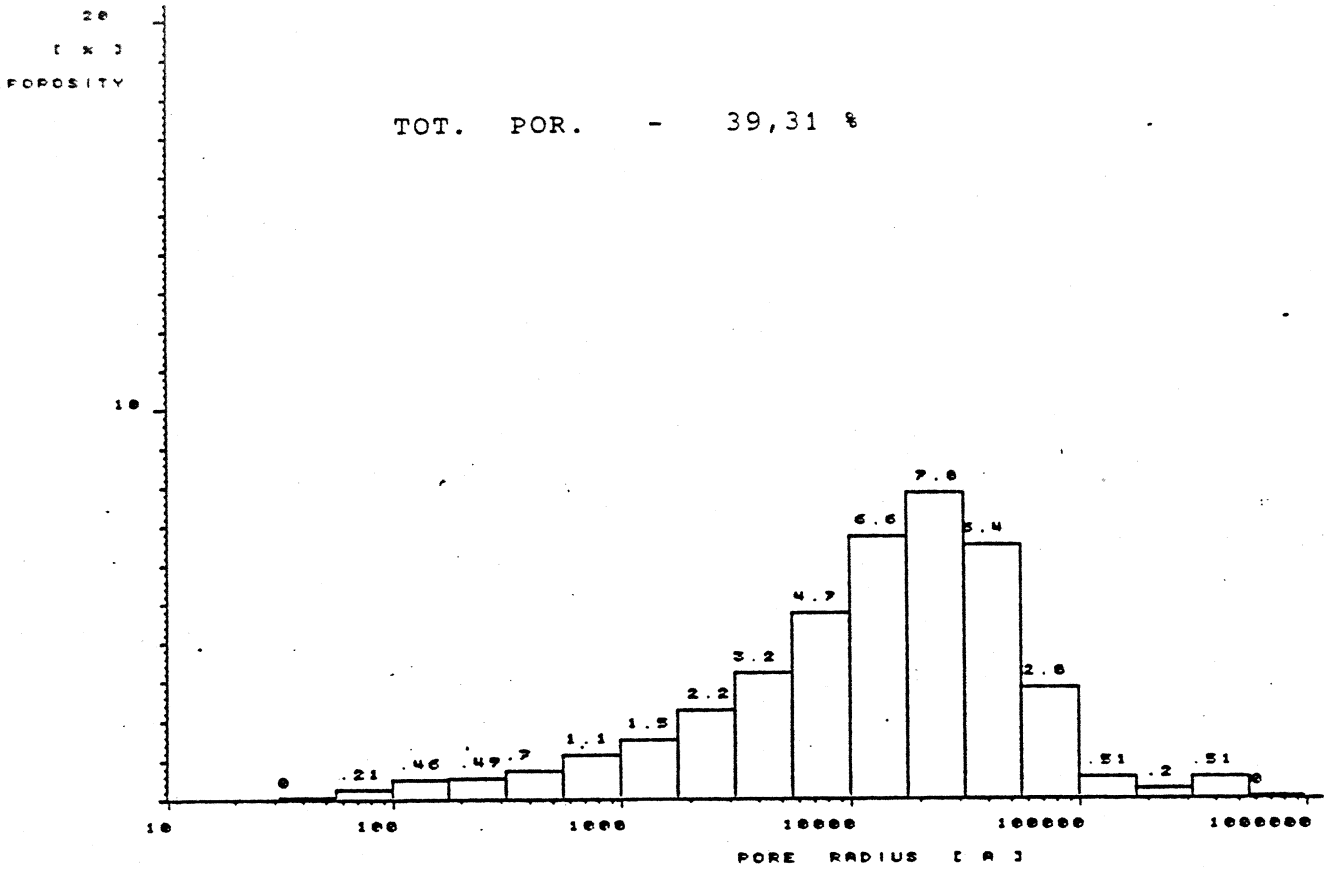


Abb. 57.3 : Porenradienverteilung (abs.) - Römer II 1. Teilprobe

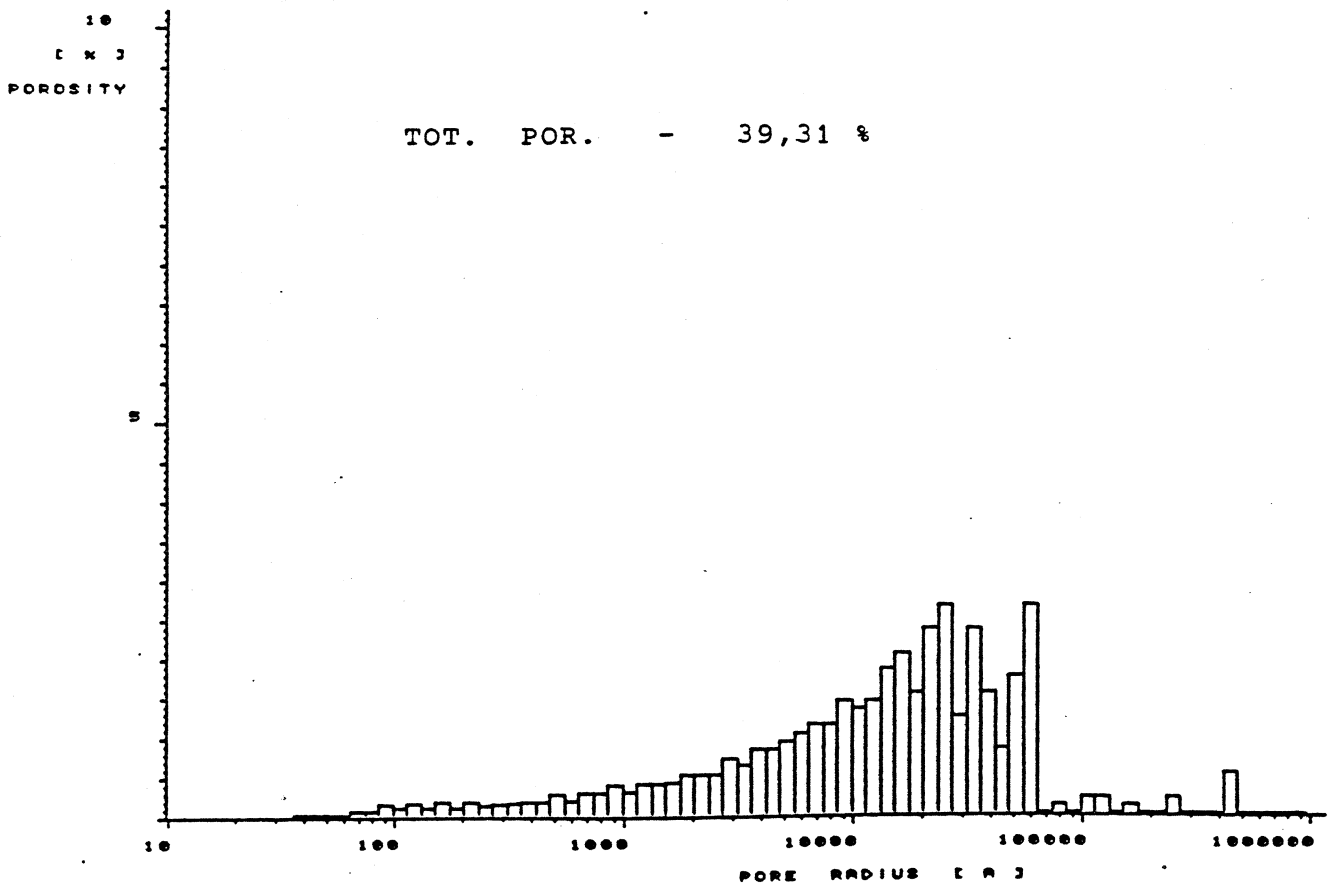


Abb. 57.4 : Porenradienverteilung (abs.) - Römer II 1. Teilprobe

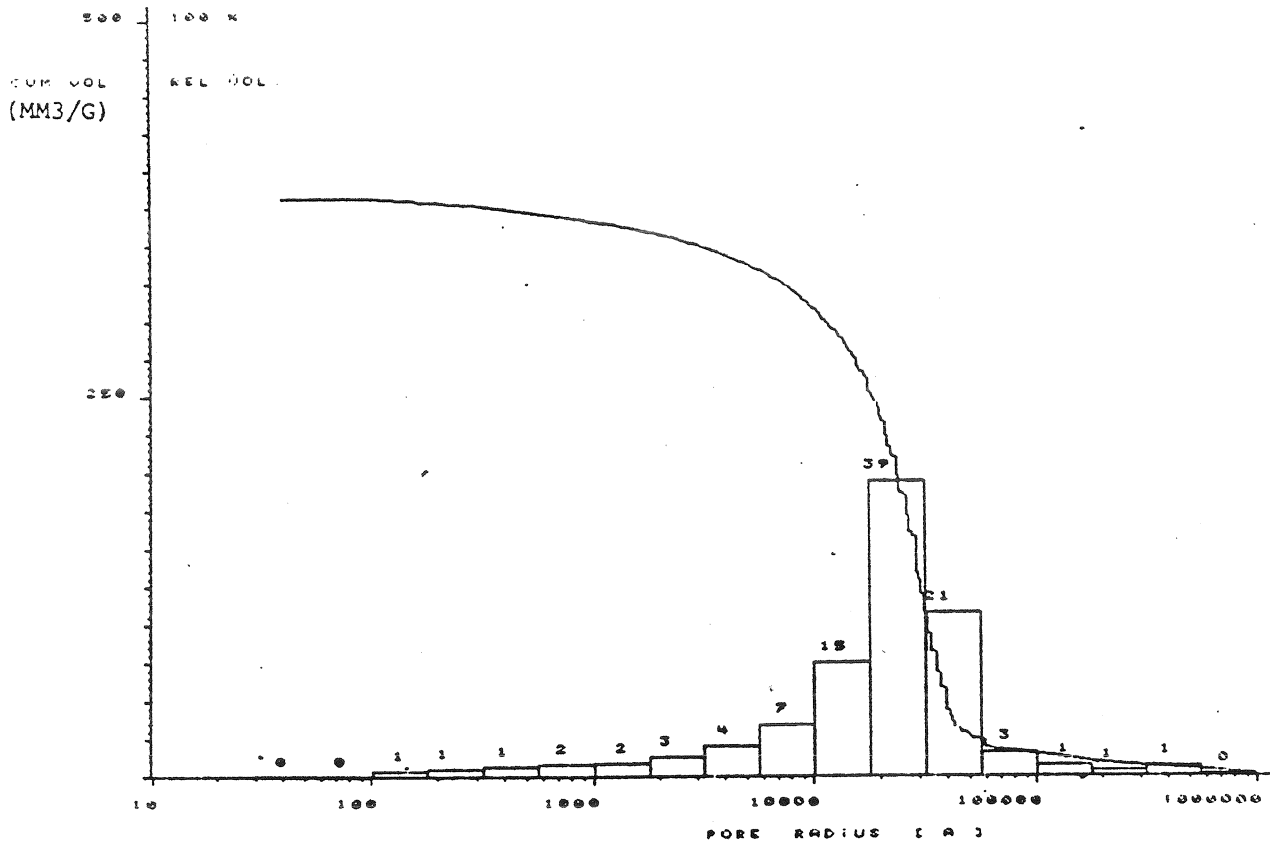


Abb. 58.1 : Porenradienverteilung (rel.) - Römer II 2. Teilprobe

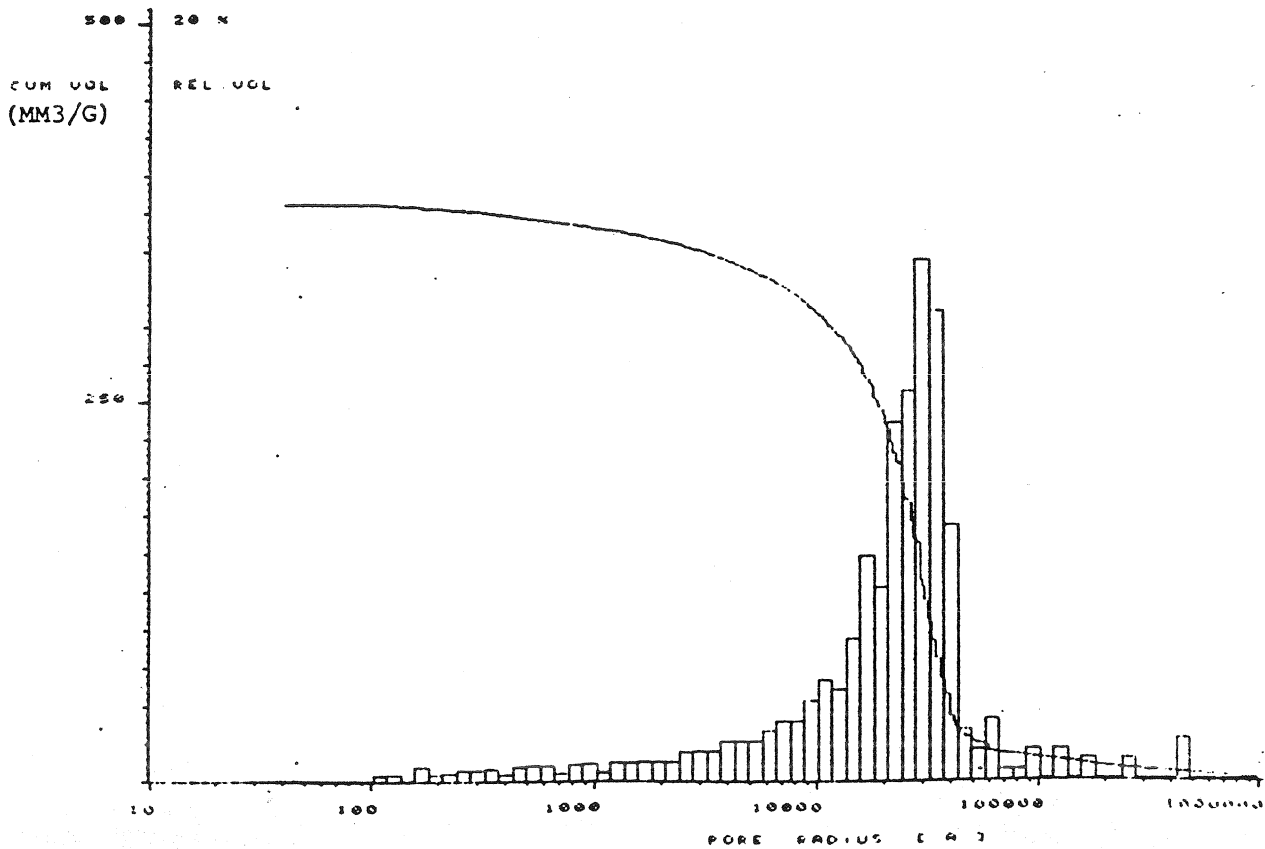


Abb. 58.2 : Porenradienverteilung (rel.) - Römer II 2. Teilprobe

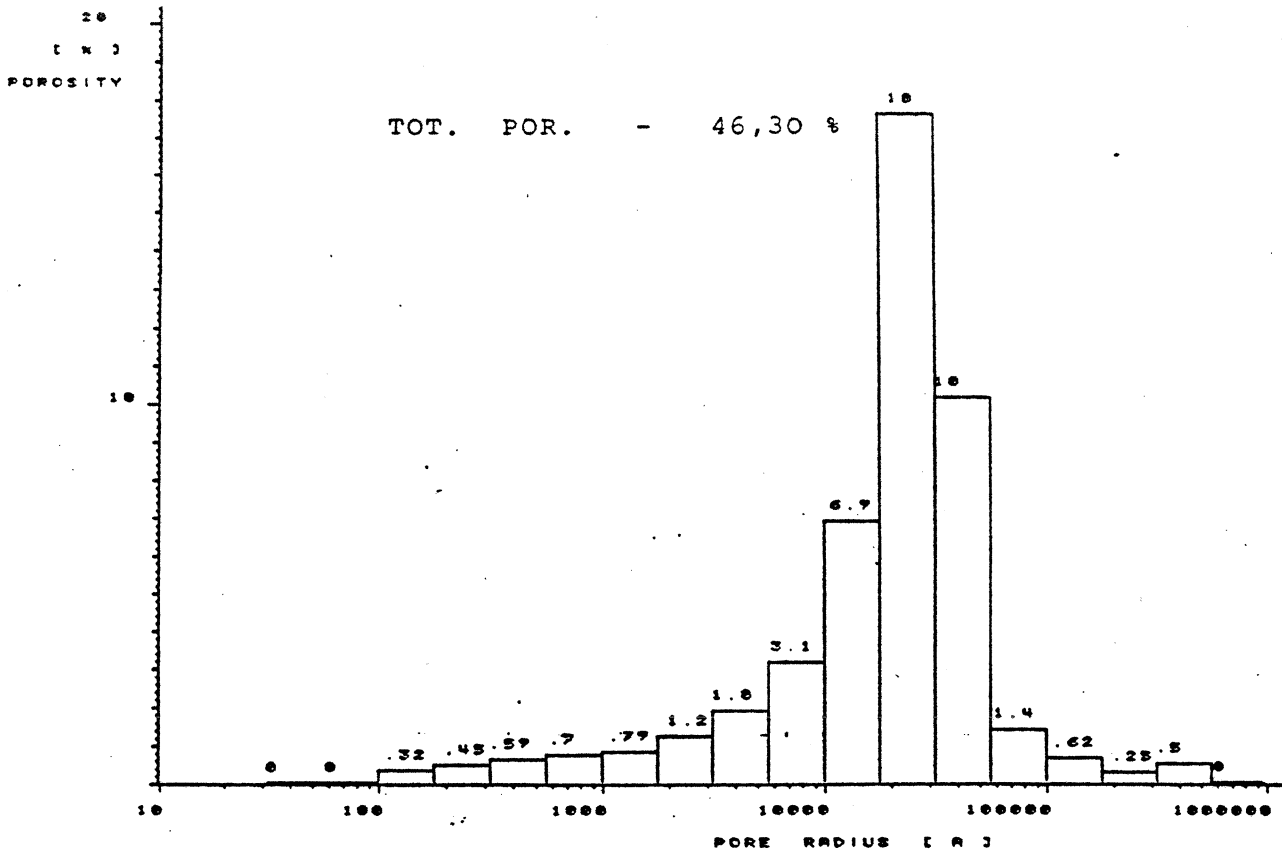


Abb. 58.3 : Porenradienverteilung (abs.) - Römer II 2. Teilprobe

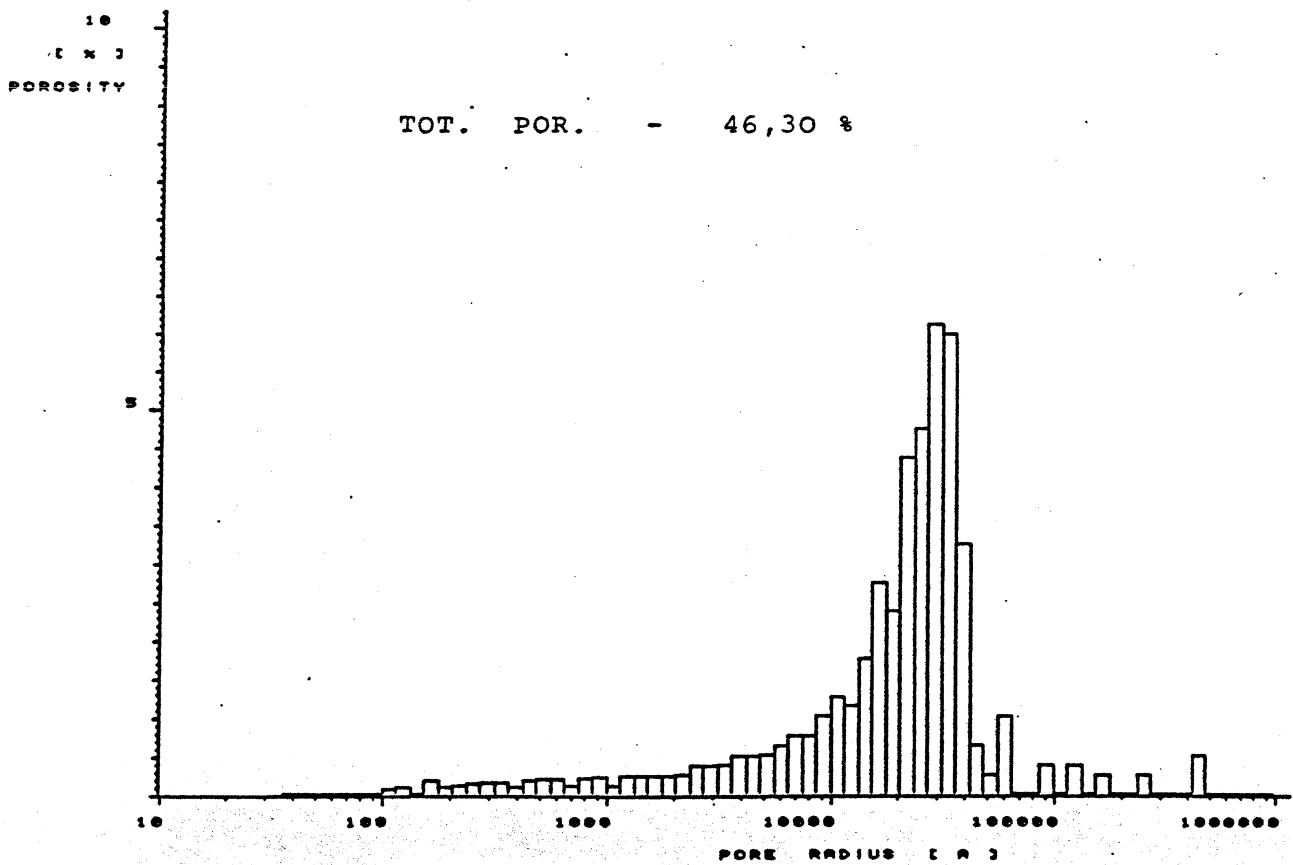


Abb. 58.4 : Porenradienverteilung (abs.) - Römer II 2. Teilprobe

PORE SIZE AND SURFACE AREA DISTRIBUTION

PENETR. [MM]	PRESSURE [BAR]	PORE RADIUS [Å]	CUM.VOL. [MM ³ /G]	CUM.VOL. [%]	REL.VOL. [%]	CUM.AREA [CM ² /G]	AREA DIST. [CM ² /G]
.1	.31	246121.4	.65	.4	.4	.	.5
.2	1.22	62539.0	1.30	.9	.4	2.	2.1
.4	1.52	50195.8	2.61	1.7	.9	7.	5.2
.5	1.62	47097.3	3.26	2.2	.4	10.	2.8
.7	1.72	44359.1	4.58	3.0	.9	16.	5.9
.8	1.82	41921.8	5.23	3.5	.4	19.	3.1
.9	1.89	40440.4	5.89	3.9	.4	22.	3.2
1.0	1.95	39060.2	6.54	4.3	.4	26.	3.4
1.1	2.02	37771.1	7.20	4.8	.4	29.	3.5
1.2	2.12	35989.5	7.86	5.2	.4	33.	3.6
1.3	2.32	32886.9	8.51	5.6	.4	37.	4.0
1.5	2.42	31527.9	9.82	6.5	.9	45.	8.3
1.6	2.62	29121.2	10.48	6.9	.4	50.	4.5
1.7	2.72	28050.6	11.13	7.4	.4	54.	4.7
1.8	2.82	27055.9	11.79	7.8	.4	59.	4.8
1.9	2.92	26129.3	12.44	8.2	.4	64.	5.0
2.1	3.12	24454.4	13.76	9.1	.9	75.	10.7
2.3	3.22	23694.9	15.07	10.0	.9	86.	11.1
2.4	3.32	22981.2	15.73	10.4	.4	92.	5.7
2.5	3.42	22309.3	16.38	10.8	.4	98.	5.9
2.6	3.52	21675.5	17.04	11.3	.4	104.	6.1
2.7	3.72	20510.1	17.69	11.7	.4	110.	6.4
2.9	3.82	19973.2	19.00	12.6	.9	123.	13.1
3.0	4.11	18563.9	19.66	13.0	.4	130.	7.0
3.1	4.21	18123.0	20.31	13.4	.4	137.	7.2
3.2	4.41	17301.1	20.97	13.9	.4	145.	7.6
3.3	4.51	16917.4	21.62	14.3	.4	153.	7.8
3.4	4.58	16671.0	22.28	14.7	.4	161.	7.9
3.5	4.64	16431.7	22.94	15.2	.4	169.	8.0
3.6	4.71	16199.1	23.59	15.6	.4	177.	8.1
3.8	4.91	15539.2	24.90	16.5	.9	194.	16.9
3.9	5.01	15229.1	25.56	16.9	.4	202.	8.6
4.1	5.11	14931.0	26.87	17.8	.9	220.	17.6
4.2	5.21	14644.5	27.53	18.2	.4	229.	9.0
4.3	5.31	14368.7	28.18	18.6	.4	238.	9.1
4.4	5.51	13847.1	28.84	19.1	.4	247.	9.5
4.5	5.71	13362.1	29.49	19.5	.4	257.	9.8
4.6	5.81	13132.1	30.15	19.9	.4	267.	10.0
4.7	5.91	12909.9	30.80	20.4	.4	277.	10.2
4.8	6.01	12695.1	31.46	20.8	.4	288.	10.3
4.9	6.21	12286.3	32.11	21.2	.4	298.	10.7
5.0	6.31	12091.5	32.77	21.7	.4	309.	10.8
5.1	6.51	11720.1	33.42	22.1	.4	320.	11.2
5.2	6.61	11542.8	34.08	22.5	.4	332.	11.4
5.3	6.71	11370.7	34.74	23.0	.4	343.	11.5
5.4	6.91	11041.6	35.39	23.4	.4	355.	11.9
5.5	7.11	10731.0	36.04	23.8	.4	367.	12.2
5.6	7.21	10582.2	36.70	24.3	.4	380.	12.4
5.7	7.31	10437.4	37.36	24.7	.4	392.	12.6
5.8	7.51	10159.5	38.01	25.1	.4	405.	12.9
5.9	7.61	10026.0	38.67	25.6	.4	418.	13.1
6.0	7.81	9769.2	39.32	26.0	.4	432.	13.4
6.1	7.91	9645.7	39.98	26.4	.4	445.	13.6
6.2	8.11	9407.8	40.63	26.9	.4	459.	13.9
6.3	8.31	9181.4	41.29	27.3	.4	473.	14.3
6.4	8.41	9072.3	41.94	27.7	.4	488.	14.5
6.5	8.61	8861.5	42.60	28.2	.4	503.	14.8
6.6	8.71	8759.8	43.25	28.6	.4	518.	15.0
6.7	8.91	8563.1	43.91	29.0	.4	533.	15.3
6.8	9.01	8468.1	44.56	29.5	.4	548.	15.5
6.9	9.31	8195.2	45.21	29.9	.4	564.	15.9
7.0	9.51	8022.9	45.87	30.3	.4	581.	16.3
7.1	9.61	7939.4	46.52	30.8	.4	597.	16.5
7.2	9.81	7777.5	47.18	31.2	.4	614.	16.8
7.3	10.01	7622.1	47.83	31.6	.4	631.	17.2
7.4	10.11	7546.7	48.49	32.1	.4	648.	17.4

Abb. 59.1 : Data listing - Ettringer 1. Teilprobe

PORE SIZE AND SURFACE AREA DISTRIBUTION

PENETR. [MM]	PRESSURE [BAR]	PORE RADIUS [Å]	CUM.VOL. [MM ³ /G]	CUM.VOL. [%]	REL.VOL. [%]	CUM.AREA [CM ² /G]	AREA DIST. [CM ² /G]
7.5	10.31	7400.4	49.14	32.5	.4	666.	17.7
7.6	10.41	7329.3	49.80	32.9	.4	684.	17.9
7.7	10.51	7191.1	50.45	33.4	.4	702.	18.2
7.8	10.81	7058.1	51.11	33.8	.4	721.	18.5
7.9	11.11	6867.5	51.76	34.2	.4	740.	19.0
8.0	11.21	6806.2	52.42	34.7	.4	759.	19.3
8.1	11.41	6686.9	53.07	35.1	.4	779.	19.6
8.2	11.51	6628.8	53.73	35.5	.4	798.	19.8
8.3	11.81	6460.4	54.38	36.0	.4	819.	20.2
8.4	12.01	6352.8	55.03	36.4	.4	839.	20.6
8.6	12.31	6198.0	56.34	37.3	.9	881.	22.3
8.7	12.51	6098.9	57.00	37.7	.4	903.	21.5
8.8	12.71	6003.0	57.65	38.1	.4	925.	21.8
8.9	13.01	5864.5	58.30	38.6	.4	947.	22.3
9.0	13.31	5732.4	58.96	39.0	.4	970.	22.8
9.1	13.41	5689.6	59.61	39.4	.4	993.	23.1
9.2	13.51	5647.5	60.27	39.9	.4	1016.	23.2
9.3	13.71	5565.1	60.92	40.3	.4	1040.	23.5
9.4	14.01	5445.9	61.58	40.7	.4	1064.	24.0
9.5	14.21	5369.3	62.23	41.2	.4	1088.	24.4
9.6	14.51	5258.3	62.88	41.6	.4	1113.	24.8
9.7	14.61	5222.3	63.54	42.0	.4	1138.	25.1
9.8	14.81	5151.8	64.19	42.5	.4	1163.	25.4
9.9	15.01	5083.1	64.85	42.9	.4	1189.	25.7
10.0	15.31	4983.5	65.50	43.3	.4	1215.	26.2
10.2	15.61	4887.7	66.81	44.2	.9	1269.	53.6
10.3	15.91	4795.6	67.46	44.6	.4	1296.	27.2
10.4	16.31	4678.0	68.11	45.1	.4	1324.	27.8
10.5	16.54	4612.9	68.77	45.5	.4	1352.	28.3
10.6	16.77	4549.7	69.42	45.9	.4	1381.	28.7
10.7	17.00	4488.1	70.08	46.4	.4	1410.	29.1
10.8	17.30	4410.3	70.73	46.8	.4	1440.	29.6
10.9	17.40	4384.9	71.38	47.2	.4	1470.	29.9
11.0	17.60	4335.1	72.04	47.7	.4	1500.	30.2
11.1	17.70	4310.6	72.69	48.1	.4	1530.	30.4
11.2	18.00	4238.8	73.35	48.5	.4	1561.	30.8
11.3	18.40	4146.6	74.00	49.0	.4	1592.	31.4
11.4	18.70	4080.1	74.65	49.4	.4	1624.	32.0
11.5	19.10	3994.6	75.30	49.8	.4	1657.	32.6
11.6	19.20	3973.8	75.96	50.3	.4	1690.	33.0
11.7	19.50	3912.7	76.61	50.7	.4	1723.	33.4
11.8	19.80	3853.4	77.26	51.1	.4	1757.	33.9
11.9	20.10	3795.9	77.92	51.5	.4	1792.	34.4
12.0	20.40	3740.1	78.57	52.0	.4	1827.	34.9
12.2	20.90	3650.6	79.88	52.8	.9	1898.	71.6
12.3	21.20	3598.9	80.53	53.3	.4	1934.	36.3
12.4	21.50	3548.7	81.18	53.7	.4	1971.	36.8
12.5	21.80	3499.9	81.84	54.1	.4	2009.	37.3
12.6	21.90	3483.9	82.49	54.6	.4	2046.	37.6
12.7	22.20	3436.8	83.14	55.0	.4	2084.	38.0
12.8	22.70	3361.1	83.79	55.4	.4	2123.	38.7
13.0	23.30	3274.6	85.10	56.3	.9	2203.	79.7
13.1	23.50	3246.7	85.75	56.7	.4	2243.	40.3
13.2	23.90	3192.4	86.40	57.2	.4	2284.	40.8
13.3	24.30	3139.8	87.06	57.6	.4	2325.	41.5
13.5	24.90	3064.2	88.36	58.5	.9	2410.	85.2
13.7	25.40	3003.8	89.67	59.3	.9	2497.	87.0
13.8	25.90	2945.9	90.32	59.8	.4	2542.	44.1
13.9	26.20	2912.1	90.97	60.2	.4	2586.	44.8
14.0	26.90	2836.3	91.62	60.6	.4	2632.	45.6
14.1	27.40	2784.6	92.27	61.0	.4	2679.	46.7
14.2	27.70	2754.4	92.92	61.5	.4	2726.	47.4
14.3	28.10	2715.2	93.57	61.9	.4	2774.	48.0
14.5	28.80	2649.2	94.88	62.8	.9	2873.	98.5
14.6	29.40	2595.2	95.52	63.2	.4	2922.	50.0
14.7	30.10	2534.8	96.17	63.6	.4	2974.	51.0

Abb. 59.2 : Data listing - Ettringer 1. Teilprobe

PORE SIZE AND SURFACE AREA DISTRIBUTION

PENETR. [MM]	PRESSURE [BAR]	PORE RADIUS [Å]	CUM.VOL. [MM ³ /G]	CUM.VOL. [%]	REL.VOL. [%]	CUM.AREA [CM ² /G]	AREA DIST. [CM ² /G]
14.8	30.70	2485.3	96.82	64.1	.4	3026.	52.2
14.9	30.90	2469.2	97.47	64.5	.4	3079.	53.0
15.1	31.40	2429.9	98.78	65.4	.9	3186.	107.6
15.2	32.00	2384.3	99.43	65.8	.4	3241.	54.4
15.3	32.30	2362.2	100.08	66.2	.4	3296.	55.3
15.4	33.00	2312.0	100.73	66.6	.4	3352.	56.0
15.5	33.80	2257.3	101.37	67.1	.4	3409.	57.2
15.6	33.90	2250.7	102.03	67.5	.4	3467.	58.3
15.7	34.60	2205.1	102.68	67.9	.4	3526.	58.7
15.8	35.30	2161.4	103.32	68.4	.4	3586.	59.8
15.9	35.50	2149.2	103.98	68.8	.4	3647.	60.9
16.0	36.30	2101.9	104.62	69.2	.4	3708.	61.4
16.1	37.10	2056.5	105.27	69.6	.4	3771.	62.8
16.2	37.30	2045.5	105.92	70.1	.4	3835.	64.0
16.3	38.10	2002.6	106.57	70.5	.4	3899.	64.4
16.4	39.10	1951.3	107.21	70.9	.4	3965.	65.8
16.5	40.10	1902.7	107.85	71.4	.4	4033.	67.5
16.7	41.10	1856.4	109.15	72.2	.9	4173.	140.0
16.8	42.00	1816.6	109.80	72.6	.4	4244.	70.9
16.9	42.80	1782.7	110.44	73.1	.4	4316.	72.4
17.0	43.40	1758.0	111.09	73.5	.4	4390.	73.8
17.1	44.10	1730.1	111.74	73.9	.4	4464.	74.8
17.2	45.30	1684.3	112.38	74.3	.4	4540.	75.9
17.3	46.10	1655.0	113.02	74.8	.4	4618.	78.0
17.4	47.30	1613.1	113.66	75.2	.4	4698.	79.3
17.5	48.30	1579.7	114.30	75.6	.4	4779.	81.3
17.6	49.40	1544.5	114.94	76.0	.4	4862.	83.0
17.7	50.60	1507.9	115.58	76.5	.4	4947.	84.8
17.8	51.80	1472.9	116.22	76.9	.4	5034.	86.8
17.9	53.00	1439.6	116.86	77.3	.4	5122.	88.8
18.0	54.20	1407.7	117.50	77.7	.4	5213.	90.8
18.1	55.30	1379.7	118.14	78.2	.4	5306.	92.9
18.2	56.60	1348.0	118.78	78.6	.4	5401.	94.6
18.3	57.89	1318.0	119.42	79.0	.4	5497.	96.8
18.4	59.09	1291.2	120.06	79.4	.4	5596.	99.0
18.5	60.39	1263.4	120.69	79.9	.4	5697.	101.0
18.6	62.49	1221.0	121.32	80.3	.4	5800.	102.5
18.7	63.99	1192.3	121.95	80.7	.4	5906.	106.5
18.8	65.69	1161.5	122.59	81.1	.4	6015.	108.8
18.9	67.49	1130.5	123.22	81.5	.4	6127.	111.5
19.0	69.79	1093.2	123.84	81.9	.4	6241.	113.9
19.1	72.09	1058.4	124.46	82.3	.4	6358.	117.7
19.2	74.29	1027.0	125.09	82.8	.4	6480.	121.6
19.3	77.19	988.4	125.70	83.2	.4	6604.	124.2
19.4	79.49	959.8	126.32	83.6	.4	6734.	129.8
19.5	81.49	936.3	126.95	84.0	.4	6868.	134.0
19.6	84.39	904.1	127.56	84.4	.4	7004.	135.8
19.7	88.09	866.1	128.17	84.8	.4	7143.	139.0
19.8	91.09	837.6	128.78	85.2	.4	7289.	146.2
19.9	94.99	803.2	129.38	85.6	.4	7438.	149.1
20.0	97.29	784.2	130.00	86.0	.4	7597.	158.8
20.1	101.39	752.5	130.60	86.4	.4	7755.	158.3
20.2	106.19	718.5	131.18	86.8	.4	7918.	162.9
20.3	109.59	696.2	131.79	87.2	.4	8092.	174.2
20.4	114.59	665.8	132.37	87.6	.4	8267.	174.9
20.5	118.69	642.8	132.97	88.0	.4	8452.	185.4
20.6	124.29	613.9	133.54	88.3	.4	8639.	186.8
20.7	129.79	587.9	134.11	88.7	.4	8835.	195.6
20.8	134.99	565.2	134.69	89.1	.4	9040.	205.0
20.9	142.89	534.0	135.23	89.5	.4	9242.	201.8
21.0	148.99	512.1	135.80	89.8	.4	9463.	221.0
21.1	156.39	487.9	136.34	90.2	.4	9687.	223.9
21.2	164.59	463.6	136.88	90.6	.4	9917.	230.5
21.3	172.09	443.4	137.42	90.9	.4	10163.	245.8
21.4	182.69	417.6	137.92	91.2	.3	10401.	238.6
21.5	193.89	393.5	138.41	91.6	.3	10650.	248.7

Abb. 59.3 : Data listing - Ettringer 1. Teilprobe

PORE SIZE AND SURFACE AREA DISTRIBUTION

PENETR. [MM]	PRESSURE [BAR]	PORE RADIUS [Å]	CUM.VOL. [MM ³ /G]	CUM.VOL. [%]	REL.VOL. [%]	CUM.AREA [CM ² /G]	AREA DIST. [CM ² /G]
21.6	202.99	375.9	138.93	91.9	.3	10927.	277.1
21.7	214.29	356.0	139.42	92.2	.3	11201.	274.0
21.8	227.49	335.4	139.88	92.5	.3	11475.	273.9
21.9	239.09	319.1	140.36	92.9	.3	11778.	302.9
22.0	251.79	303.0	140.83	93.2	.3	12086.	308.1
22.1	268.19	284.5	141.24	93.4	.3	12375.	289.1
22.2	286.19	266.6	141.63	93.7	.3	12666.	290.5
22.3	304.99	250.2	142.00	93.9	.2	12966.	300.0
22.4	324.59	235.1	142.37	94.2	.2	13275.	309.1
22.5	335.09	227.7	142.87	94.5	.3	13714.	439.0
22.6	345.49	220.8	143.37	94.9	.3	14168.	454.0
22.7	367.09	207.8	143.70	95.1	.2	14488.	320.7
22.8	383.29	199.1	144.11	95.3	.3	14905.	416.2
22.9	403.99	188.9	144.46	95.6	.2	15272.	367.2
23.0	423.69	180.1	144.82	95.8	.2	15674.	401.8
23.1	445.19	171.4	145.16	96.0	.2	16064.	390.7
23.2	452.09	168.8	145.71	96.4	.4	16721.	656.3
23.3	470.49	162.2	146.09	96.7	.3	17191.	470.2
23.4	498.79	153.0	146.33	96.8	.2	17495.	304.3
23.5	527.19	144.7	146.56	97.0	.2	17815.	319.6
23.6	553.69	137.8	146.82	97.1	.2	18192.	377.0
23.7	566.69	134.6	147.28	97.4	.3	18878.	686.7
23.8	580.79	131.4	147.72	97.7	.3	19557.	678.7
23.9	610.19	125.0	147.94	97.9	.1	19903.	345.9
24.0	653.69	116.7	147.95	97.9	.0	19911.	8.1
24.1	680.79	112.1	148.20	98.0	.2	20359.	447.5
24.2	702.79	108.6	148.52	98.3	.2	20962.	682.9
24.3	734.39	103.9	148.71	98.4	.1	21314.	352.8
24.4	774.39	98.5	148.76	98.4	.0	21430.	116.2
24.5	794.89	96.0	149.11	98.7	.2	22159.	728.8
24.6	827.59	92.2	149.28	98.8	.1	22521.	361.7
24.7	870.99	87.6	149.29	98.8	.0	22535.	14.2
24.8	907.69	84.1	149.39	98.8	.1	22789.	254.0
24.9	916.69	83.2	149.92	99.2	.3	24044.	1255.0
25.0	964.59	79.1	149.92	99.2	.0	24044.	.0
25.1	1001.89	76.2	149.95	99.2	.0	24140.	95.8
25.2	1021.19	74.7	150.32	99.5	.2	25124.	984.5
25.3	1054.59	72.3	150.48	99.6	.1	25556.	431.9
25.4	1115.09	68.4	150.48	99.6	.0	25556.	.0
25.5	1134.09	67.3	150.60	99.6	.1	25919.	362.6
25.6	1171.29	65.1	150.70	99.7	.1	26224.	304.7
25.7	1232.29	61.9	150.70	99.7	.0	26224.	.0
25.8	1247.49	61.2	150.87	99.8	.1	26784.	560.7
25.9	1288.78	59.2	150.91	99.8	.0	26912.	128.0
26.0	1346.18	56.7	150.91	99.8	.0	26912.	.0
26.1	1360.28	56.1	151.15	100.0	.2	27775.	862.8
26.2	1426.08	53.5	151.15	100.0	.0	27775.	.0
26.3	1472.98	51.0	151.15	100.0	.0	27775.	.0
26.4	1494.58	51.0	151.15	100.0	.0	27775.	.0
26.5	1567.08	48.7	151.15	100.0	.0	27775.	.0
26.6	1585.38	48.1	151.15	100.0	.0	27775.	.0
26.7	1652.68	46.2	151.15	100.0	.0	27775.	.0
26.8	1696.98	45.0	151.15	100.0	.0	27775.	.0
26.9	1765.48	43.2	151.15	100.0	.0	27775.	.0
27.0	1808.88	42.2	151.15	100.0	.0	27775.	.0
27.1	1854.48	41.1	151.15	100.0	.0	27775.	.0
27.2	1921.88	39.7	151.15	100.0	.0	27775.	.0
27.3	1965.48	38.8	151.15	100.0	.0	27775.	.0

Abb. 59.4 : Data listing - Ettringer 1. Teilprobe

Gestein	Teilprobe	relative Porenradienverteilung (%)						\sum^{1*}
		$x \leq 0,01 \mu\text{m}$	$x = 0,01-0,1 \mu\text{m}$	$x = 0,1-1 \mu\text{m}$	$x = 1-10 \mu\text{m}$	$x \geq 10 \mu\text{m}$		
Etringer	1	1	16	57	25	0	99	
	2	2	19	52	25	1	99	
Hasenstoppel	1	1	12	52	32	1	98	
	2	2	12	55	30	1	100	
Weiberner I	1	2	5	41	50	0	98	
	2	3	5	46	47	0	101	
Weiberner II	1	3	5	38	54	0	100	
	2	1	5	39	55	0	100	
Riedener I	1	2	5	52	40	1	100	
	2	2	5	39	53	3	102	
Riedener II	1	2	11	40	45	3	101	
	2	3	12	42	44	2	103	
Römer I	1	0	6	22	67	5	100	
	2	0	6	23	66	4	99	
Römer II	1	1	7	30	60	3	101	
	2	0	5	16	78	3	102	

Abb. 60.1: Relative Porenradienverteilung - Quecksilberporosimetrie
 (* Summenabweichungen durch Rundungen bedingt)

Gestein	Teilprobe	absolute Porenradienverteilung (Vol.-%)							\sum *
		$r \leq 0,01 \mu\text{m}$	$r = 0,01-0,1 \mu\text{m}$	$r = 0,1-1 \mu\text{m}$	$r = 1-10 \mu\text{m}$	$r \geq 10 \mu\text{m}$			
Ettringer	1	0.3	4.0	14.6	6.4	0.1	25.4		
	2	0.7	5.4	14.6	7.3	0.2	28.2		
Häsenstoppel	1	0.5	3.6	15.5	9.4	0.4	29.4		
	2	0.5	3.7	17.0	9.3	0.3	30.8		
Welberner I	1	0.7	2.2	17.3	20.7	0.2	41.1		
	2	1.0	2.3	20.0	20.7	0.2	44.2		
Welberner II	1	1.1	2.2	15.7	22.6	0.3	41.9		
	2	0.7	2.1	15.7	23.4	0.2	42.5		
Riedener I	1	0.7	2.0	18.8	15.9	0.5	37.9		
	2	0.7	2.1	15.7	20.8	0.9	40.2		
Riedener II	1	0.8	4.1	15.0	16.7	0.7	37.3		
	2	0.9	4.0	14.3	15.1	0.4	34.7		
Römer I	1	0	2.5	8.7	26.7	1.8	39.7		
	2	0	2.4	9.5	26.3	1.6	39.8		
Römer II	1	0.2	2.8	11.6	23.6	1.2	39.4		
	2	0	2.1	6.9	36.3	1.4	46.7		

Abb. 60.2: Absolute Porenradienverteilung - Quecksilberporosimetrie
 (* Summenabweichungen durch Rundungen bedingt)

Gestein	Teilprobe	relative Porenradienverteilung (%)						Σ *
		$r \leq 0,01 \mu\text{m}$	$r = 0,01-0,1 \mu\text{m}$	$r = 0,1-1 \mu\text{m}$	$r = 1-10 \mu\text{m}$	$r \geq 10 \mu\text{m}$		
Ettringer	1	33	11	38	17	0	99	
	2	28	14	38	18	1	99	
Hasenstoppel	1	27	9	38	23	1	98	
	2	25	9	42	23	1	100	
Welberner I	1	11	5	37	45	0	98	
	2	7	5	44	45	0	101	
Welberner II	1	16	4	33	47	0	100	
	2	14	4	34	48	0	100	
Riedener I	1	11	5	47	36	1	100	
	2	7	5	37	50	3	102	
Riedener II	1	7	10	38	43	3	101	
	2	14	11	37	39	2	103	
Römer I	1	17	5	18	56	4	100	
	2	16	5	19	56	3	99	
Römer II	1	28	5	22	44	2	101	
	2	14	4	14	67	3	102	

Abb. 60.3: Relative Porenradienverteilung - Quecksilberporosimetrie und Vergleichsverfahren
 (* Summenabweichungen durch Rundungen bedingt)

Gestein	Teilprobe	absolute Porenradienverteilung (Vol.-%)							Σ^*
		$r \leq 0,01 \mu\text{m}$	$r = 0,01-0,1 \mu\text{m}$	$r = 0,1-1 \mu\text{m}$	$r = 1-10 \mu\text{m}$	$r \geq 10 \mu\text{m}$			
Ettringer	1	13.4	4.0	14.6	6.4	0.1	38.5		
	2	11.0	5.4	14.6	7.3	0.2			
Hasenstoppel	1	11.7	3.6	15.5	9.4	0.4	40.6		
	2	10.3	3.7	17.0	9.3	0.3			
Weiberner I	1	5.7	2.2	17.3	20.7	0.2	46.1		
	2	2.9	2.3	20.0	20.7	0.2			
Weiberner II	1	7.0	2.2	15.7	22.6	0.3	47.8		
	2	6.0	2.1	16.1	23.4	0.2			
Riedener I	1	5.7	2.0	18.8	15.9	0.5	42.9		
	2	3.4	2.1	15.7	20.8	0.9			
Riedener II	1	2.8	4.1	15.0	16.7	0.7	39.3		
	2	5.4	4.0	14.3	15.1	0.4			
Römer I	1	7.6	2.5	8.7	26.7	1.8	47.3		
	2	7.5	2.4	9.5	26.3	1.6			
Römer II	1	14.9	2.8	11.6	23.6	1.2	54.1		
	2	7.4	2.1	6.9	36.3	1.4			

Abb. 60.4: Absolute Porenradienverteilung - Quecksilberporosimetrie und Vergleichsverfahren
 (* Summenabweichungen durch Rundungen bedingt)

3.5 Bestimmung der Inneren Oberfläche

Da sich die Verwitterungsvorgänge und Veränderungen an der gesamten wirksamen Oberfläche eines Gesteins abspielen, stellt neben der äußeren Oberfläche die innere Oberfläche einen wichtigen Kennwert dar. Die innere Oberfläche des untersuchten Probenmaterials wurde

1. rechnerisch aus den Werten der Quecksilberporosimetrie und
2. experimentell mit Hilfe des BET-Verfahrens

ermittelt. Die Bestimmung der inneren Oberfläche aus den Werten der Quecksilberporosimetrie wurde unter Anwendung eines Zylinderporenmodells durchgeführt. In die Rechnung gingen hierbei die Kennwerte Gesamtporosität und Porenradienverteilung ein. Mit dem Verfahren der Tieftemperatur-Stickstoff-Adsorption nach BRUNAUER, EMMETT und TELLER (BET-Verfahren) wurden von jeder Probenart zwei Teilproben untersucht. Die mit beiden Verfahren bestimmten Gesamtwerte der inneren Oberfläche sind in Abb. 61 dargestellt. Man muß jedoch hierbei beachten, daß die rechnerisch bestimmten inneren Oberflächen den quecksilberporosimetrisch erfaßten Porenradienbereich zur Berechnungsgrundlage haben und deswegen andere Größen annehmen.

Gestein	Innere Oberfläche			
	$\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$		$\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	
	Quecksilberporosimetrie		Stickstoff-Adsorptions-Verfahren	
	1. Teilprobe	2. Teilprobe	Teilprobe A	Teilprobe B
Ettringer	2,78	4,41	25,86	26,71
Hasenstoppel	3,14	3,18	40,52	35,53
Weiberner I	3,65	4,65	14,58	14,86
Weiberner II	4,41	3,38	12,19	12,26
Riedener I	3,24	3,19	10,48	11,35
Riedener II	4,25	4,06	9,60	11,19
Römer I	1,83	1,76	8,55	9,70
Römer II	2,31	1,64	6,78	8,27

Abb. 61: Innere Oberfläche

3.6 REM-Analyse

Die Raster-Elektronenmikroskopie-Technik (REM) erlaubt es, die Morphologie der Probenoberfläche genau zu erfassen, sowie strukturelle und textuelle Merkmale zu bestimmen. Von jeder Gesteinsart wurden mehrere Teilproben untersucht. Zur optischen Charakterisierung des Gesteins wurden mehrere Reihen von Oberflächenaufnahmen mit Hilfe der REM-Analyse erstellt. Dabei wurden Vergrößerungen zwischen 20-fach und 5000-fach gewählt. Für jeden Gesteinstyp wurden vier Bild-Tafeln zusammengestellt, die folgende Gesteinsbereiche kennzeichnen:

1. Grundmassebereich eines bruchrauen Probenkörpers
2. Grundmassebereich eines angeschliffenen Probenkörpers
3. Bimsbereich
4. Detailaufnahmen

Alle Tuffe zeigen bei der REM-Analyse deutliche Gehalte an Glassubstanz, die maßgeblicher Bestandteil der Grundmasse ist. Bei den Einzelbeschreibungen wird darauf nicht eingegangen, da eine genauere Identifizierung der vorhandenen Glassubstanz nur schwer möglich ist.

3.6.1 Ettringer Tuff

Einzelaggregate, die am Aufbau der Grundmasse beteiligt sind, stellen hauptsächlich Zeolithe dar. Überwiegend konnten Phillipsitkristalle mit z.T. charakteristischer Zwillingsbildung identifiziert werden, die auch in den Bimseinsprenglingen nachweisbar sind und dort teilweise die blasigen Hohlräume ausfüllen bzw. durchsetzen. Die Grundmasse weist häufig verschieden große Risse auf, die wahrscheinlich bei der Probenkörperanfertigung für die REM-Analyse entstanden sind. Als Ursache kann hierbei die mechanische Beanspruchung bei der Dimensionierung der Probenkörper oder ihre versuchsbedingte Lagerung im Trockenschrank bei 105 °C angesehen werden. Große, in die Grundmasse eingelagerte Leucitoeder sind feststellbar. Oberflächenaufnahmen des Ettringer sind auf Taf. 20-23 dargestellt.

3.6.2 Hasenstoppel Tuff

Die beim Hasenstoppel festgestellten Merkmale entsprechen weitgehend denen des Ettringer. Oberflächenaufnahmen des Hasenstoppel sind auf Taf. 24-27 dargestellt.

3.6.3 Weiberner Tuff

Einzelaggregate, die am Aufbau der Grundmasse beteiligt sind, stellen hauptsächlich Zeolithe dar. Überwiegend konnten Analcimkristalle identifiziert werden. In den blasigen Hohlräumen der Bimseinsprenglinge sind Zeolith-Aggregate mit auffälligen strukturellen Merkmalen feststellbar, wobei kettenförmige Gebilde dem Analcim zugeordnet werden können. Größere, in die Grundmasse eingelagerte Leucitoeder sind feststellbar. Oberflächenaufnahmen des Weiberner I sind auf Taf. 28-31 dargestellt.

3.6.4 Weiberner Tuff II

Die beim Weiberner II festgestellten Merkmale entsprechen weitgehend denen des Weiberner I. Oberflächenaufnahmen des Weiberner II sind auf Taf. 32-35 dargestellt.

3.6.5 Riedener Tuff I

Einzelaggregate, die am Aufbau der Grundmasse beteiligt sind, stellen hauptsächlich Zeolithe dar. Überwiegend konnten Analcimkristalle identifiziert werden. In den blasigen Hohlräumen der Bimseinsprenglinge

sind die gleichen Zeolith-Aggregate wie bei den Weiberner Proben feststellbar, jedoch häufig mit Mineralaufwachsungen. Dadurch werden die kettenförmigen Gebilde mehr zu rundlichen Aggregaten umgestaltet. Größere, in die Grundmasse eingelagerte Leucitoeder sind feststellbar. Oberflächenaufnahmen des Riedener I sind auf Taf. 36-39 dargestellt.

3.6.6 Riedener Tuff II

Einzelaggregate, die am Aufbau der Grundmasse beteiligt sind, stellen hauptsächlich Zeolithe dar. Hierbei handelt es sich überwiegend um Analcim, Chabasit und Phillipsit. Diese Zeolithe konnten auch in den blasigen Hohlräumen der Bimseinsprenglinge nachgewiesen werden. Größere, in die Grundmasse eingelagerte Leucitoeder sind feststellbar. Oberflächenaufnahmen des Riedener II sind auf Taf. 40-43 dargestellt.

3.6.7 Römer Tuff I

Einzelaggregate, die am Aufbau der Grundmasse beteiligt sind, stellen hauptsächlich Zeolithe dar. Zwar ist Glassubstanz mit blasigen Hohlräumen feststellbar, jedoch typische Bimseinsprenglinge sind nicht zu erkennen. Vielmehr lassen sich Bereiche in der Grundmasse beobachten, die durch eine Anhäufung von rundlichen Zeolith-Komplexen gekennzeichnet sind. Diese rundlichen Gebilde sind aus verschiedenen Zeolith-Aggregaten zusammengesetzt und stellen vermutlich umgebildete Bimseinsprenglinge dar, deren ursprüngliche Glassubstanz fast vollständig zeolithisiert wurde. Größere, in die Grundmasse eingelagerte Leucitoeder sind nicht zu beobachten. Oberflächenaufnahmen des Römer I sind auf Taf. 44-47 dargestellt.

3.6.8 Römer Tuff II

Einzelaggregate, die am Aufbau der Grundmasse beteiligt sind, stellen hauptsächlich Zeolithe dar. Die Bimseinsprenglinge weisen in der Regel nur zerspratzte Glassubstanz auf und zeigen kaum bzw. keine Zeolith-Aggregate in ihren blasigen Hohlräumen und lassen sich deutlich von der Grundmasse abgrenzen. Umgebildete Bimseinsprenglinge sind dagegen von Zeolithen durchsetzt, die häufig nadelig-strahlig ausgebildet sind. Größere, in die Grundmasse eingelagerte Leucitoeder sind nicht zu beobachten. Oberflächen-aufnahmen des Römer II sind auf Taf. 48-51 dargestellt.

REM-Analyse: Ettringer Tuff

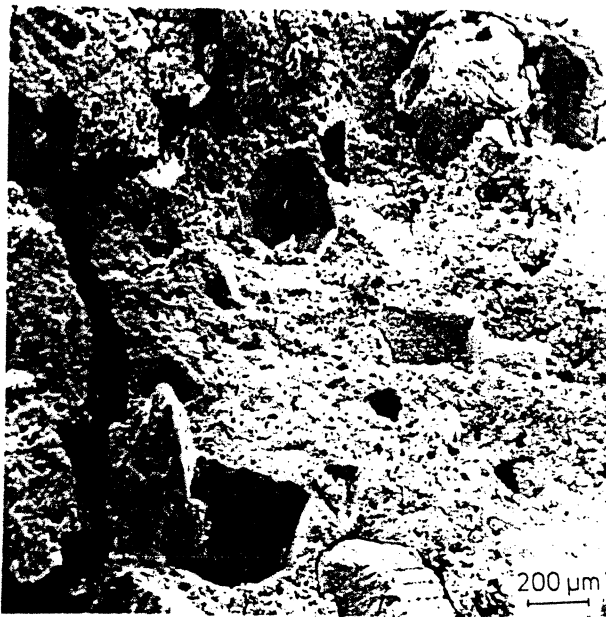


Fig. 1: Vergr. 50-fach

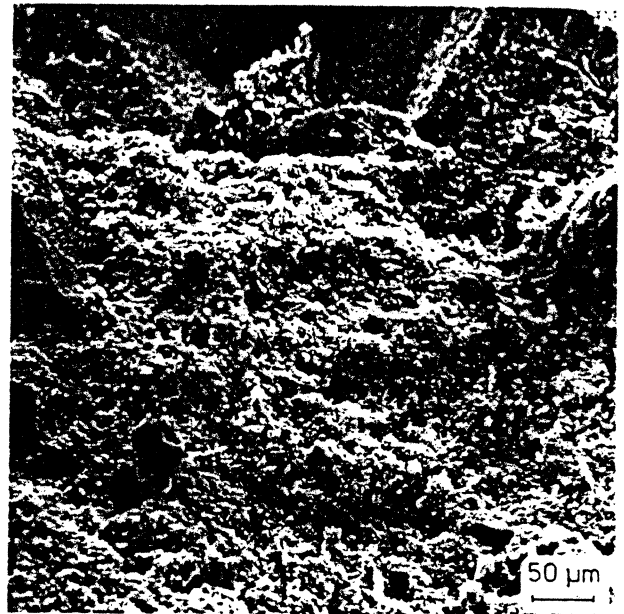


Fig. 2: Vergr. 200-fach

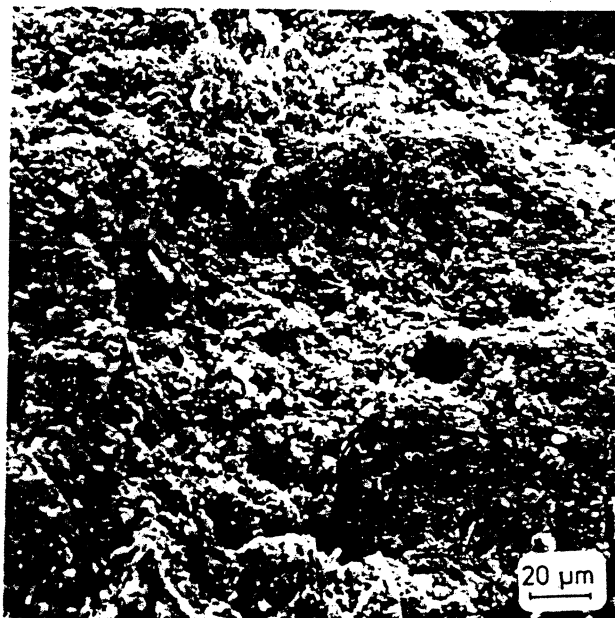


Fig. 3: Vergr. 500-fach

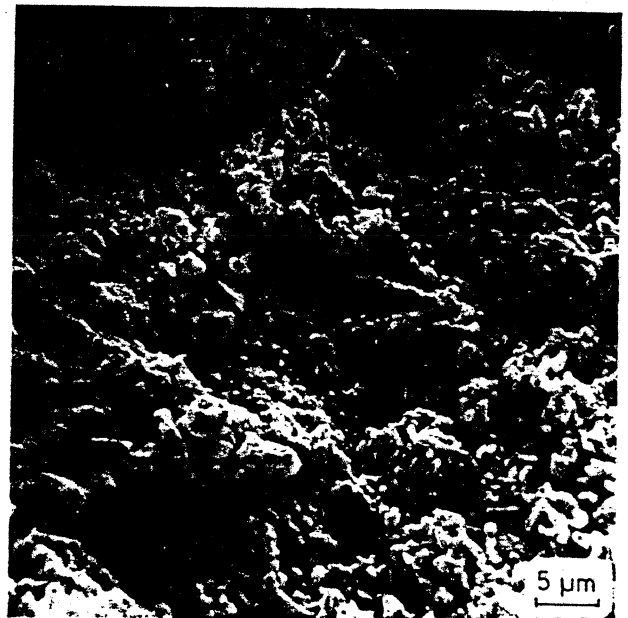


Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen typischen Ausschnitt aus dem Bereich der Grundmasse (bruch-
rauh). Strukturelles Merkmal sind Mineralabdrücke von vermutlich bei
der Probenanfertigung herausgelösten Leucitoedern. Die Grundmasse läßt
sich im Teilbereich erst bei hohen Vergrößerungen in Einzelaggregate
auflösen. Es ist keine texturale Einregelung zu erkennen. Ein deut-
licher Porenraum ist feststellbar. Weiterhin sind Risse zu beobachten,
die die Grundmasse durchziehen. Dieses Erscheinungsbild kann durch
die Probenanfertigung entstanden sein, ist jedoch charakteristisch
für den Ettringer und weist auf besondere Eigenschaften seiner Grund-
masse bzw. seiner Komponenten hin.

REM-Analyse: Ettringer Tuff

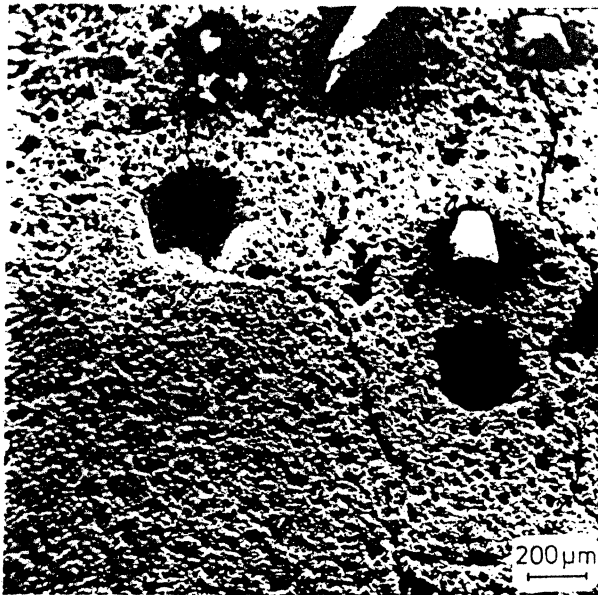


Fig. 1: Vergr. 50-fach

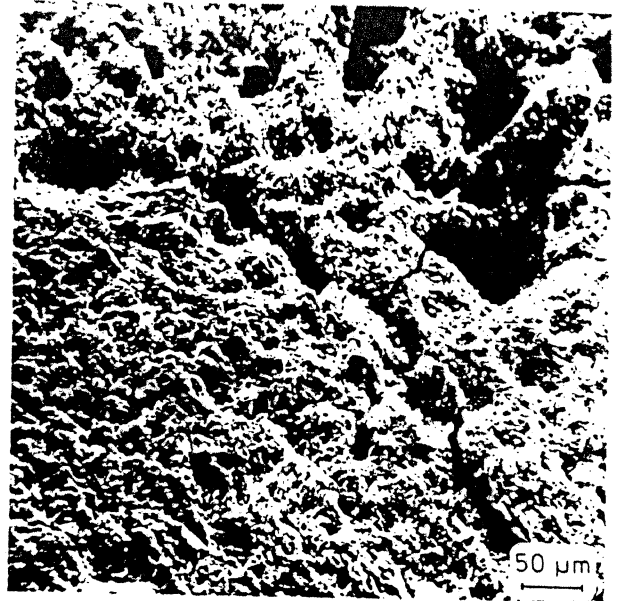


Fig. 2: Vergr. 200-fach

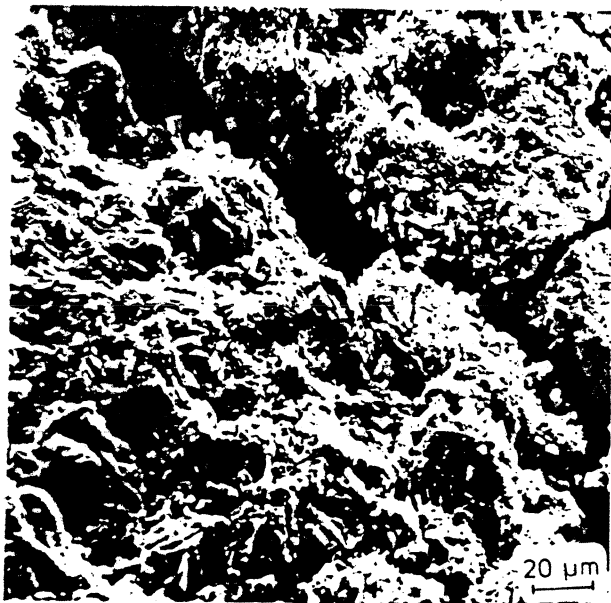


Fig. 3: Vergr. 500-fach

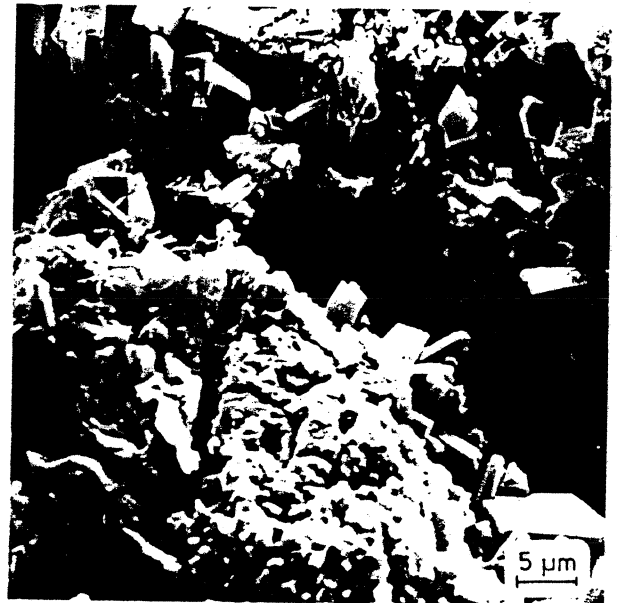


Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen typischen Ausschnitt aus dem Bereich der Grundmasse (angeschliffen). Mineralabdrücke von vermutlich bei der Probenanfertigung herausgelösten Leucitoedern stellen ein strukturelles Merkmal dar. Die Grundmasse läßt sich im Teilbereich erst bei hohen Vergrößerungen in Einzelaggregate auflösen. Erkennbare stengelige Aggregate sind Zeolithen (wahrscheinlich überwiegend Phillipsit) zuzuordnen. Es ist keine textuelle Einregelung zu erkennen. Ein deutlicher Porenraum ist feststellbar. Weiterhin sind Risse zu beobachten, die die Grundmasse durchziehen. Dieses Erscheinungsbild kann durch die Probenanfertigung entstanden sein, ist jedoch charakteristisch für den Ettringer und weist auf besondere Eigenschaften seiner Grundmasse bzw. seiner Komponenten hin.

REM-Analyse: Ettringer Tuff

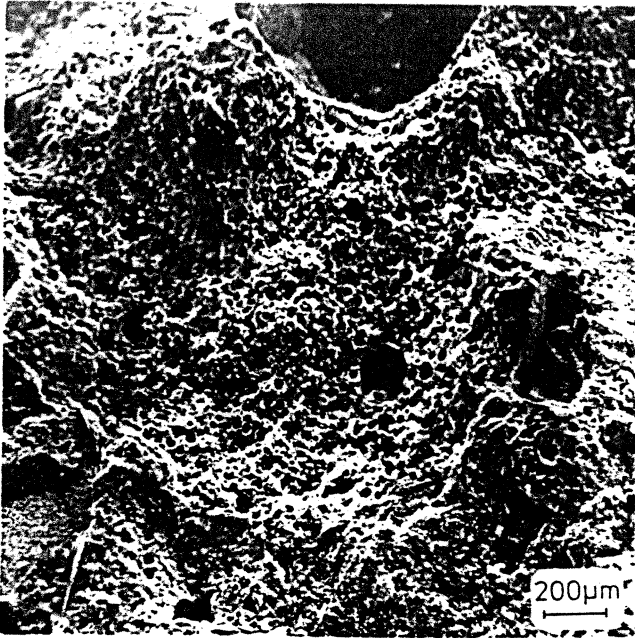


Fig. 1: Vergr. 50-fach

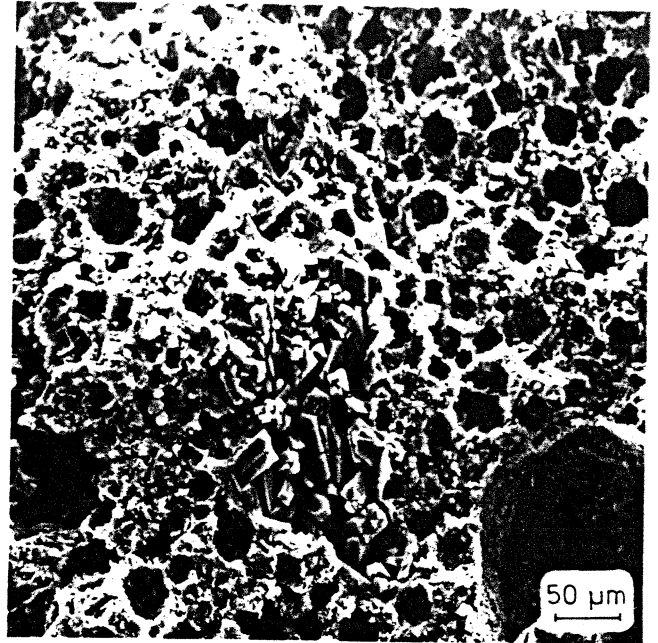


Fig. 2: Vergr. 200-fach

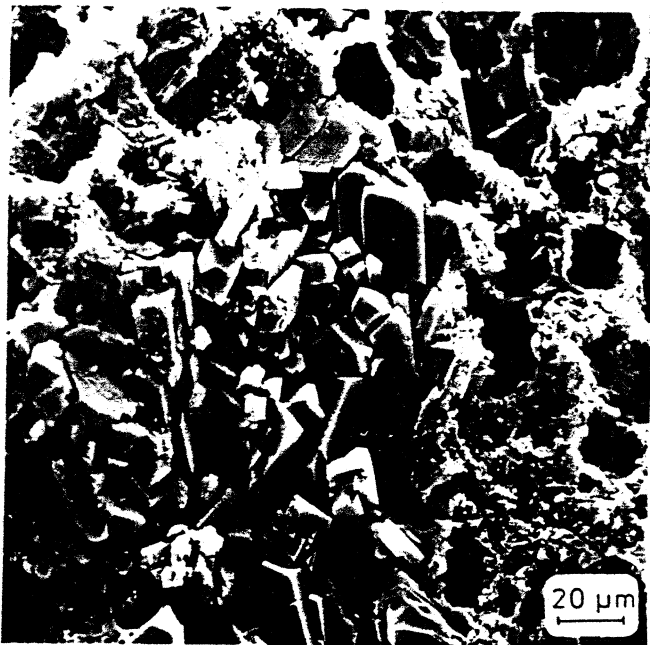


Fig. 3: Vergr. 500-fach



Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen Bereich in der Grundmasse, der glasig schaumig ausgebildet ist. Es sind blasige Hohlräume zu erkennen, die hauptsächlich von stengeligen Aggregaten (wahrscheinlich Phillipsit) durchsetzt sind. Auffallend ist jedoch, daß diese Aggregate deutlich größere Formen aufweisen als die der Grundmasse. Diese strukturellen Merkmale sind als typisch für einen Bimseinsprengling des Ettringer anzusehen.

REM-Analyse: Ettringer Tuff

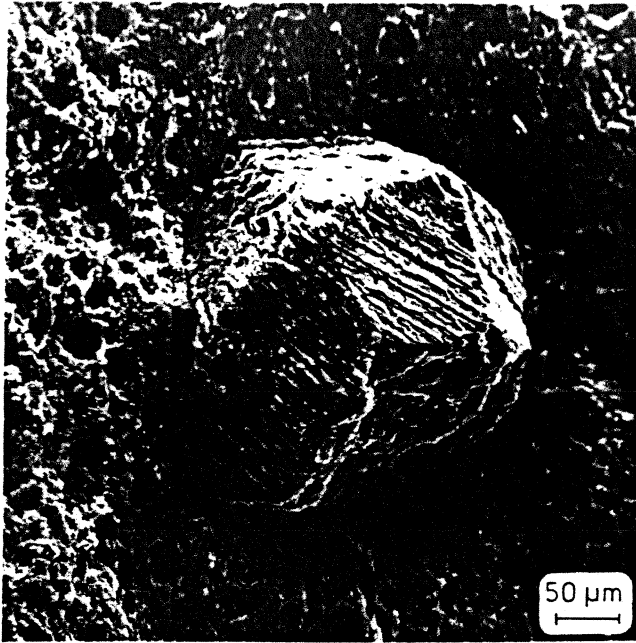


Fig. 1: Vergr. 200-fach

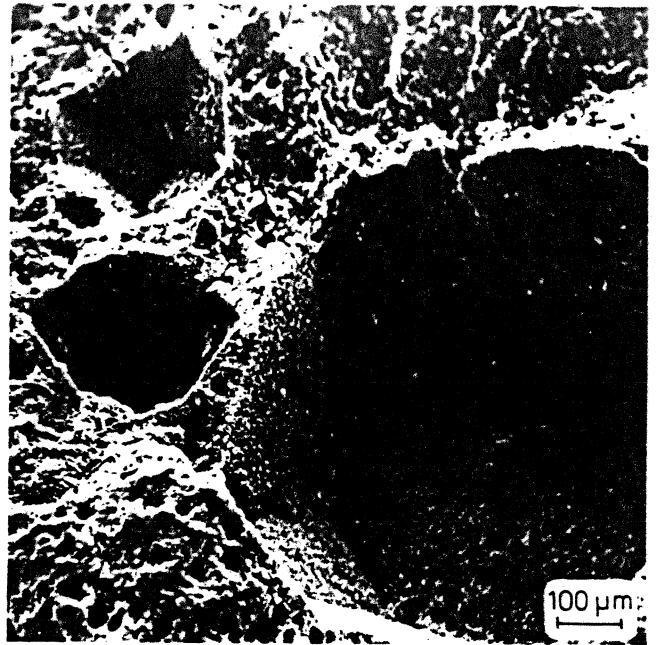


Fig. 2: Vergr. 100-fach

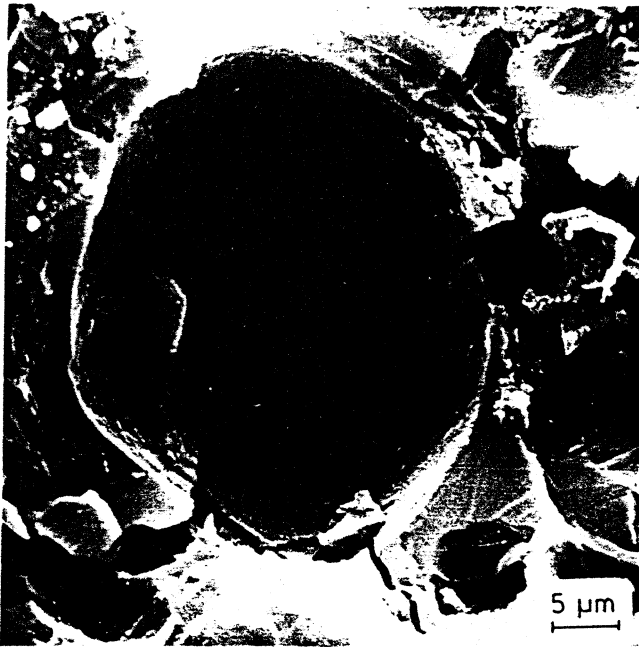


Fig. 3: Vergr. 2000-fach

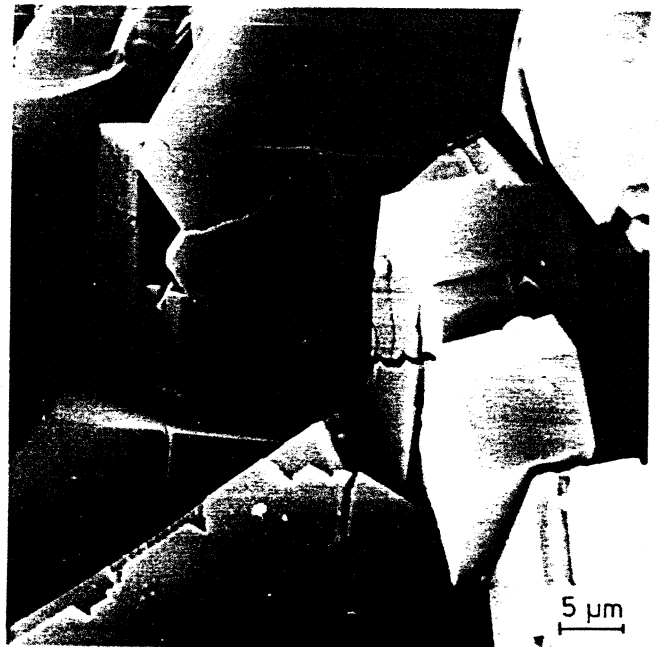


Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1 zeigt einen in die Grundmasse eingelagerten Einsprengling (Leucitoeder).

Fig. 2 zeigt Mineralabdrücke von Leucitoedern, die von Rissen durchzogen sind.

Fig. 3 zeigt einen blasigen Hohlraum (Glas) im Bereich eines Bimseinsprenglings, der von Rissen durchzogen ist.

Fig. 4 zeigt Aggregate (überwiegend Phillipsit) innerhalb eines Bimseinsprenglings, die von Rissen durchzogen sind.

REM-Analyse: Hasenstoppel Tuff

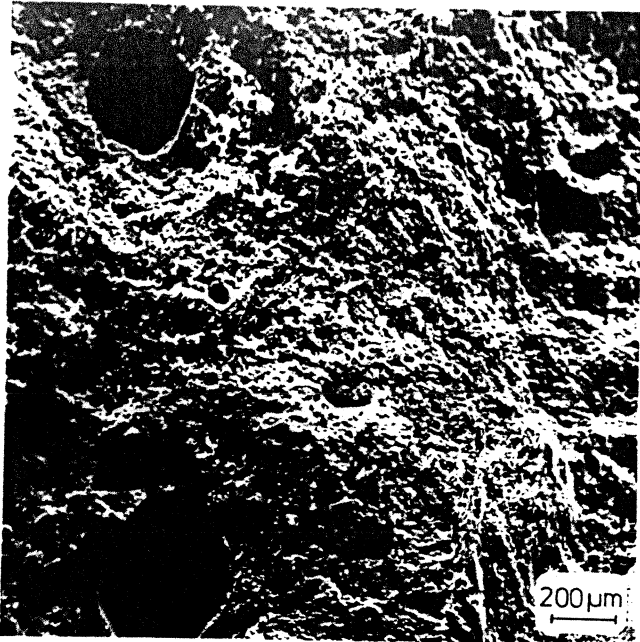


Fig. 1: Vergr. 50-fach

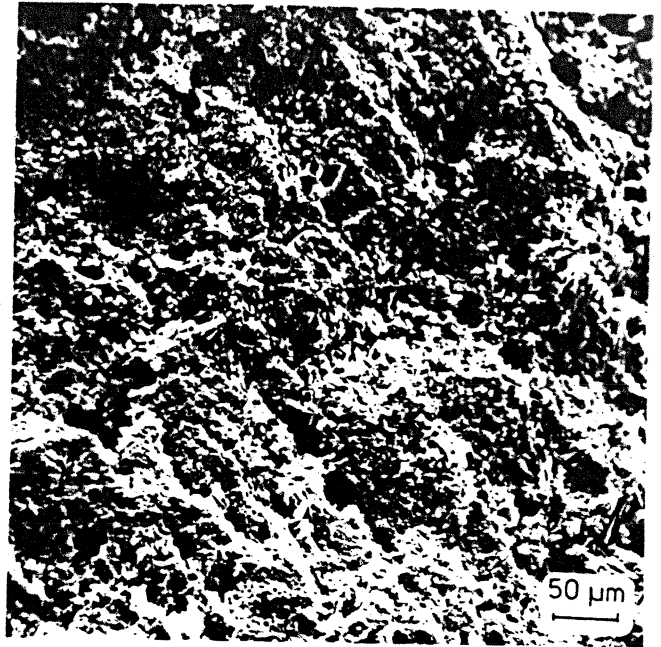


Fig. 2: Vergr. 200-fach

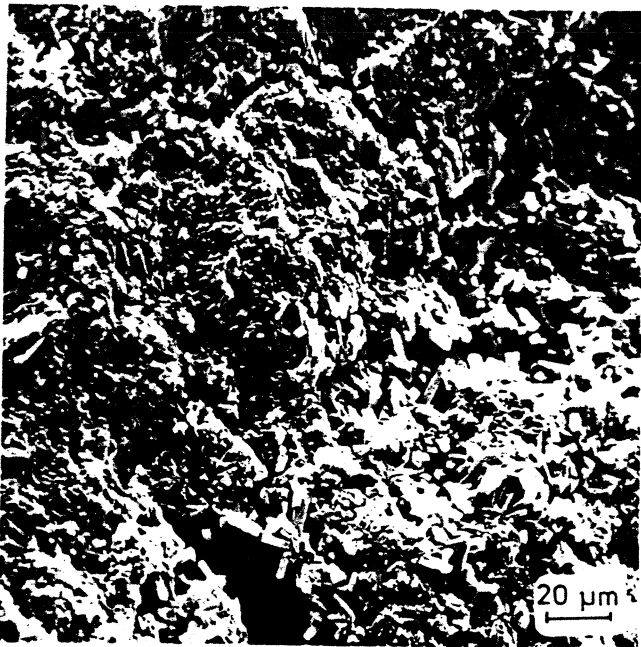


Fig. 3: Vergr. 500-fach



Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen typischen Ausschnitt aus dem Bereich der Grundmasse (bruchrauh). Mineralabdrücke von vermutlich bei der Probenanfertigung herausgelösten Leucitoedern stellen ein strukturelles Merkmal dar. Die Grundmasse läßt sich im Teilbereich erst bei hohen Vergrößerungen in Einzelaggregate auflösen. Erkennbare stengelige Aggregate sind Zeolithen (wahrscheinlich überwiegend Phillipsit) zuzordnen. Es ist keine textuelle Einregelung zu erkennen. Ein deutlicher Porenraum ist feststellbar. Weiterhin sind Risse zu beobachten, die die Grundmasse durchziehen. Dieses Erscheinungsbild kann durch die Probenanfertigung entstanden sein, ist jedoch charakteristisch für den Hasenstoppel und weist auf besondere Eigenschaften seiner Grundmasse bzw. seiner Komponenten hin.

REM-Analyse: Hasenstoppel Tuff

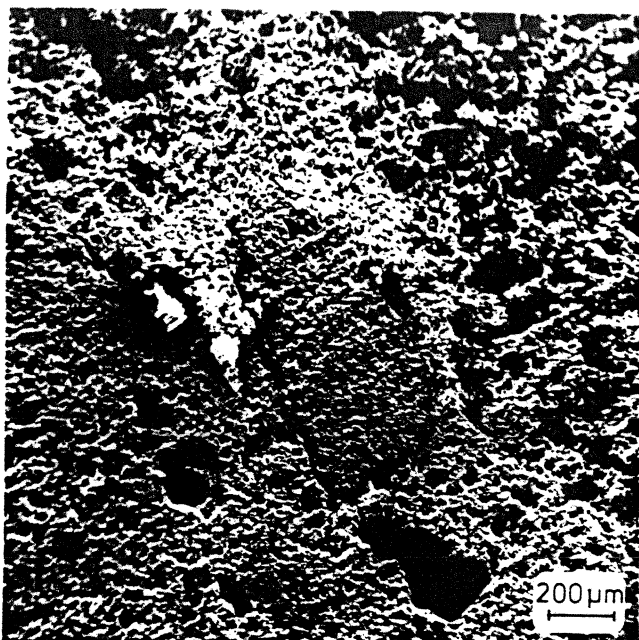


Fig. 1: Vergr. 50-fach

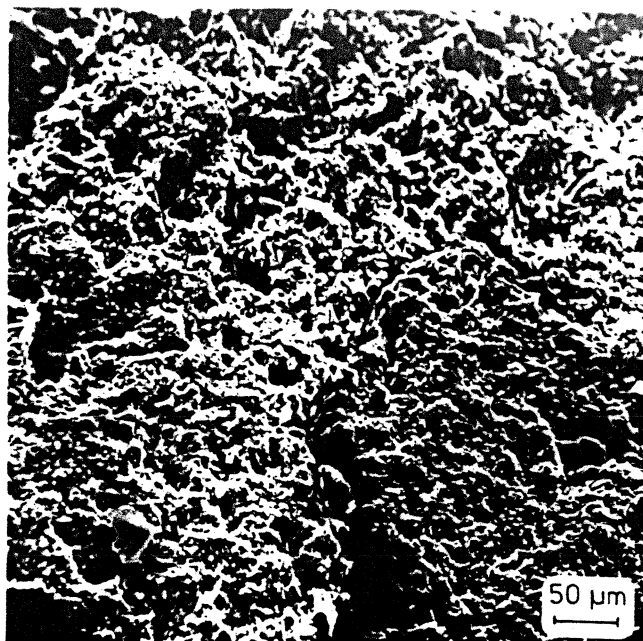


Fig. 2: Vergr. 200-fach

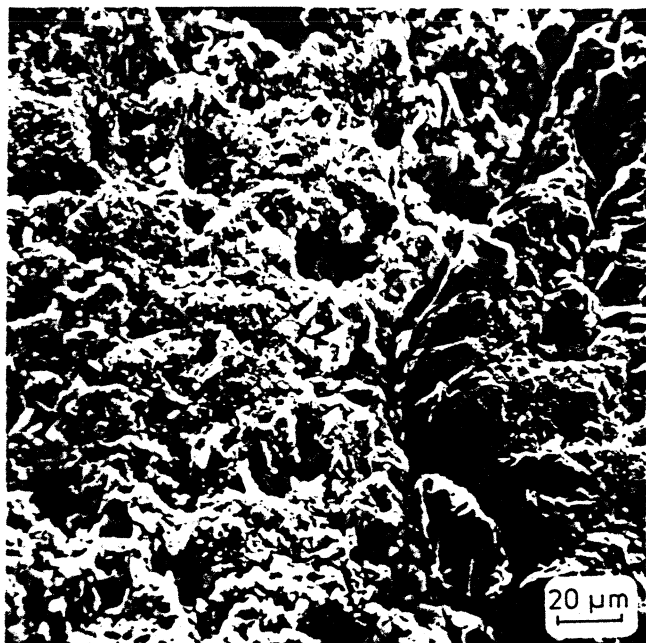


Fig. 3: Vergr. 500-fach

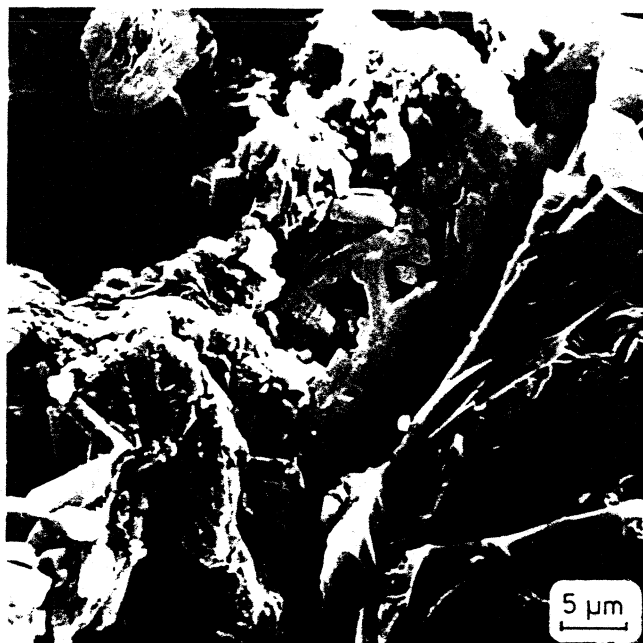


Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen typischen Ausschnitt aus dem Bereich der Grundmasse (angeschliffen). Die Grundmasse läßt sich im Teilbereich erst bei hohen Vergrößerungen in Einzelaggregate auflösen. Erkennbare stengelartige Aggregate sind Zeolithen (wahrscheinlich überwiegend Philippisit) zuzuordnen. Es ist keine texturale Einregelung zu erkennen. Ein deutlicher Porenraum ist feststellbar.

REM-Analyse: Hasenstoppel Tuff

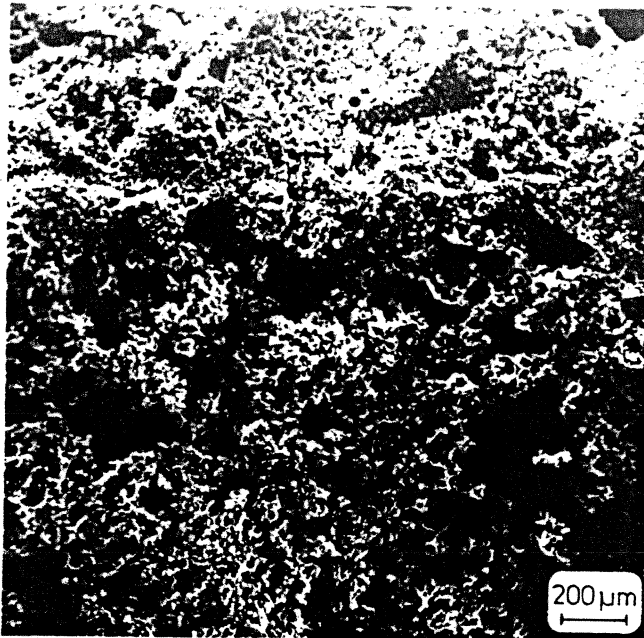


Fig. 1: Vergr. 50-fach

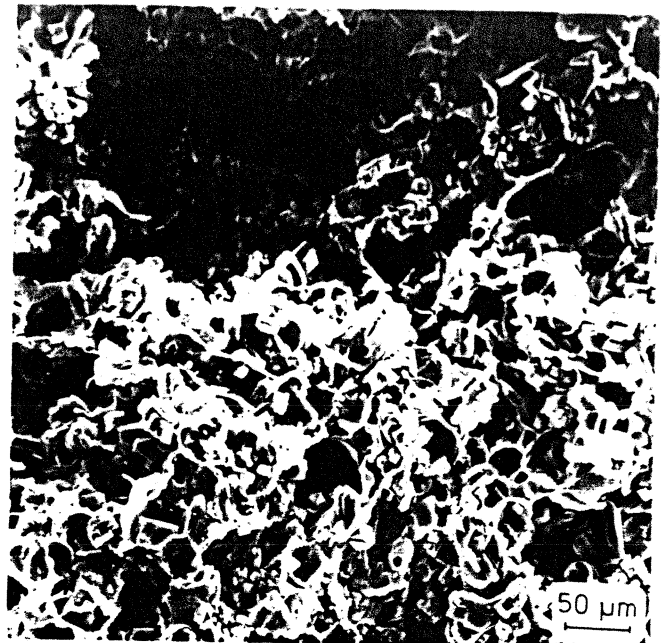


Fig. 2: Vergr. 200-fach

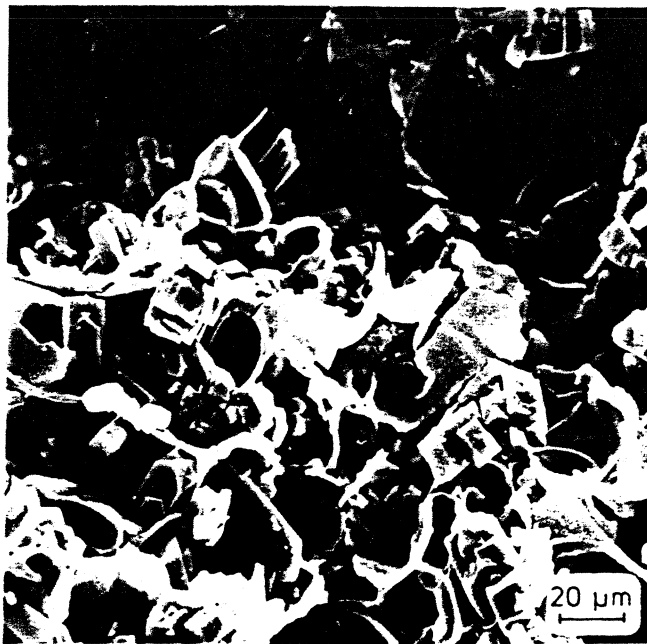


Fig. 3: Vergr. 500-fach

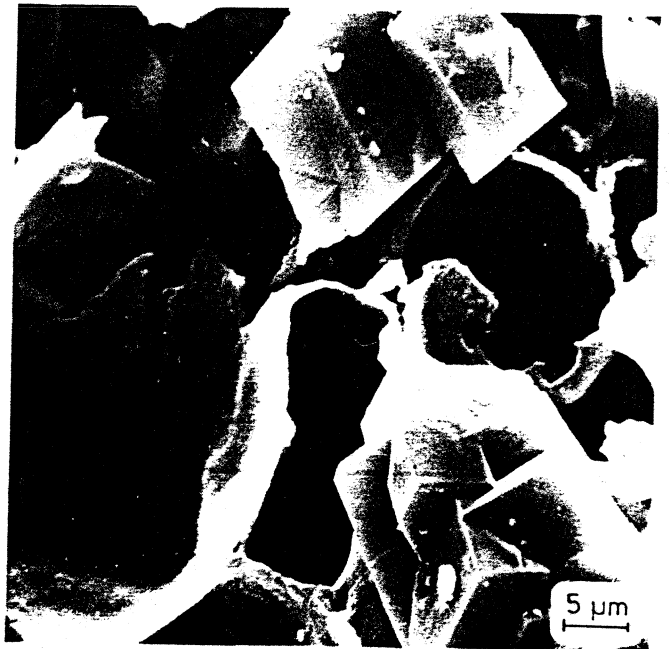


Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen Bereich in der Grundmasse, der glasig schaumig ausgebildet ist. Es sind blasige Hohlräume zu erkennen, die hauptsächlich von stengeligen Aggregaten (wahrscheinlich Phillipsit) durchsetzt sind. Auffallend ist jedoch, daß diese Aggregate deutlich größere Formen aufweisen als die in der Grundmasse. Diese strukturellen Merkmale sind als typisch für einen Bimseinsprengling des Hasenstoppel anzusehen.

REM-Analyse: Hasenstoppel Tuff

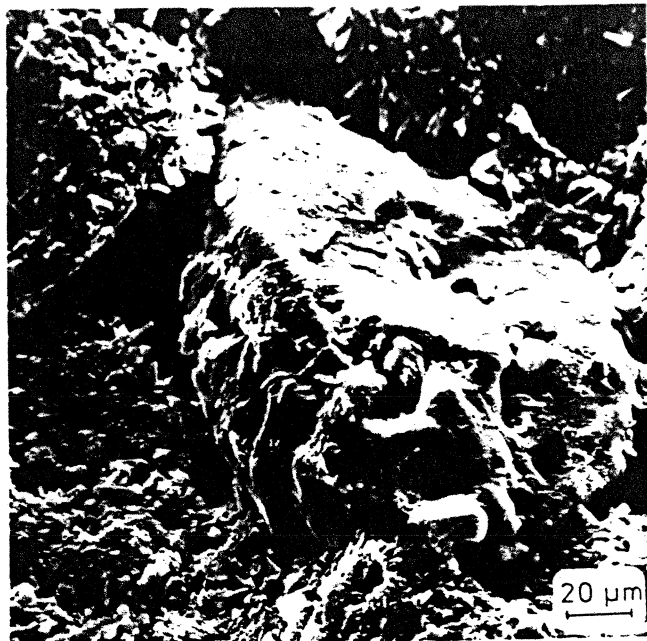


Fig. 1: Vergr. 500-fach

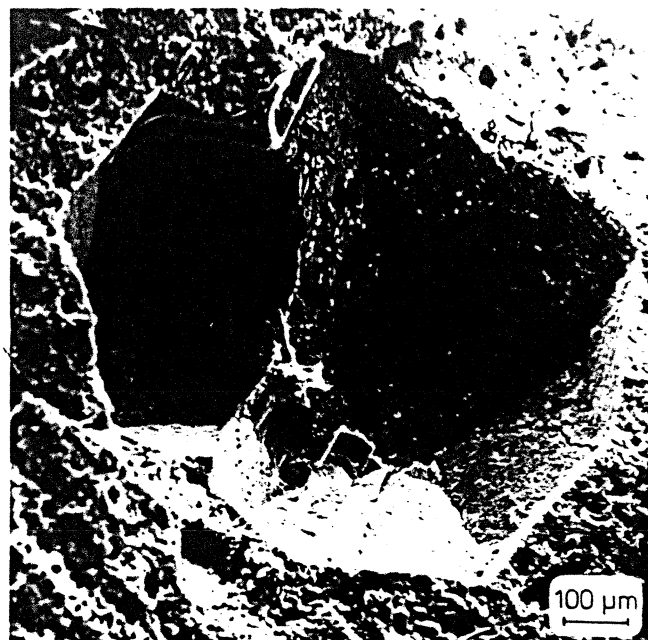


Fig. 2: Vergr. 100-fach



Fig. 3: Vergr. 2000-fach



Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1 zeigt einen in die Grundmasse eingelagerten Einsprengling.

Fig. 2 zeigt Mineralabdrücke von Leucitoedern, die von Rissen durchzogen sind.

Fig. 3 zeigt einen Ausschnitt aus der Grundmasse, der von Rissen durchzogen ist.

Fig. 4 zeigt Aggregate (Phillipsit) innerhalb eines Bimseinsprenglinges.

REM-Analyse: Weiberner Tuff I

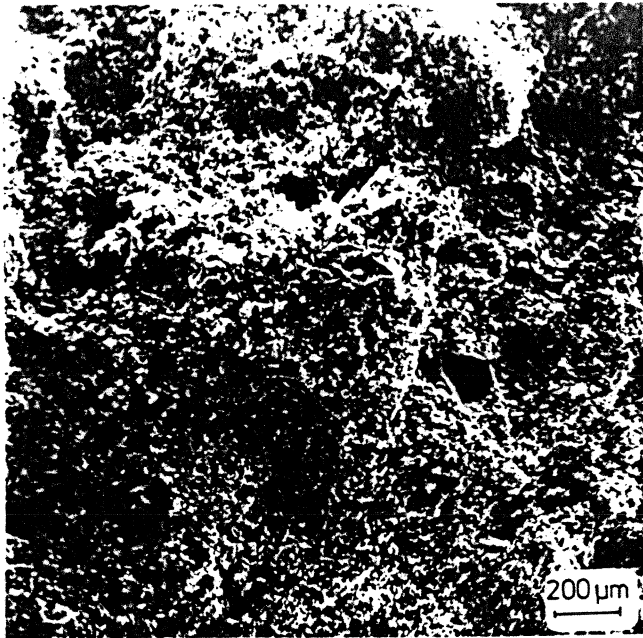


Fig. 1: Vergr. 50-fach

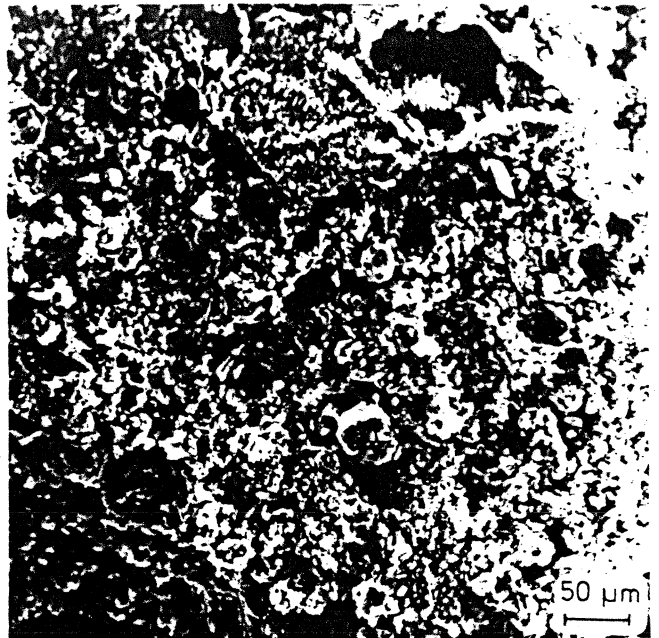


Fig. 2: Vergr. 200-fach

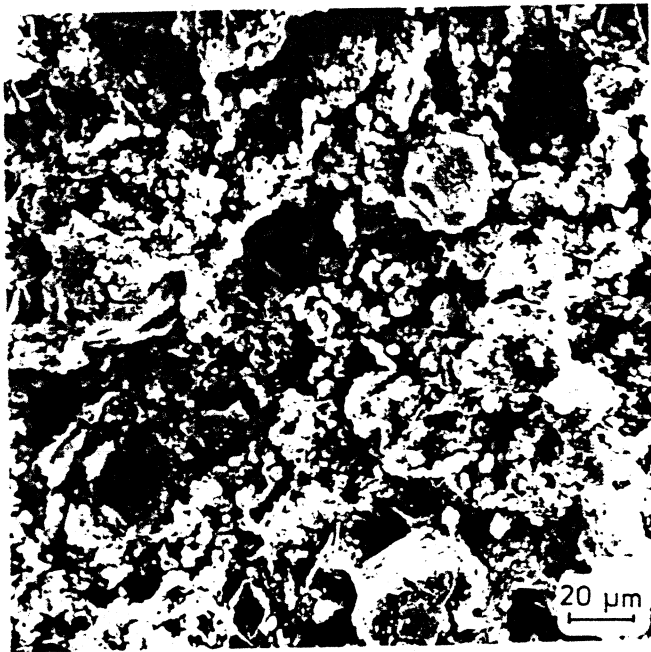


Fig. 3: Vergr. 500-fach

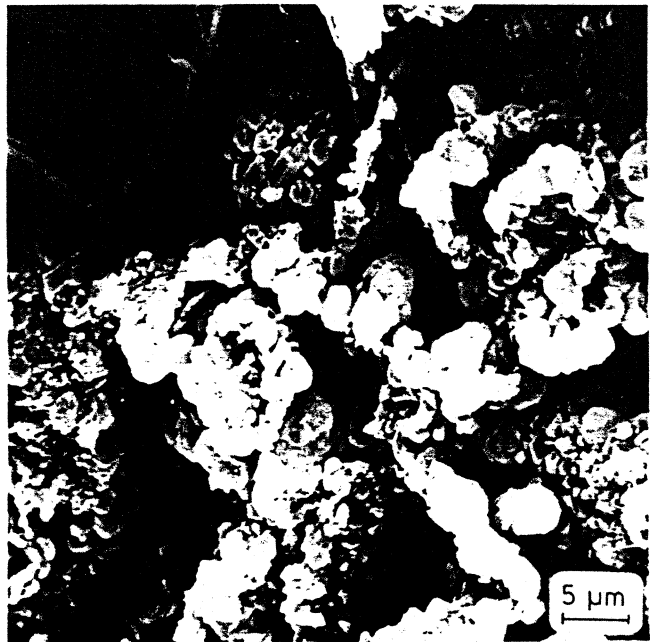


Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen typischen Ausschnitt aus dem Bereich der Grundmasse (bruch-
 rauh). Leucitoeder sind als Einsprenglinge in der Grundmasse zu be-
 obachten. Die Grundmasse lässt sich im Teilbereich erst bei hohen
 Vergrößerungen in Einzelaggregate auflösen. Erkennbare Aggregate sind
 hauptsächlich Zeolithen zuzuordnen. Es ist keine textuelle Einrege-
 lung zu erkennen. Ein sehr deutlicher Porenraum ist feststellbar.

REM-Analyse: Weiberner Tuff I

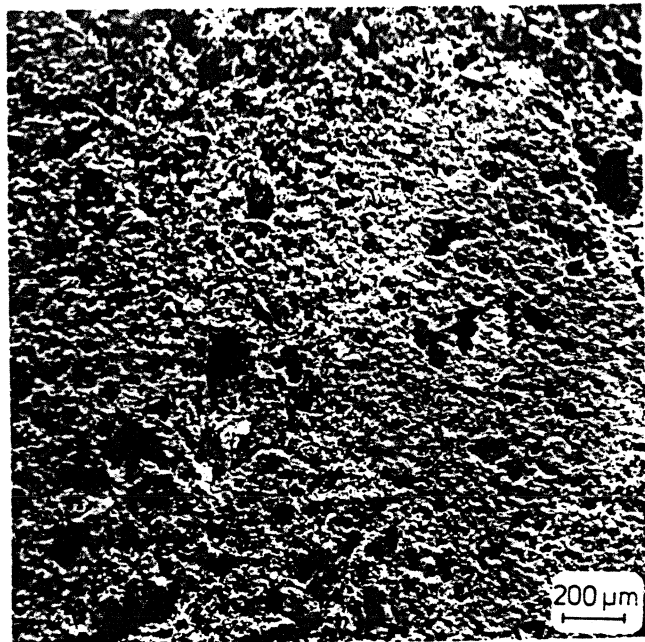


Fig. 1: Vergr. 50-fach

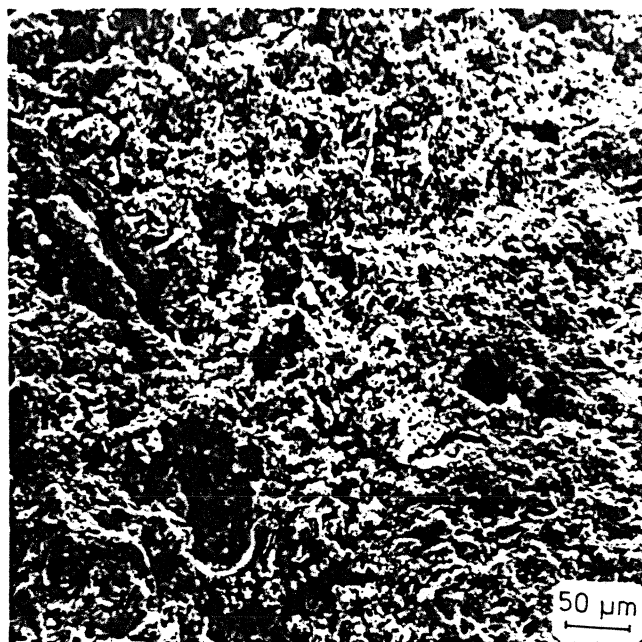


Fig. 2: Vergr. 200-fach

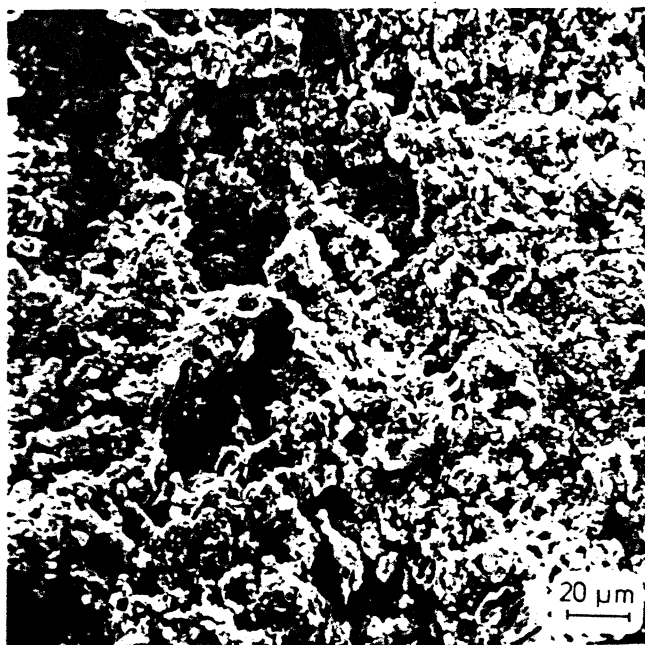


Fig. 3: Vergr. 500-fach

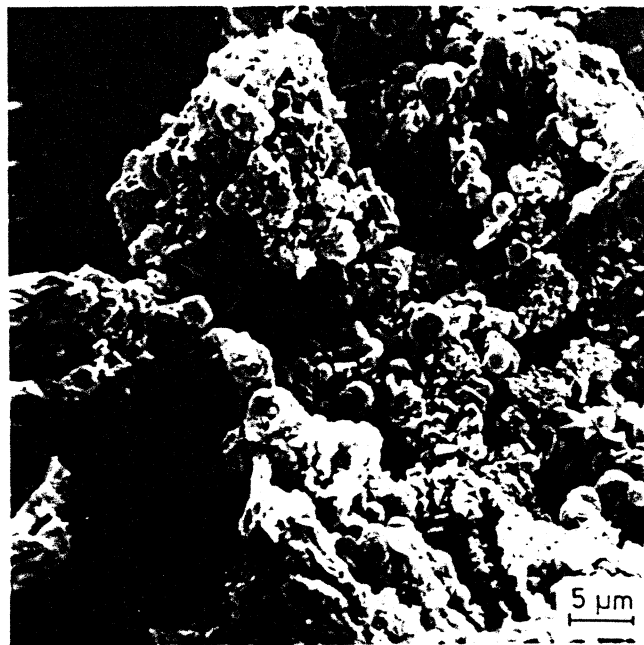


Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen typischen Ausschnitt aus dem Bereich der Grundmasse (angeschliffen). Die Grundmasse läßt sich im Teilbereich erst bei hohen Vergrößerungen in Einzelaggregate auflösen. Erkennbare Aggregate sind hauptsächlich Zeolithen zuzuordnen. Es ist keine textuelle Einregelung zu erkennen. Ein sehr deutlicher Porenraum ist feststellbar.

REM-Analyse: Weiberner Tuff I

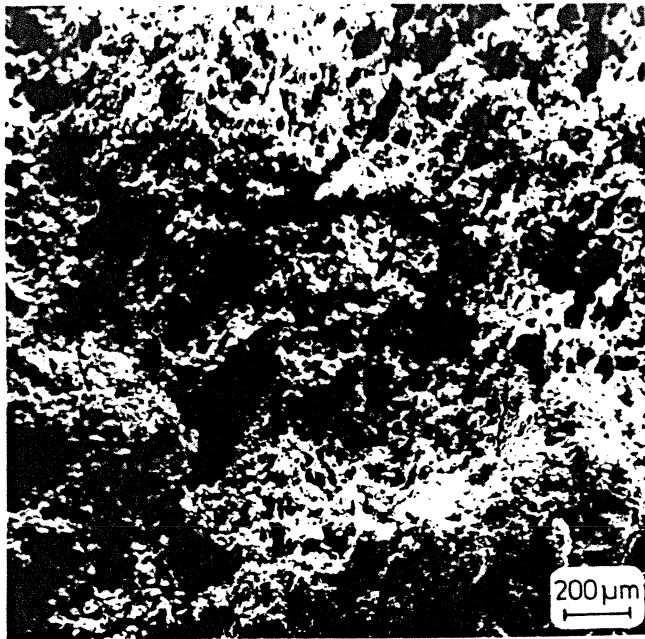


Fig. 1: Vergr. 50-fach

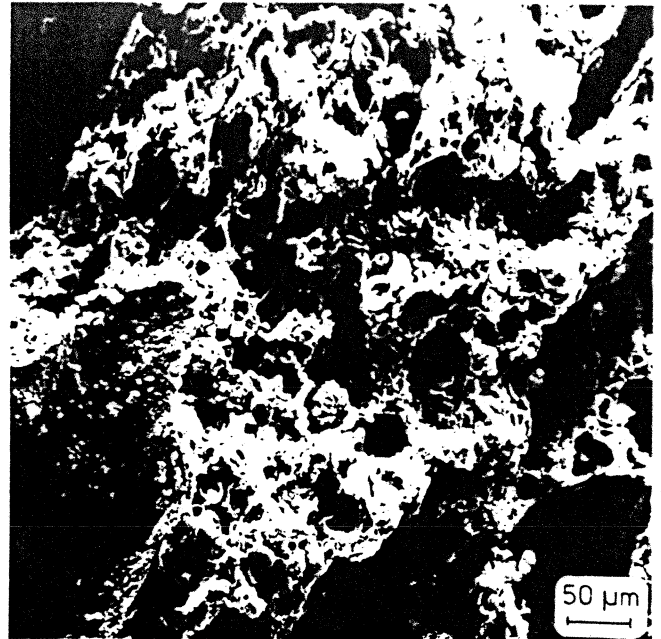


Fig. 2: Vergr. 200-fach

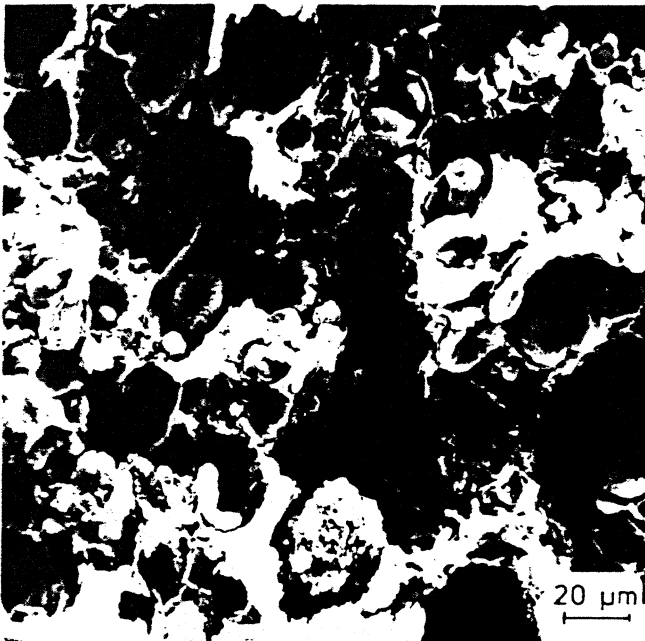


Fig. 3: Vergr. 500-fach

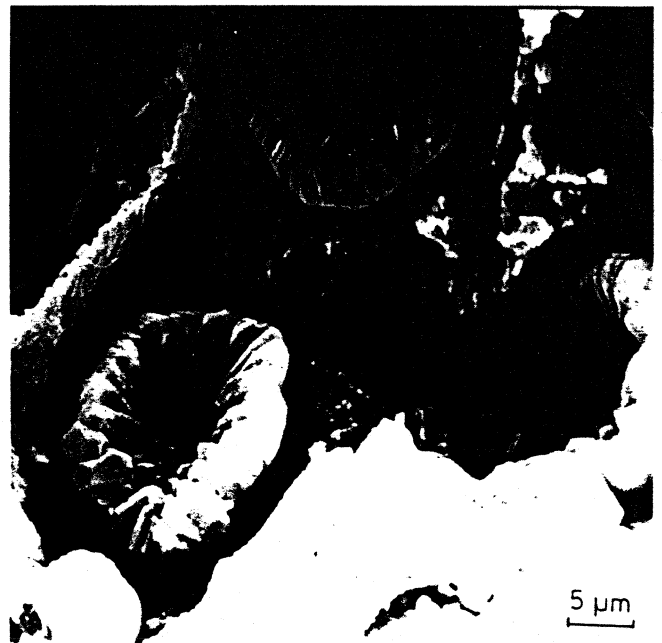


Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen Bereich in der Grundmasse, der glasig schaumig ausgebildet ist. Es sind blasige Hohlräume zu erkennen, in denen sich kettenförmige, z.T. auch körnige Aggregate befinden, die hauptsächlich Zeolithen zuzuordnen sind. Diese strukturellen und textuellen Merkmale sind als typisch für einen Bimseinsprengling des Weiberner I anzusehen.

REM-Analyse: Weiberner Tuff I

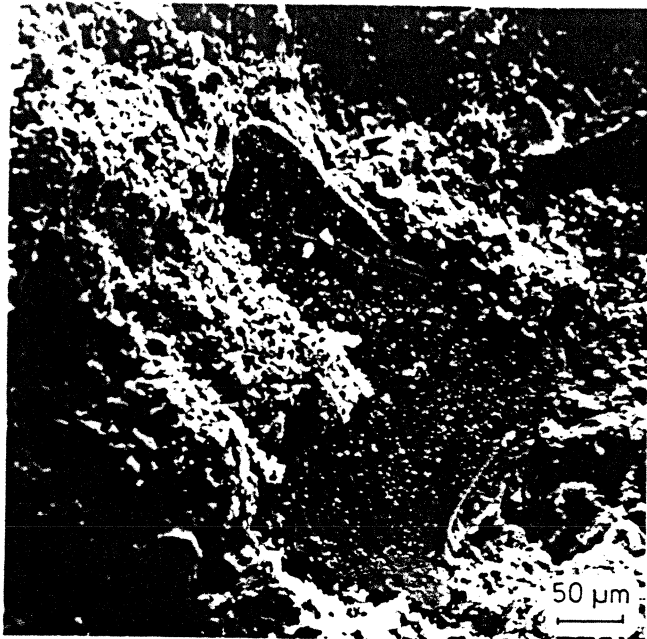


Fig. 1: Vergr. 200-fach

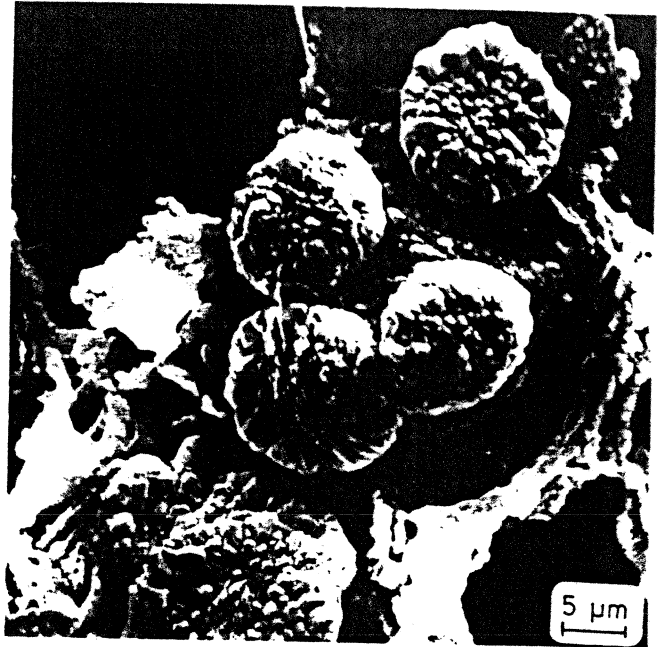


Fig. 2: Vergr. 2000-fach

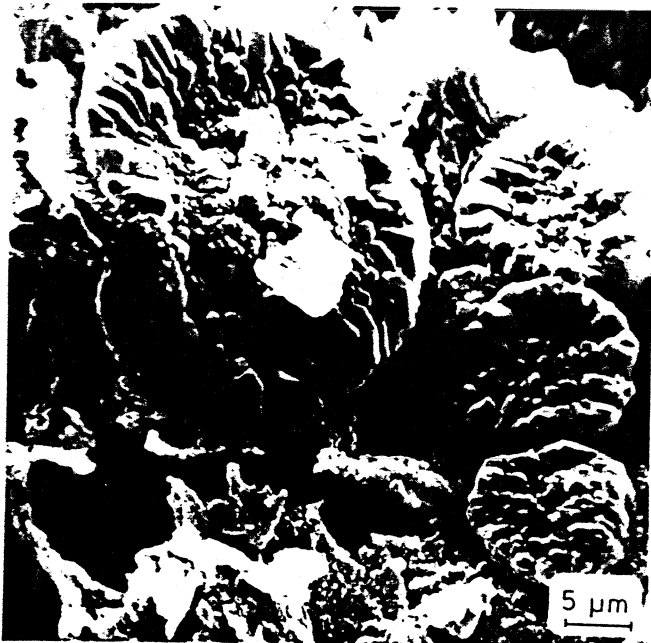


Fig. 3: Vergr. 2000-fach

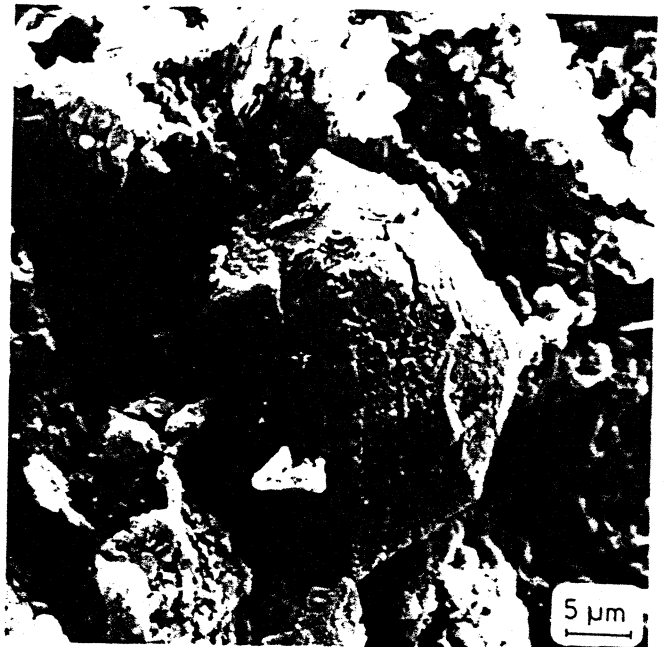


Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1 zeigt einen in die Grundmasse eingelagerten Einsprengling.

Fig. 2 zeigt Aggregate innerhalb eines Bimseinsprenglinges.

Fig. 3 zeigt Aggregate innerhalb eines Bimseinsprenglinges

Fig. 4 zeigt einen in die Grundmasse eingelagerten Einsprengling (Leucitoeder), der von Rissen durchzogen ist.

REM-Analyse: Weiberner Tuff II

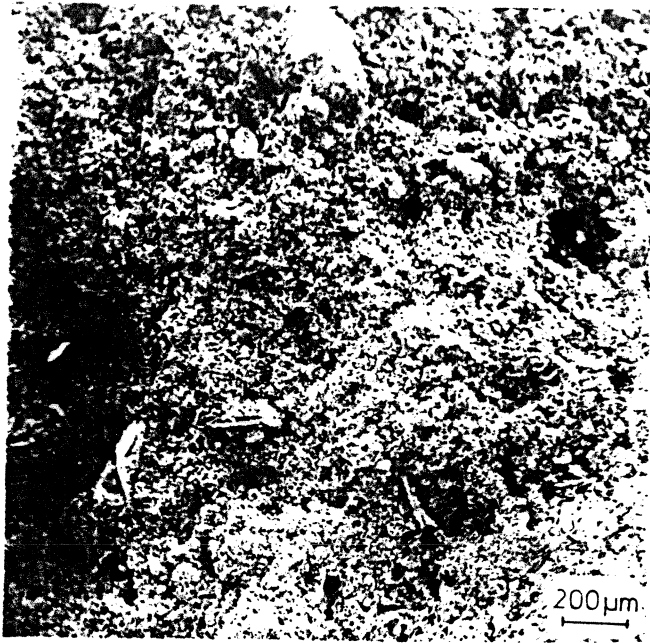


Fig. 1: Vergr. 50-fach

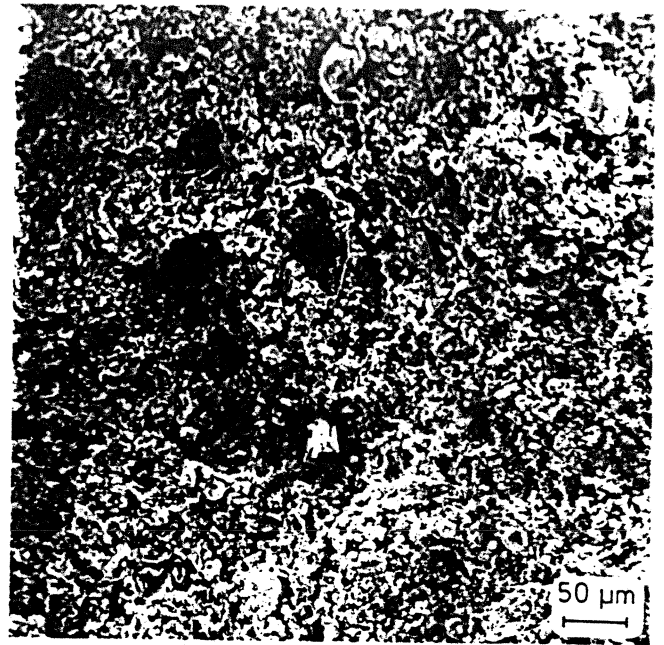


Fig. 2: Vergr. 200-fach

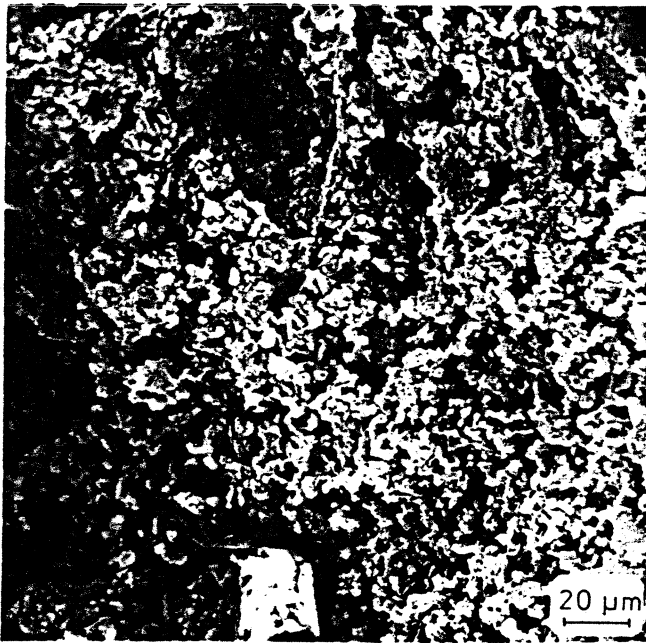


Fig. 3: Vergr. 500-fach

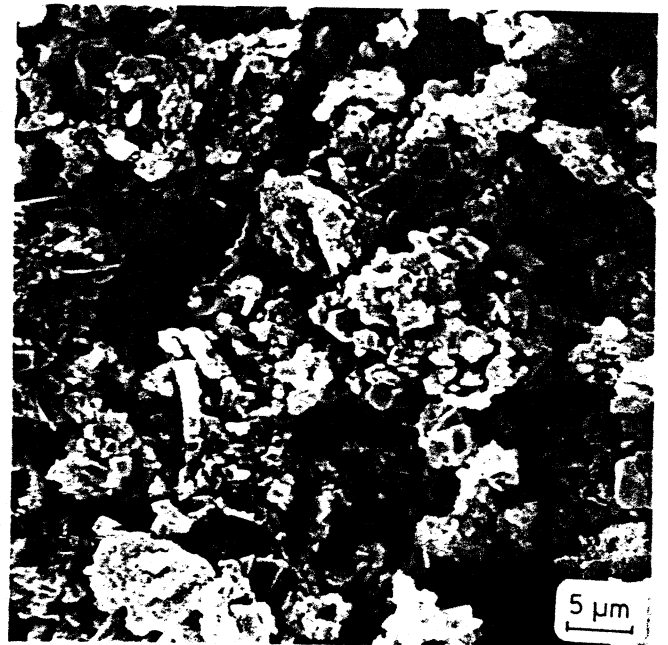


Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen typischen Ausschnitt aus dem Bereich der Grundmasse (bruch-
 rauh). Leucitoeder sind als Einsprenglinge in der Grundmasse zu
 beobachten. Die Grundmasse läßt sich im Teilbereich erst bei hohen
 Vergrößerungen in Einzelaggregate auflösen. Erkennbare Aggregate sind
 hauptsächlich Zeolithen zuzuordnen. Es ist keine textuelle Ein-
 regelung zu erkennen. Ein sehr deutlicher Porenraum ist feststellbar.

REM-Analyse: Weiberner Tuff II

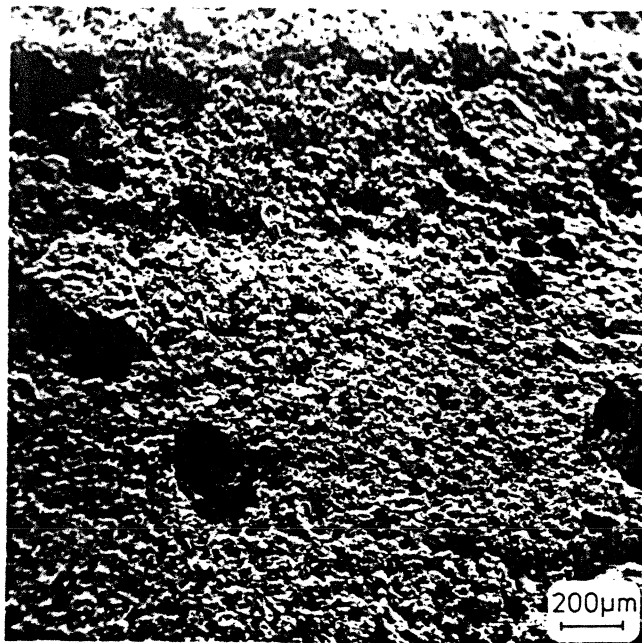


Fig. 1: Vergr. 50-fach

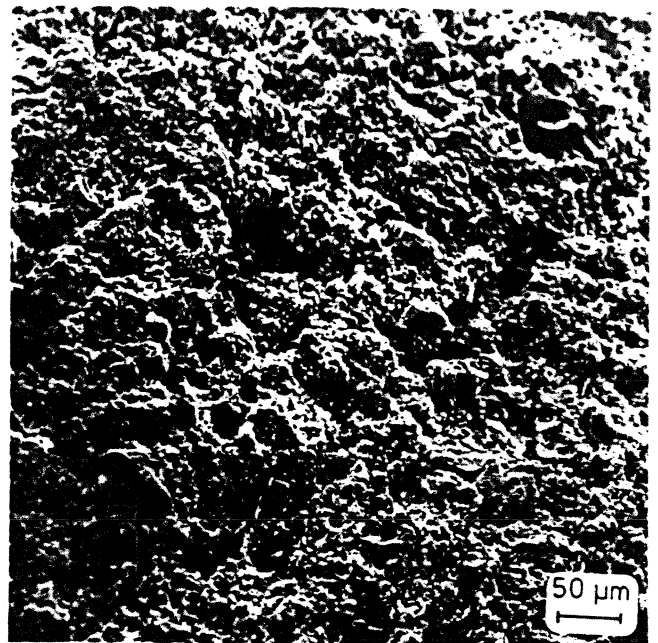


Fig. 2: Vergr. 200-fach

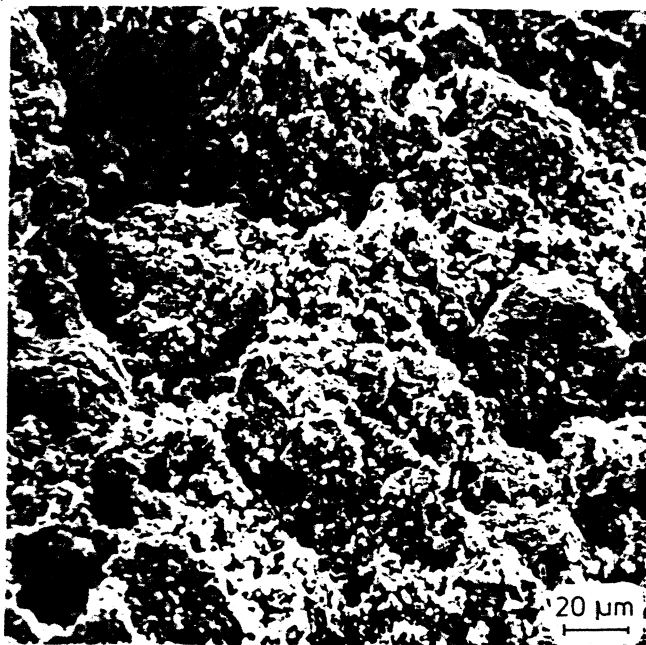


Fig. 3: Vergr. 500-fach

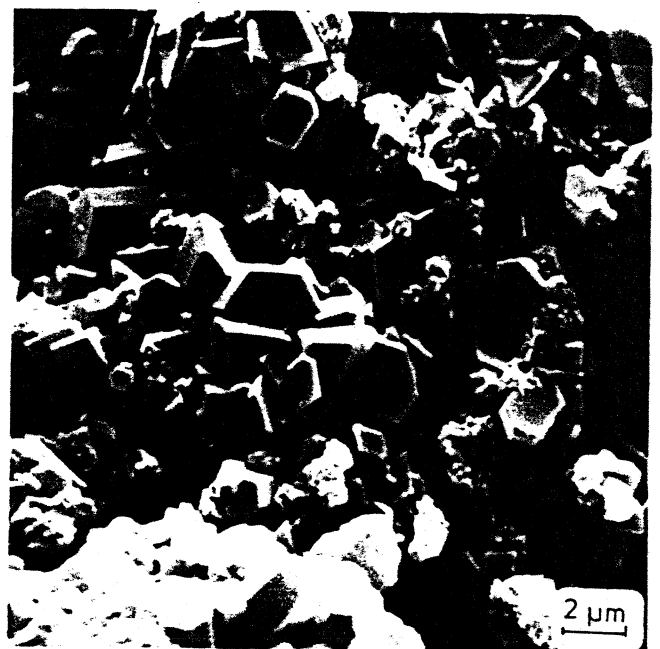


Fig. 4: Vergr. 5000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen typischen Ausschnitt aus dem Bereich der Grundmasse (angeschliffen). Die Grundmasse läßt sich im Teilbereich erst bei hohen Vergrößerungen in Einzelaggregate auflösen. Erkennbare Aggregate sind hauptsächlich Zeolithen zuzuordnen. Es ist keine textuelle Einregelung zu erkennen. Ein sehr deutlicher Porenraum ist feststellbar.

REM-Analyse: Weiberner Tuff II

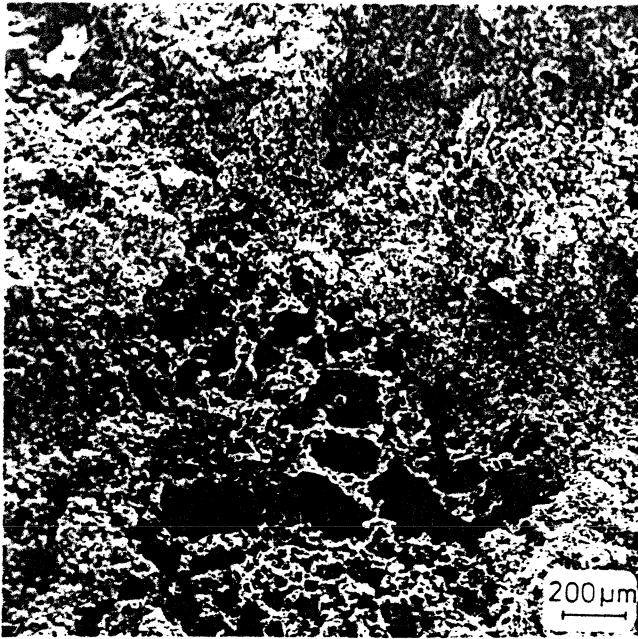


Fig. 1: Vergr. 50-fach

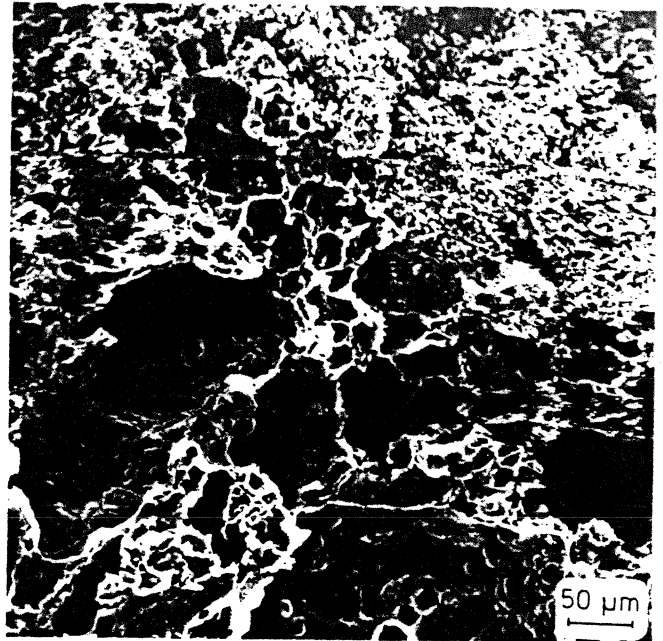


Fig. 2: Vergr. 200-fach

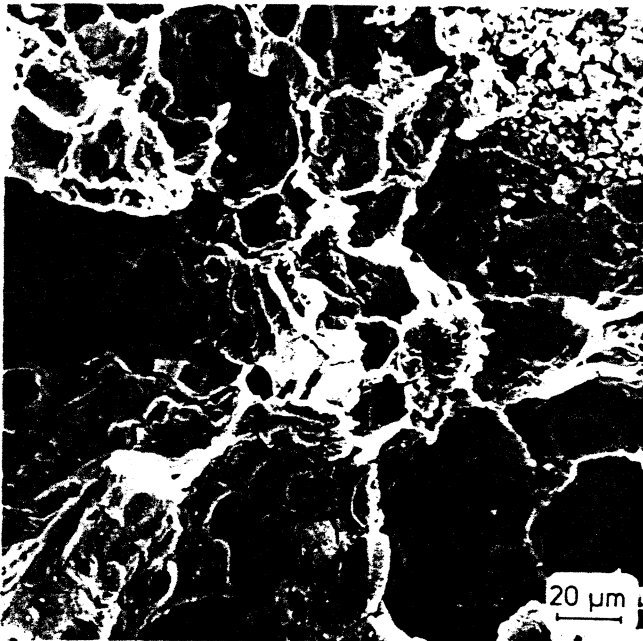


Fig. 3: Vergr. 500-fach



Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen Bereich in der Grundmasse, der glasig schaumig ausgebildet ist. Es sind blasige Hohlräume zu erkennen, in denen sich verschiedenartige Aggregate befinden, die hauptsächlich Zeolithen zuzuordnen sind. Diese strukturellen und textuellen Merkmale sind als typisch für einen Bimseinsprengling des Weiberner II anzusehen.

REM-Analyse: Weiberner Tuff II

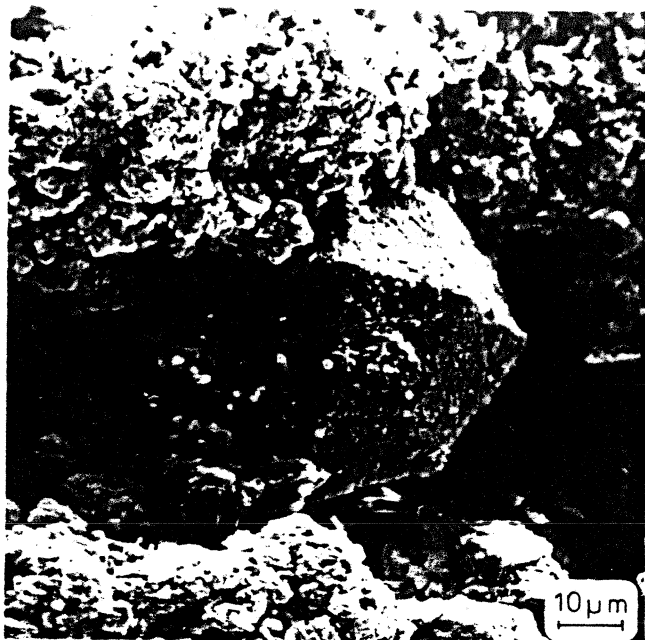


Fig. 1: Vergr. 1000-fach



Fig. 2: Vergr. 2000-fach

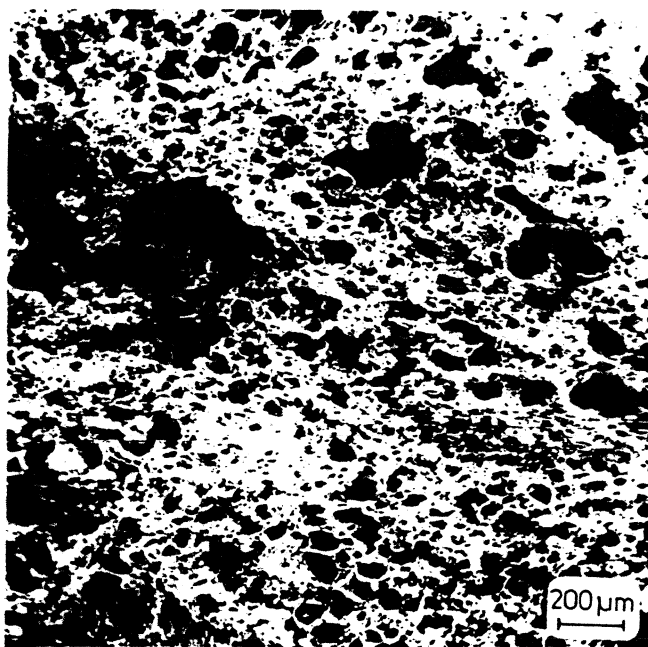


Fig. 3: Vergr. 50-fach

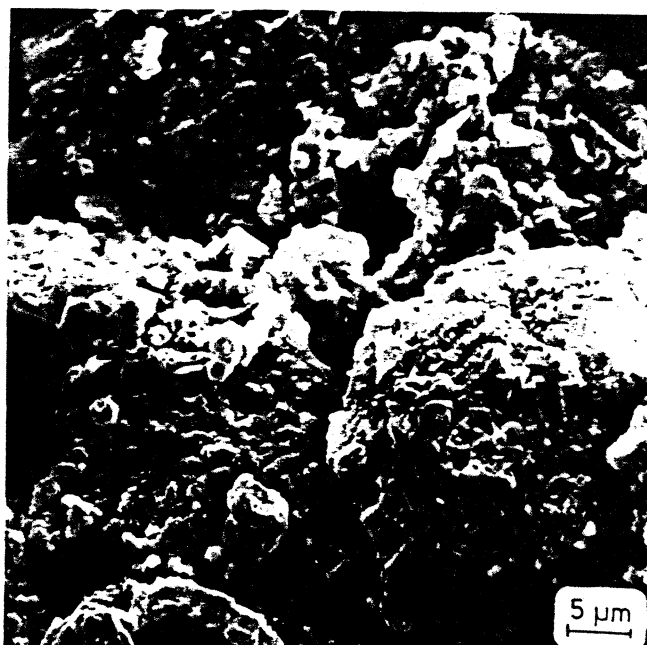


Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1 zeigt einen in die Grundmasse eingelagerten Einsprengling (Leucitoeder), der von feinen Rissen durchzogen ist.

Fig. 2 zeigt Aggregate innerhalb eines Bimseinsprenglinges.

Fig. 3 zeigt einen Bimseinsprengling.

Fig. 4 zeigt einen Ausschnitt aus der Grundmasse.

REM-Analyse: Riedener Tuff I

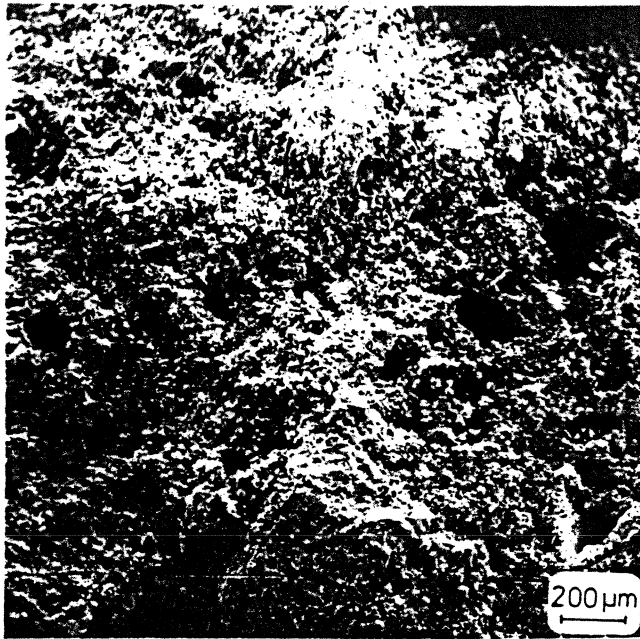


Fig. 1: Vergr. 50-fach



Fig. 2: Vergr. 200-fach

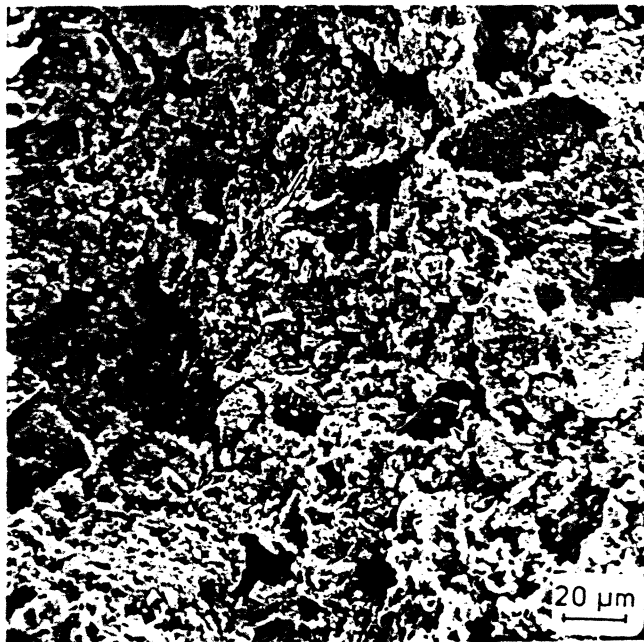


Fig. 3: Vergr. 500-fach

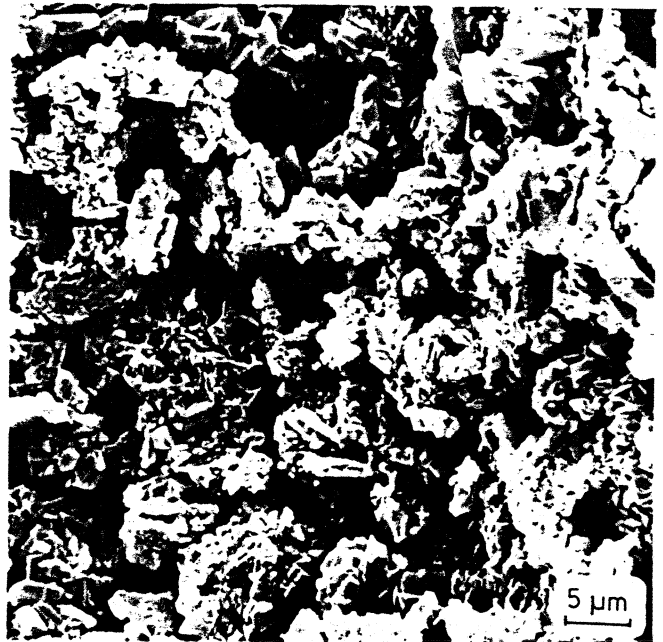


Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen typischen Ausschnitt aus dem Bereich der Grundmasse (bruchrauh). Die Grundmasse läßt sich im Teilbereich erst bei hohen Vergrößerungen in Einzelaggregate auflösen. Erkennbare Aggregate sind hauptsächlich Zeolithen zuzuordnen. Es ist keine textuelle Einregelung zu erkennen. Ein sehr deutlicher Porenraum ist feststellbar.

REM-Analyse: Hasenstoppel Tuff

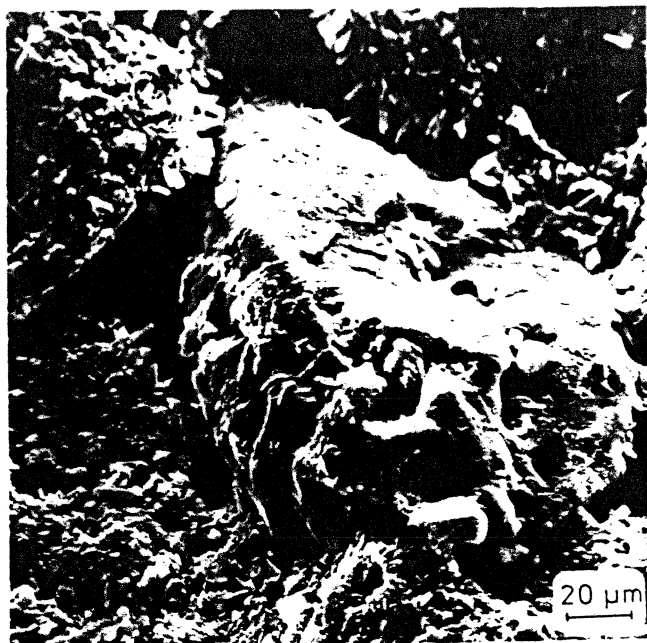


Fig. 1: Vergr. 500-fach

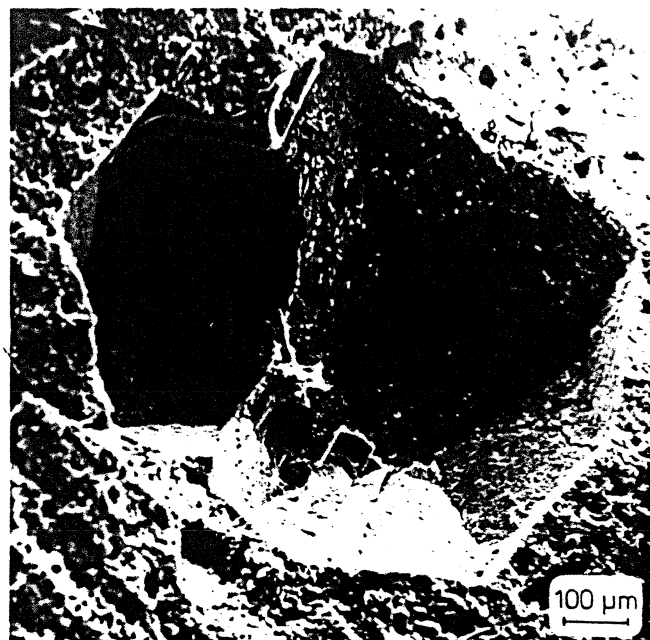


Fig. 2: Vergr. 100-fach



Fig. 3: Vergr. 2000-fach



Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1 zeigt einen in die Grundmasse eingelagerten Einsprengling.

Fig. 2 zeigt Mineralabdrücke von Leucitoedern, die von Rissen durchzogen sind.

Fig. 3 zeigt einen Ausschnitt aus der Grundmasse, der von Rissen durchzogen ist.

Fig. 4 zeigt Aggregate (Phillipsit) innerhalb eines Bimseinsprenglinges.

REM-Analyse: Weiberner Tuff I

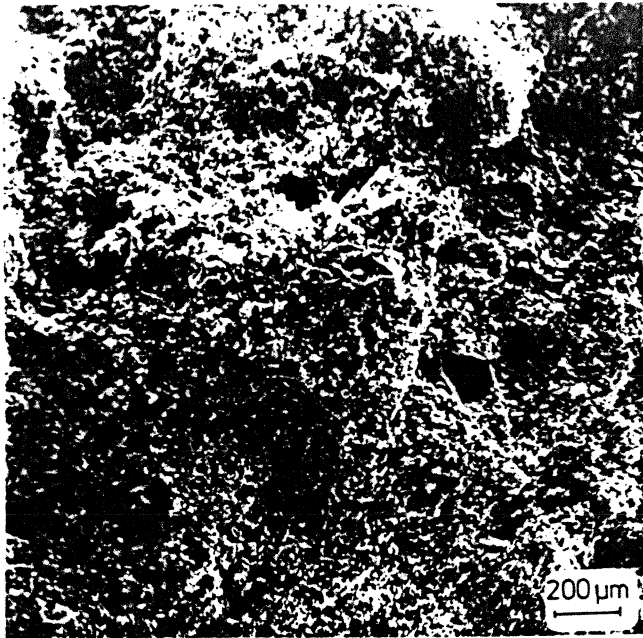


Fig. 1: Vergr. 50-fach

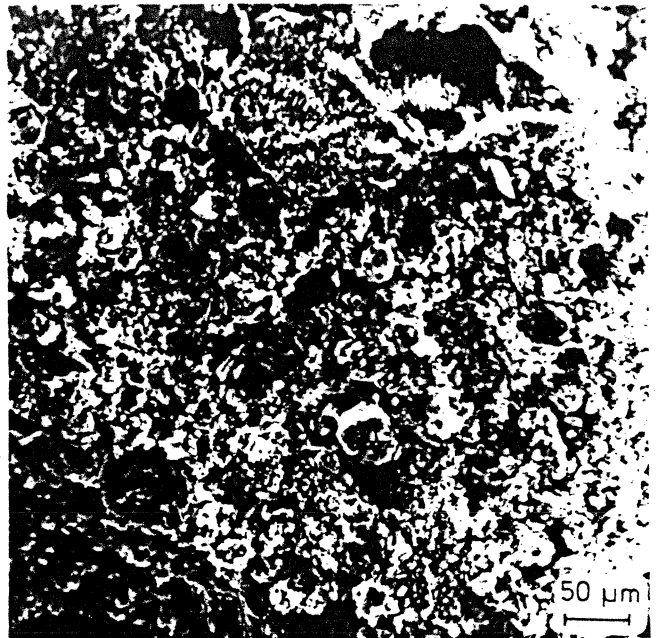


Fig. 2: Vergr. 200-fach

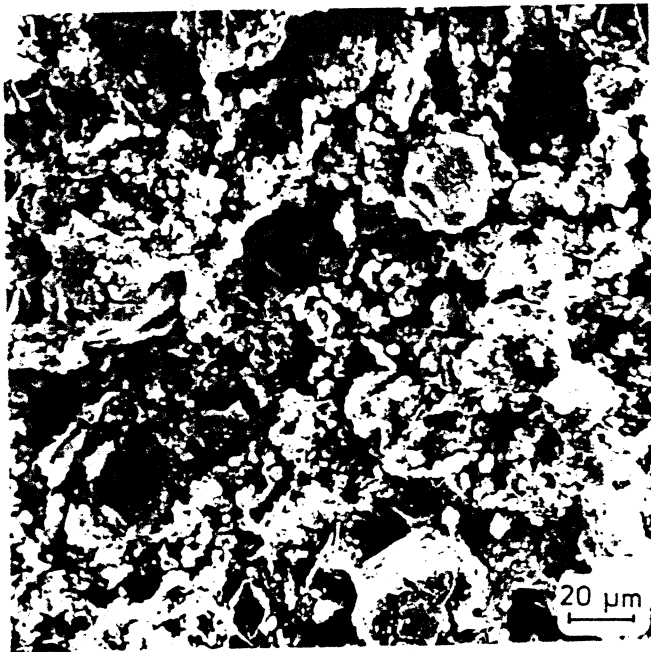


Fig. 3: Vergr. 500-fach

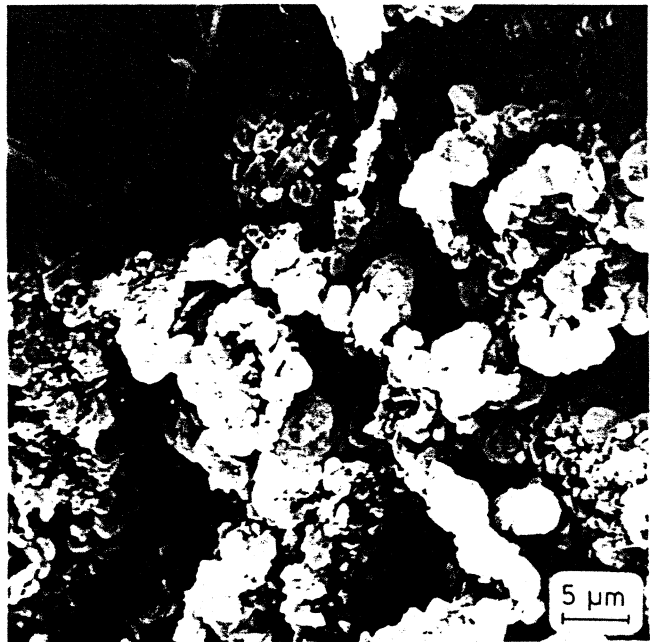


Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen typischen Ausschnitt aus dem Bereich der Grundmasse (bruch-
 rauh). Leucitoeder sind als Einsprenglinge in der Grundmasse zu be-
 obachten. Die Grundmasse lässt sich im Teilbereich erst bei hohen
 Vergrößerungen in Einzelaggregate auflösen. Erkennbare Aggregate sind
 hauptsächlich Zeolithen zuzuordnen. Es ist keine textuelle Einrege-
 lung zu erkennen. Ein sehr deutlicher Porenraum ist feststellbar.

REM-Analyse: Riedener Tuff I

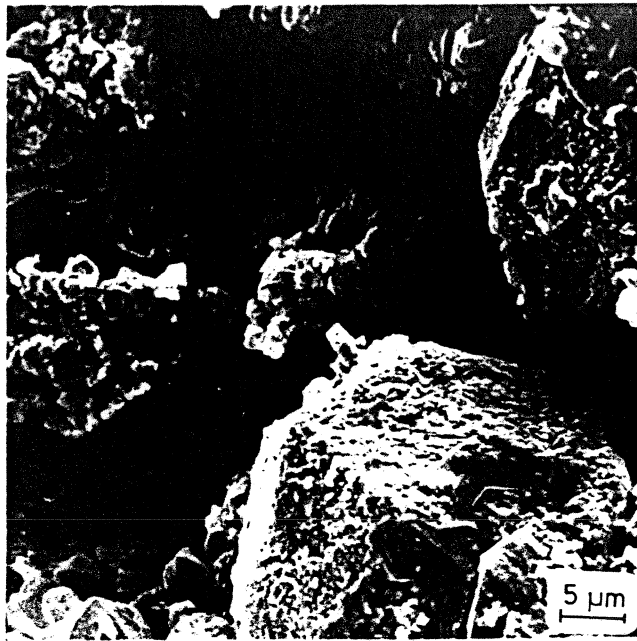


Fig. 1: Vergr. 2000-fach

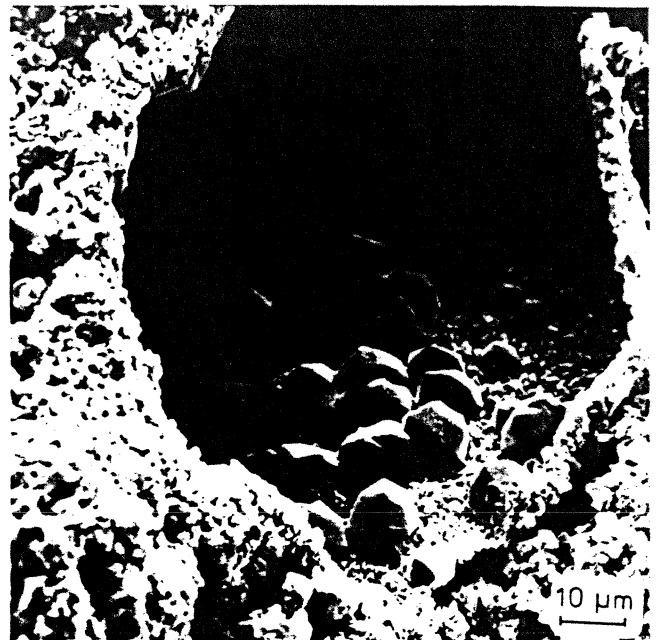


Fig. 2: Vergr. 1000-fach



Fig. 3: Vergr. 2000-fach



Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1 zeigt in die Grundmasse eingelagerte Leucitoeder.

Fig. 2 zeigt einen Hohlraum in der Grundmasse, in dem sich zahlreiche Leucitoeder befinden.

Fig. 3 zeigt Aggregate innerhalb eines Bimseinsprenglinges.

Fig. 4 zeigt Aggregate innerhalb eines Bimseinsprenglinges.

REM-Analyse: Riedener Tuff II

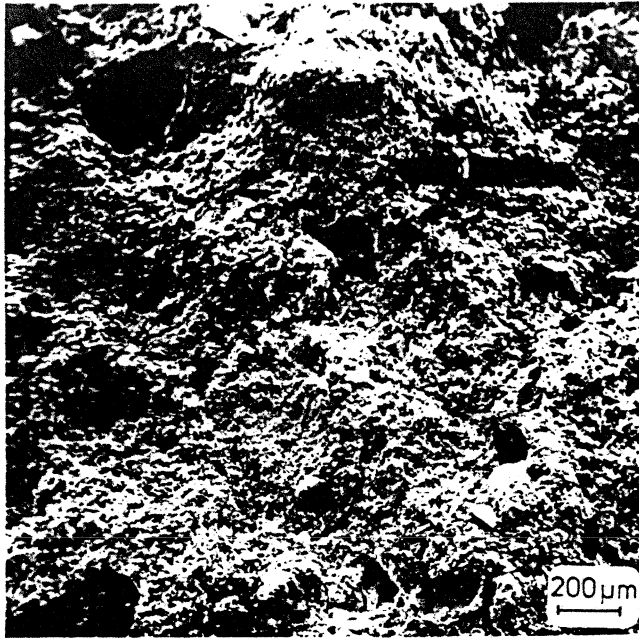


Fig. 1: Vergr. 50-fach

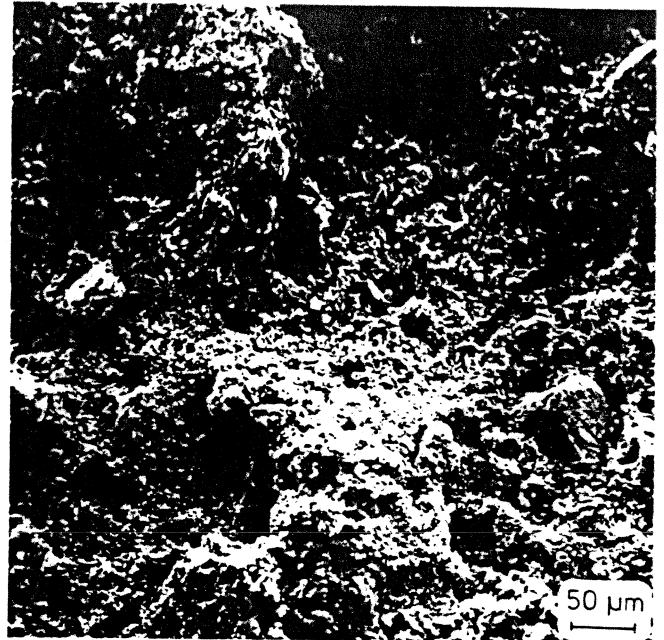


Fig. 2: Vergr. 200-fach

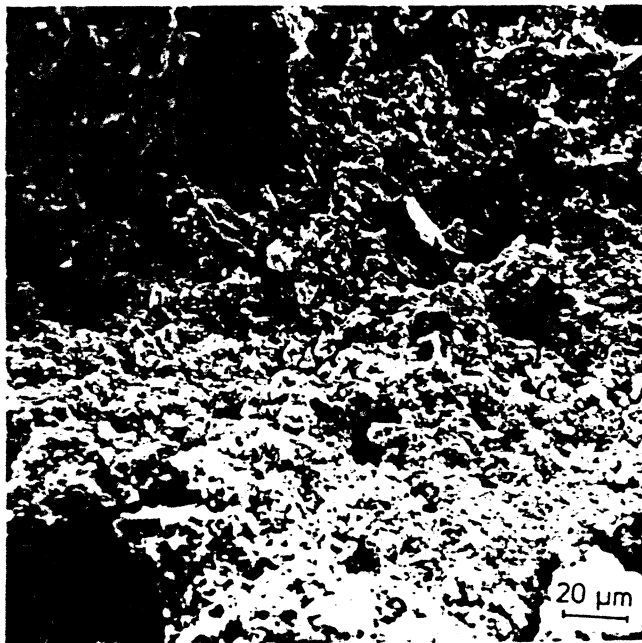


Fig. 3: Vergr. 500-fach

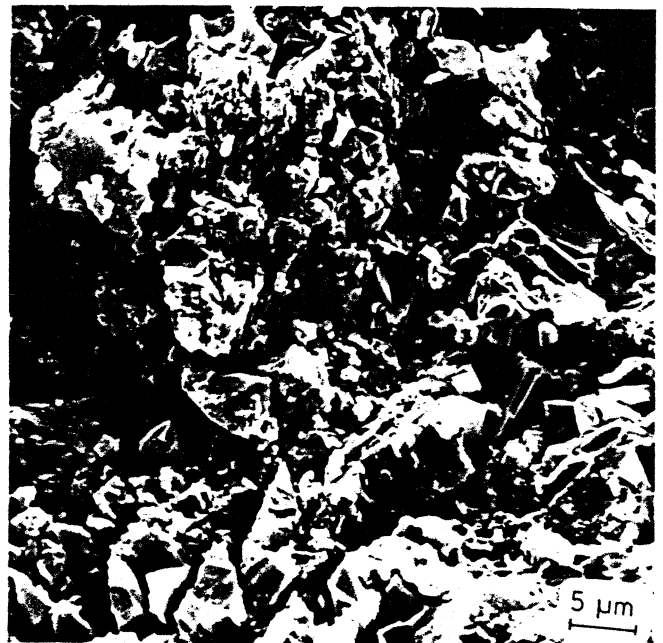


Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen typischen Ausschnitt aus dem Bereich der Grundmasse (bruchrauh). Die Grundmasse läßt sich im Teilbereich erst bei hohen Vergrößerungen in Einzelaggregate auflösen. Es ist keine textuelle Einregelung zu erkennen. Ein deutlicher Porenraum ist feststellbar.

REM-Analyse: Riedener Tuff II

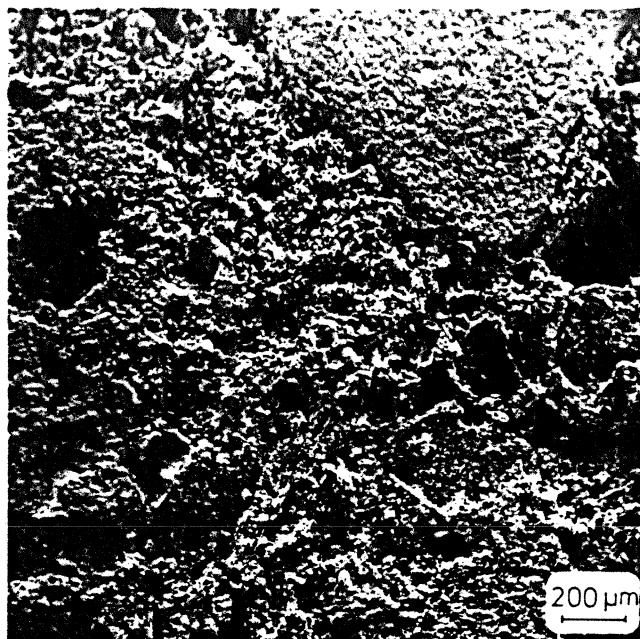


Fig. 1: Vergr. 50-fach

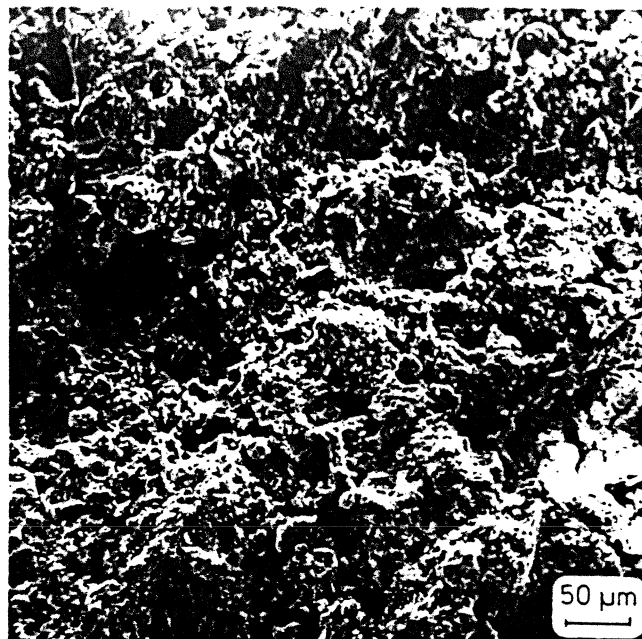


Fig. 2: Vergr. 200-fach

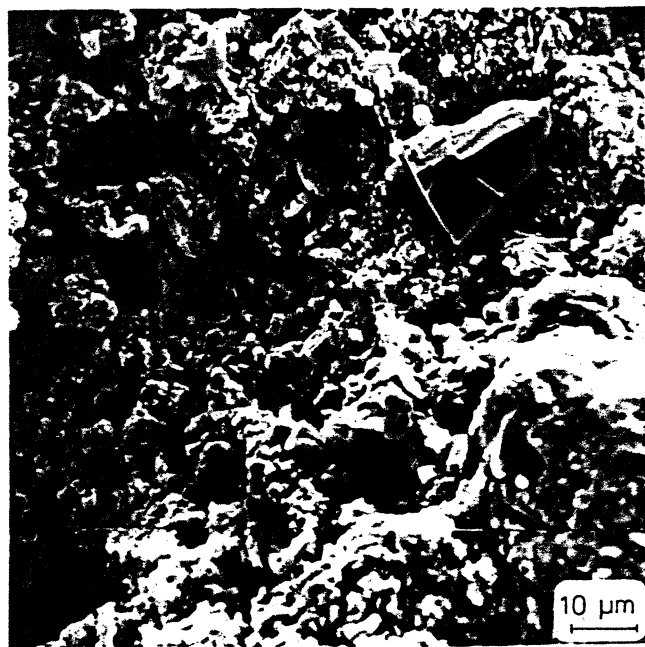


Fig. 3: Vergr. 1000-fach



Fig. 4: Vergr. 5000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen typischen Ausschnitt aus dem Bereich der Grundmasse (angeschliffen). Die Grundmasse läßt sich im Teilbereich erst bei hohen Vergrößerungen in Einzelaggregate auflösen. Erkennbare Aggregate sind hauptsächlich Zeolithen zuzuordnen. Es ist keine texturelle Einregelung zu erkennen. Ein deutlicher Porenraum ist feststellbar.

REM-Analyse: Riedener Tuff II

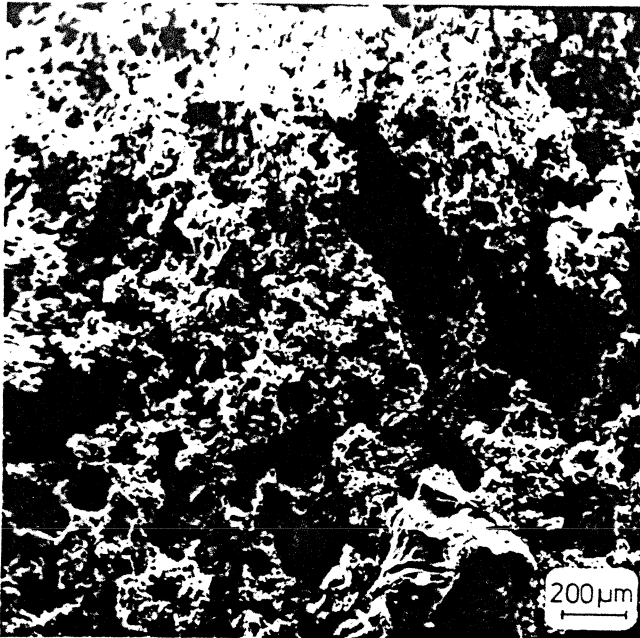


Fig. 1: Vergr. 50-fach

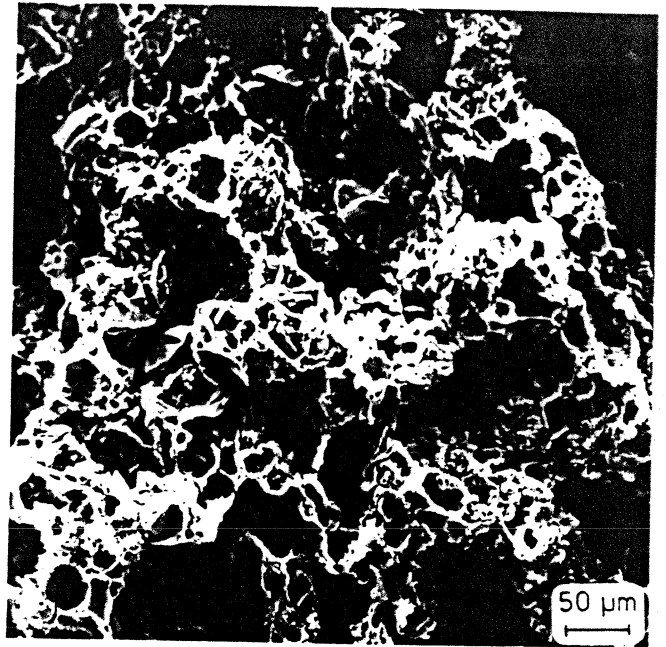


Fig. 2: Vergr. 200-fach

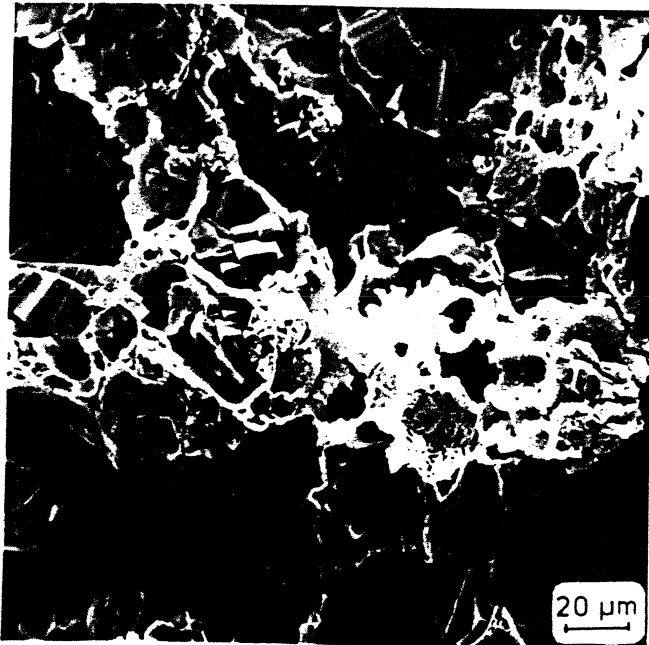


Fig. 3: Vergr. 500-fach



Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen Bereich in der Grundmasse, der glasig schaumig ausgebildet ist. Es sind blasige Hohlräume zu erkennen, in denen sich verschiedenartige Aggregate befinden, die hauptsächlich Zeolithen zuzuordnen sind. Diese strukturellen und texturellen Merkmale sind als typisch für einen Bimseinsprengling des Riedener II anzusehen.

REM-Analyse: Riedener Tuff II

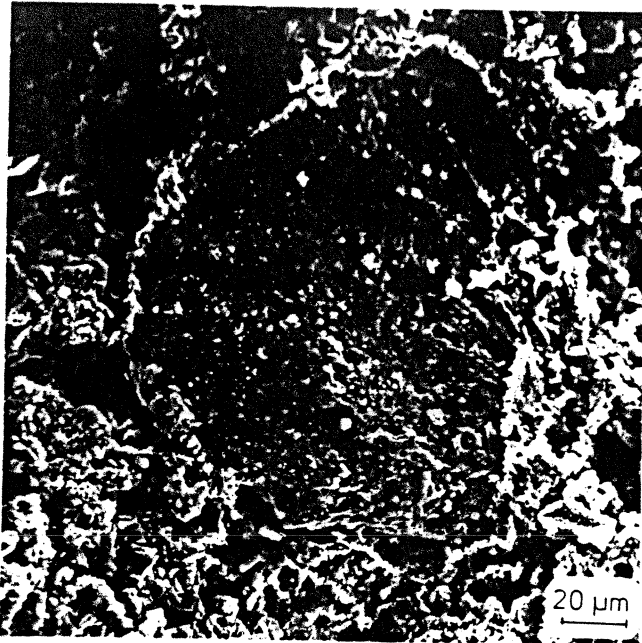


Fig. 1: Vergr. 500-fach

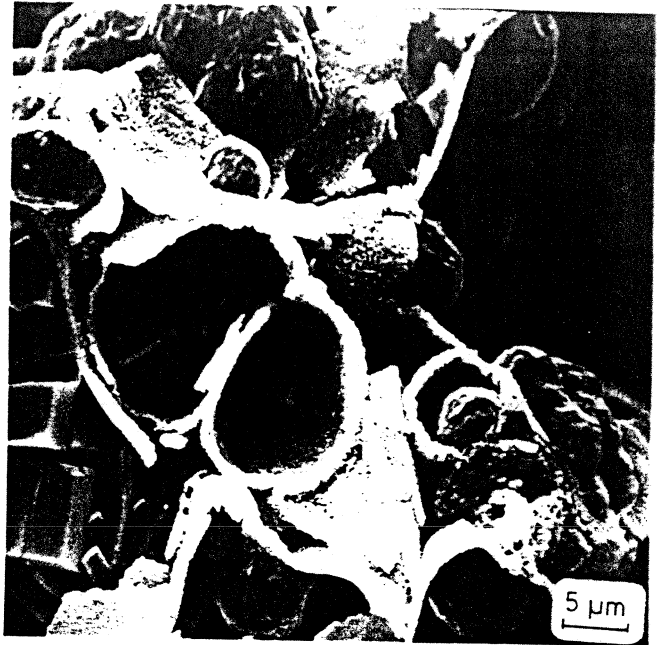


Fig. 2: Vergr. 2000-fach

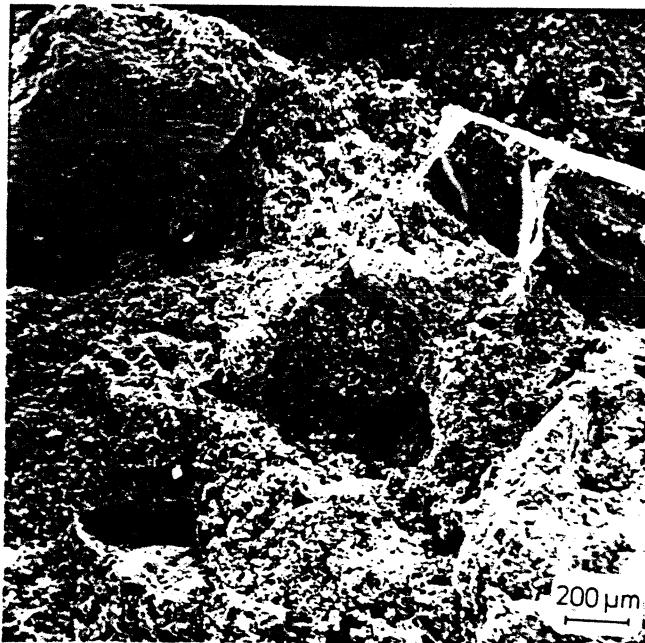


Fig. 3: Vergr. 50-fach

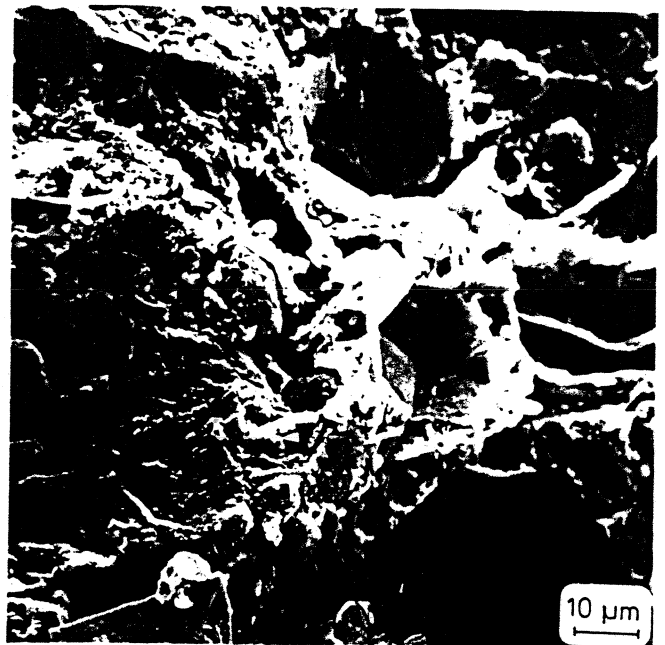


Fig. 4: Vergr. 1000-fach

Fig. 1 zeigt einen in die Grundmasse eingelagerten Einsprengling.

Fig. 2 zeigt Aggregate innerhalb eines Bimseinsprenglins.

Fig. 3 zeigt einen Ausschnitt aus der Grundmasse.

Fig. 4 zeigt Mineralabdrücke von Leucitoedern.

REM-Analyse: Römer Tuff I

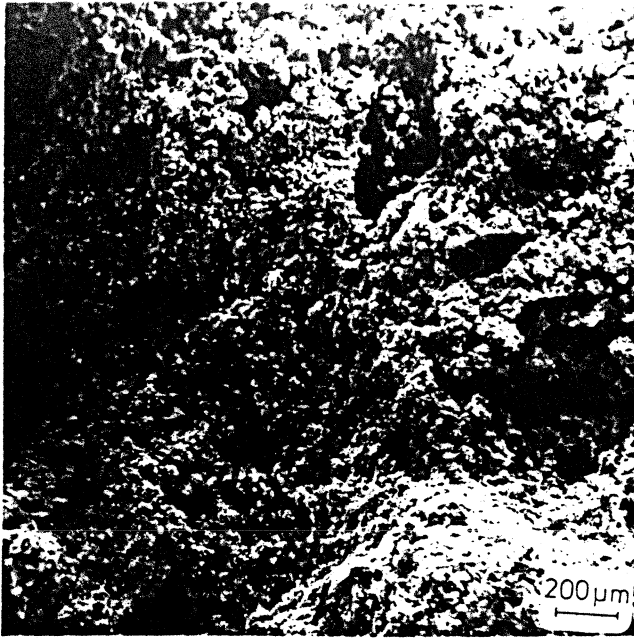


Fig. 1: Vergr. 50-fach



Fig. 2: Vergr. 200-fach

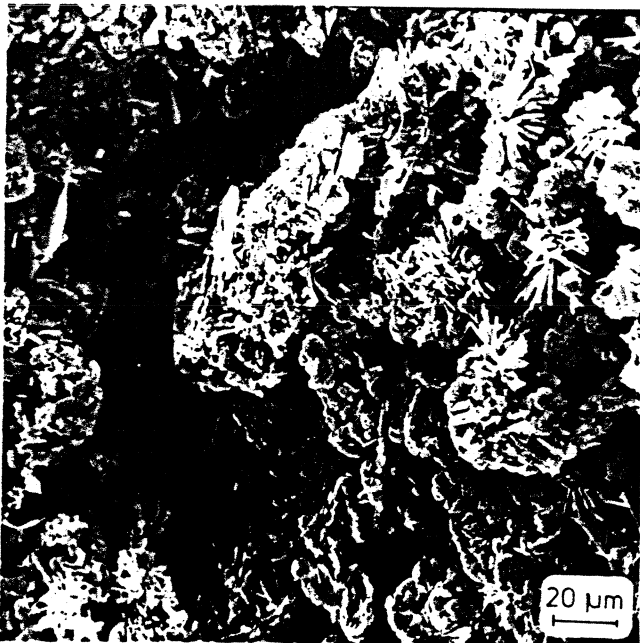


Fig. 3: Vergr. 500-fach

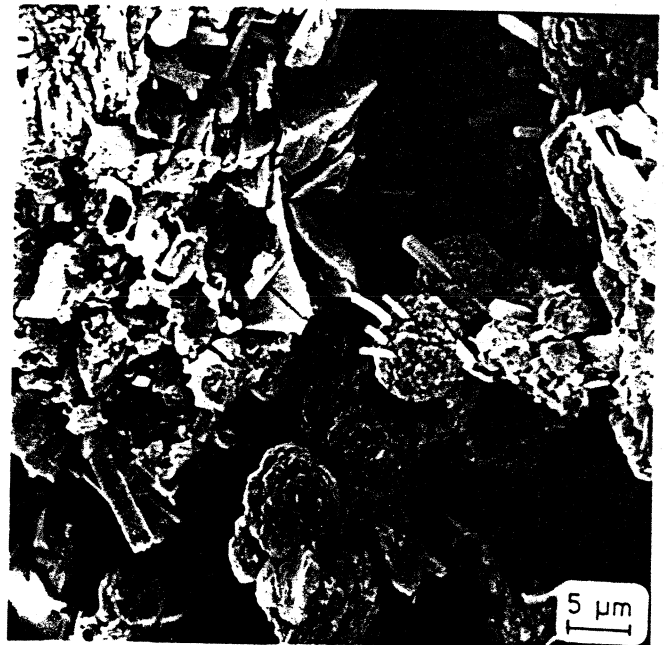


Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen typischen Ausschnitt aus dem Bereich der Grundmasse (Bruchrauh). Die Grundmasse läßt sich im Teilbereich erst bei hohen Vergrößerungen in Einzelaggregate auflösen. Erkennbare Aggregate sind hauptsächlich Zeolithen zuzuordnen. Es ist keine texturelle Einregelung zu erkennen. Ein sehr deutlicher Porenraum ist feststellbar.

REM-Analyse: Römer Tuff I

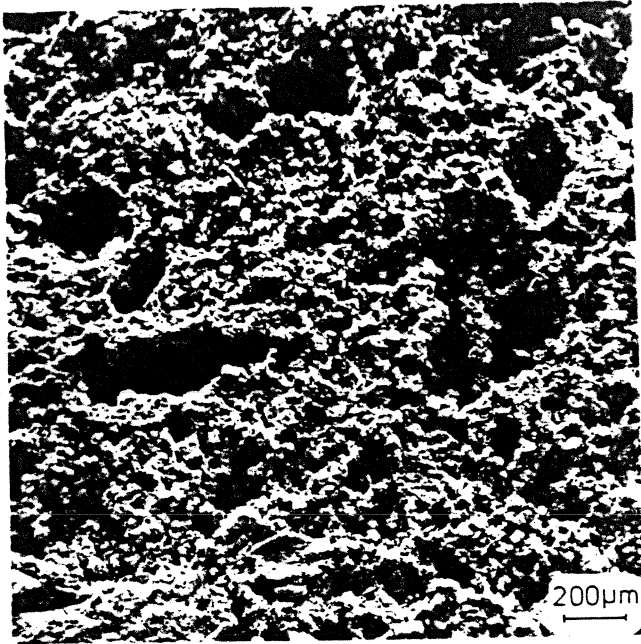


Fig. 1: Vergr. 50-fach

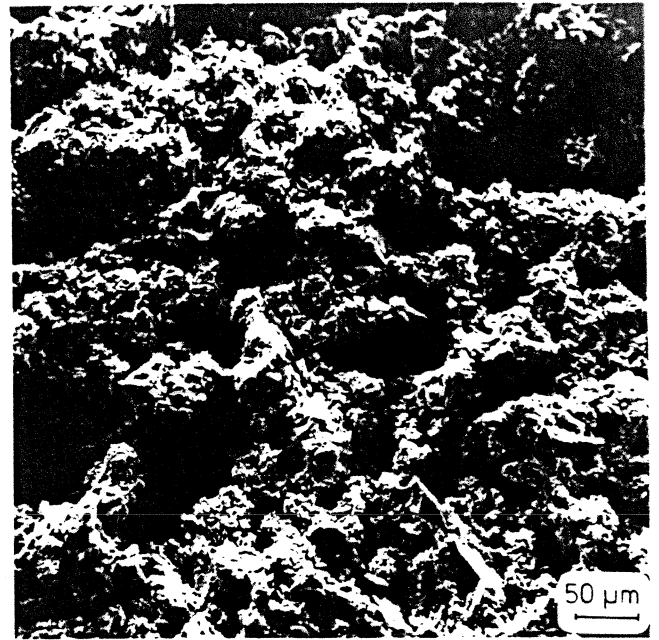


Fig. 2: Vergr. 200-fach

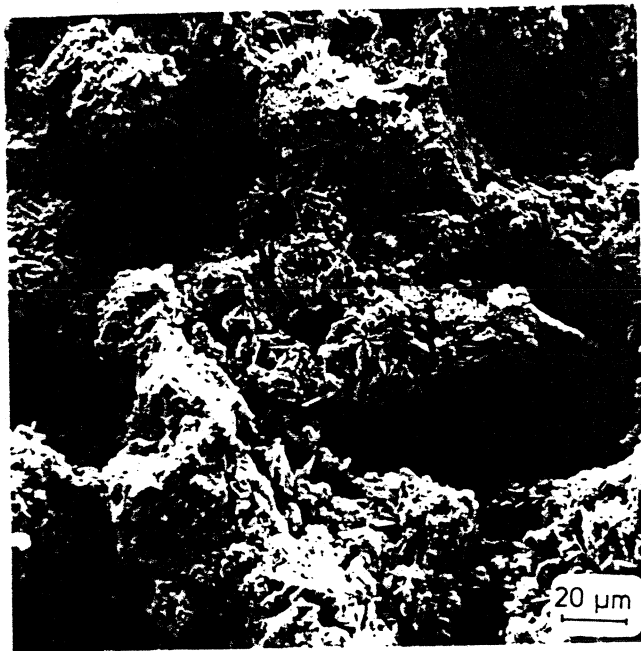


Fig. 3: Vergr. 500-fach

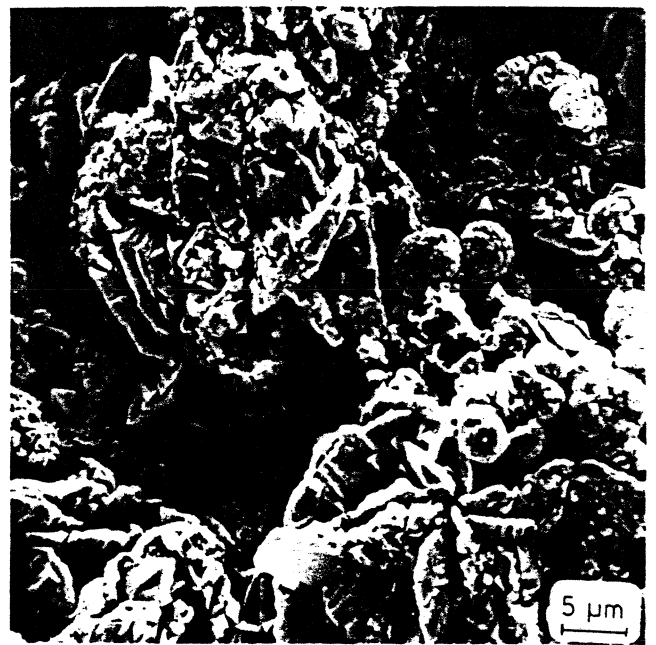


Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen typischen Ausschnitt aus dem Bereich der Grundmasse (angeschliffen). Die Grundmasse läßt sich im Teilbereich erst bei hohen Vergrößerungen in Einzelaggregate auflösen. Erkennbare Aggregate sind hauptsächlich Zeolithen zuzuordnen. Es ist keine textuelle Einregelung zu erkennen. Ein sehr deutlicher Porenraum ist feststellbar.

REM-Analyse: Römer Tuff I

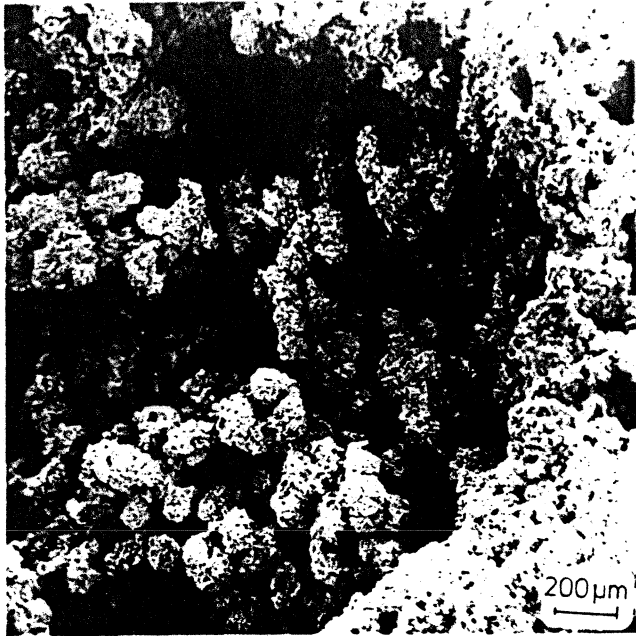


Fig. 1: Vergr. 50-fach

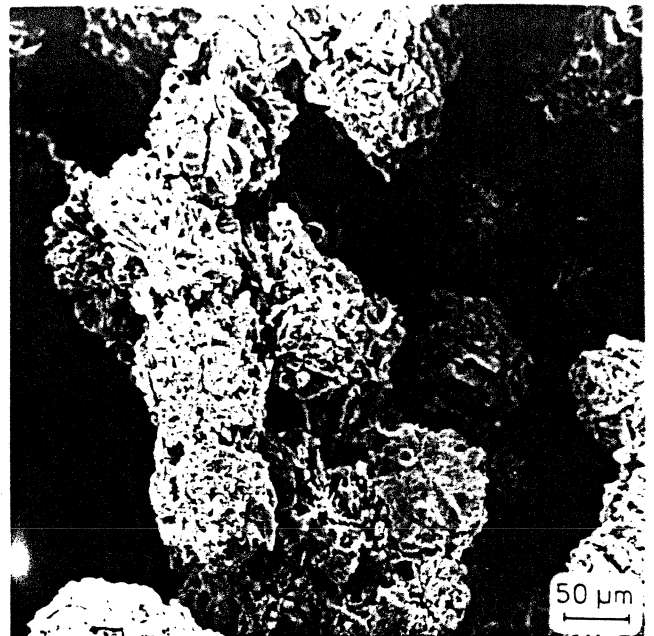


Fig. 2: Vergr. 200-fach

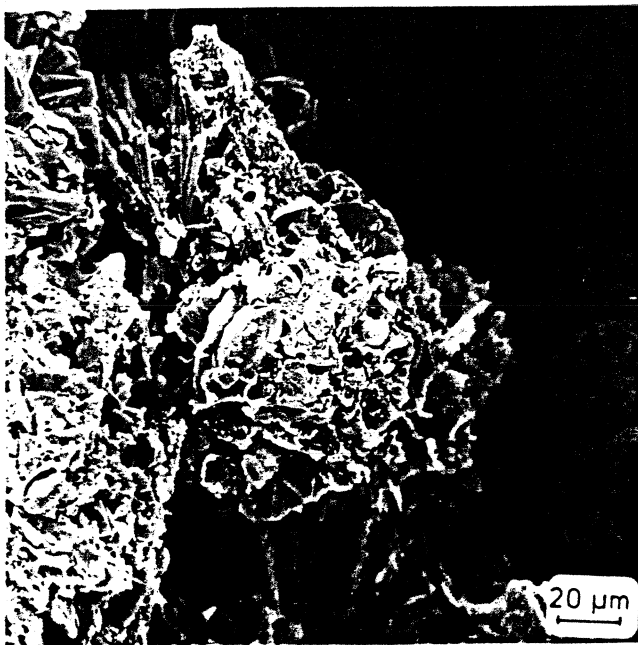


Fig. 3: Vergr. 500-fach



Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen Bereich in der Grundmasse, der hauptsächlich von Zeolithen aufgebaut wird und vermutlich einen umgebildeten Bims-einsprengling darstellt. Dieses Erscheinungsbild ist als typisch für den Römer I anzusehen.

REM-Analyse: Römer Tuff I

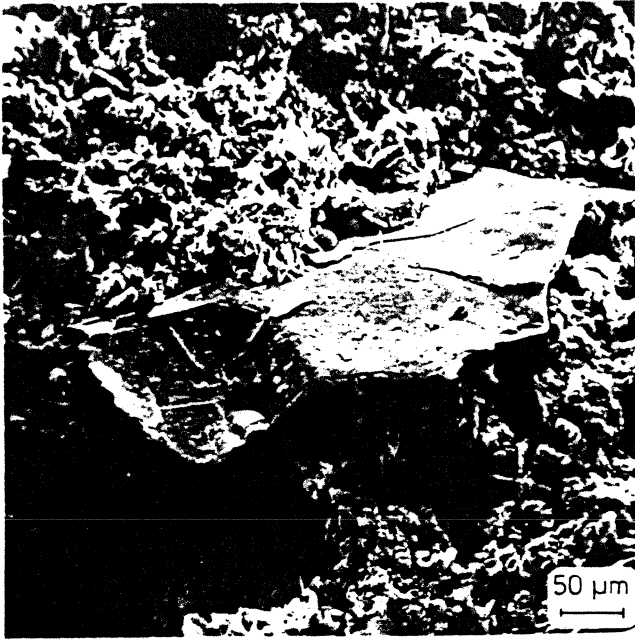


Fig. 1: Vergr. 200-fach

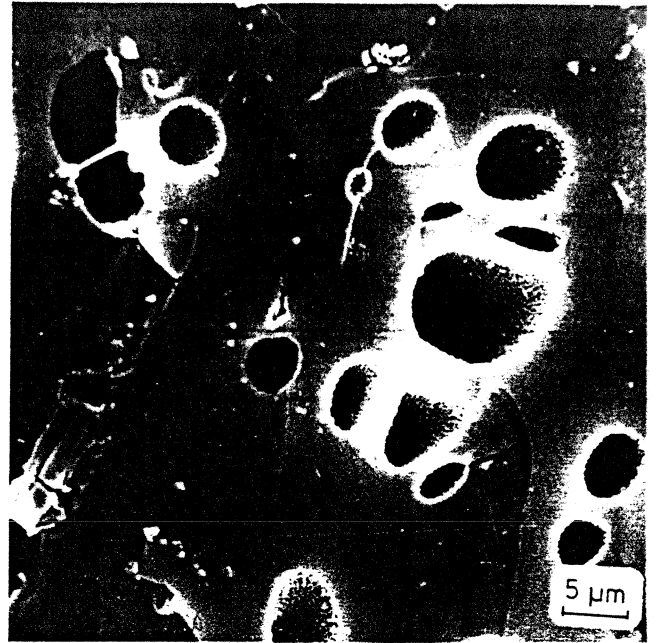


Fig. 2: Vergr. 2000-fach



Fig. 3: Vergr. 2000-fach

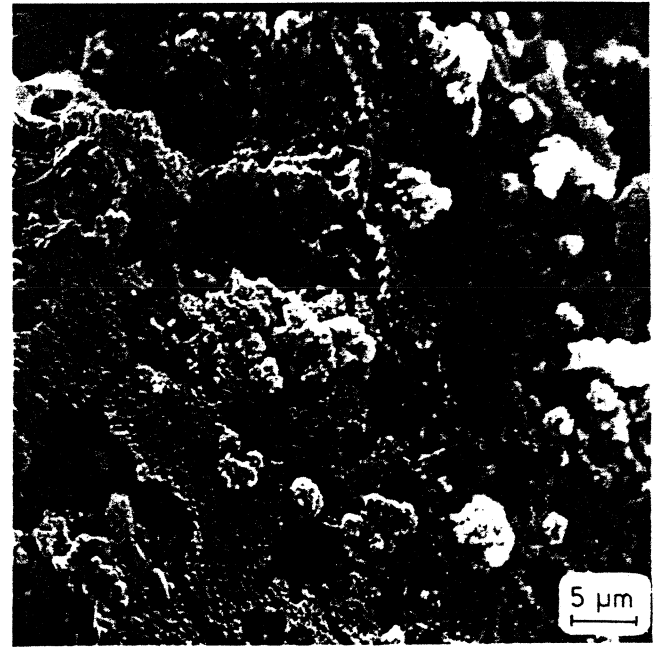


Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1 zeigt einen in die Grundmasse eingelagerten Einsprengling.

Fig. 2 zeigt einen glasigen Bereich, der einzelne blasige Hohlräume aufweist.

Fig. 3 zeigt einen glasigen Bereich, der teilweise zersetzt ist.

Fig. 4 zeigt einen glasigen Bereich, der stark zersetzt ist.

REM-Analyse: Römer Tuff II

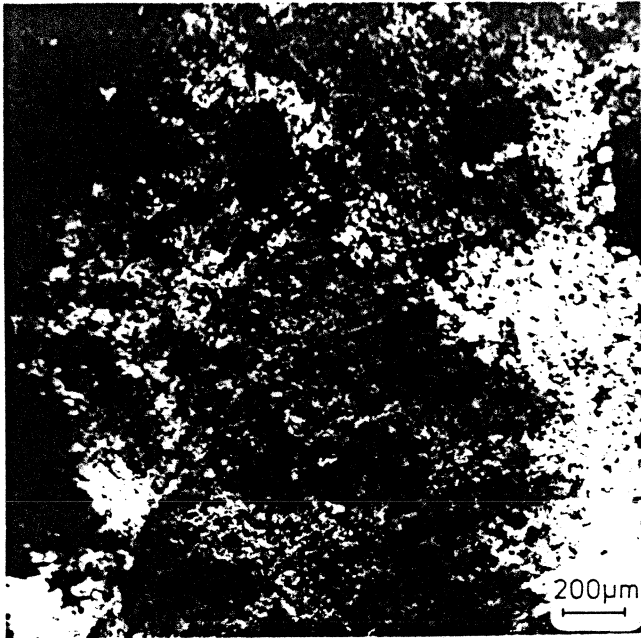


Fig. 1: Vergr. 50-fach

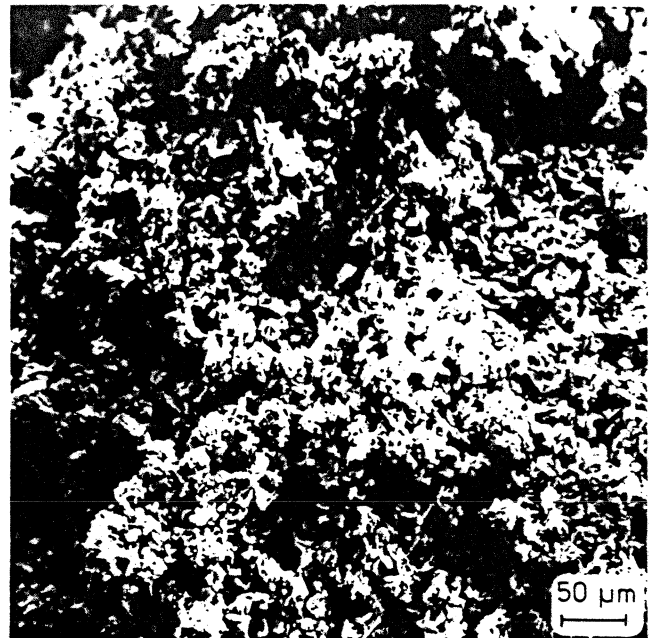


Fig. 2: Vergr. 200-fach

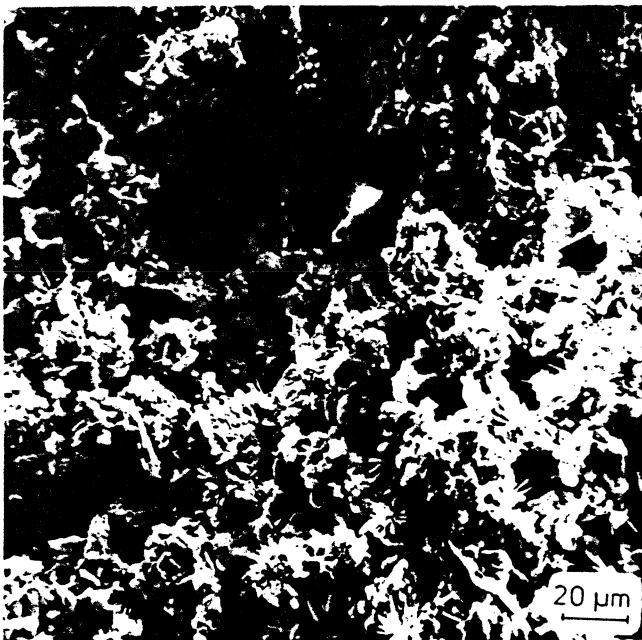


Fig. 3: Vergr. 500-fach

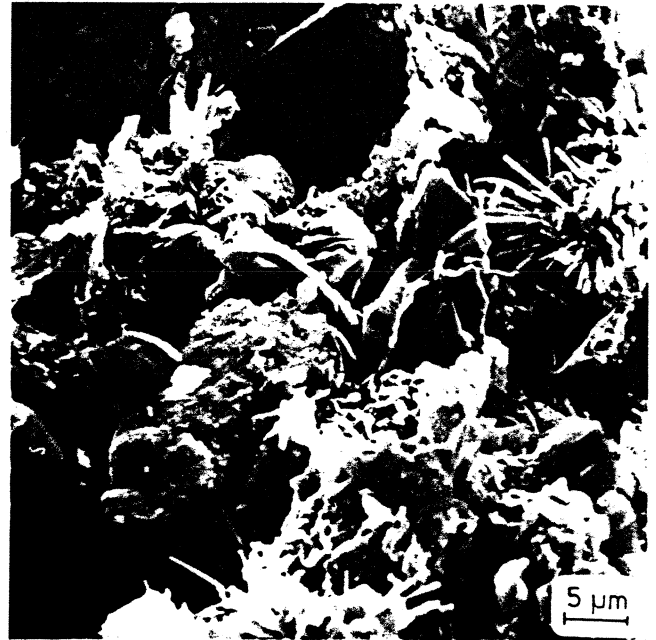


Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen typischen Ausschnitt aus dem Bereich der Grundmasse (bruchrauh). Die Grundmasse läßt sich im Teilbereich erst bei hohen Vergrößerungen in Einzelaggregate auflösen. Zeolithe sind dabei Bestandteile der Grundmasse. Es ist keine textuelle Einregelung zu erkennen. Ein sehr deutlicher Porenraum ist feststellbar.

REM-Analyse: Römer Tuff II

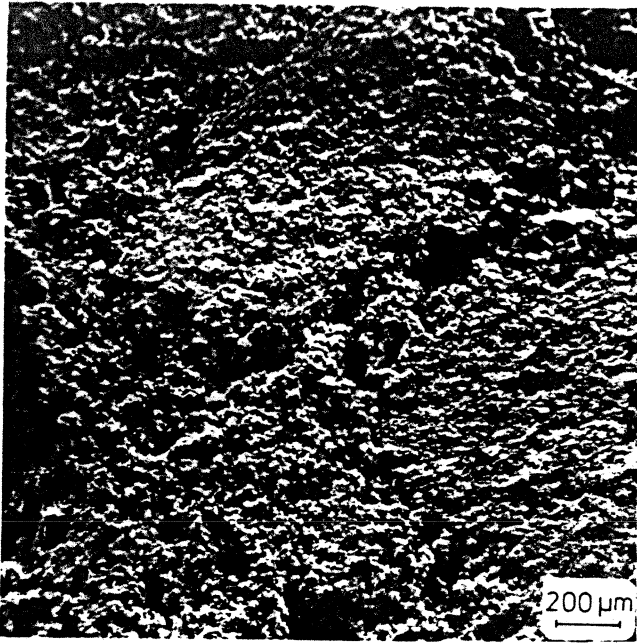


Fig. 1: Vergr. 50-fach

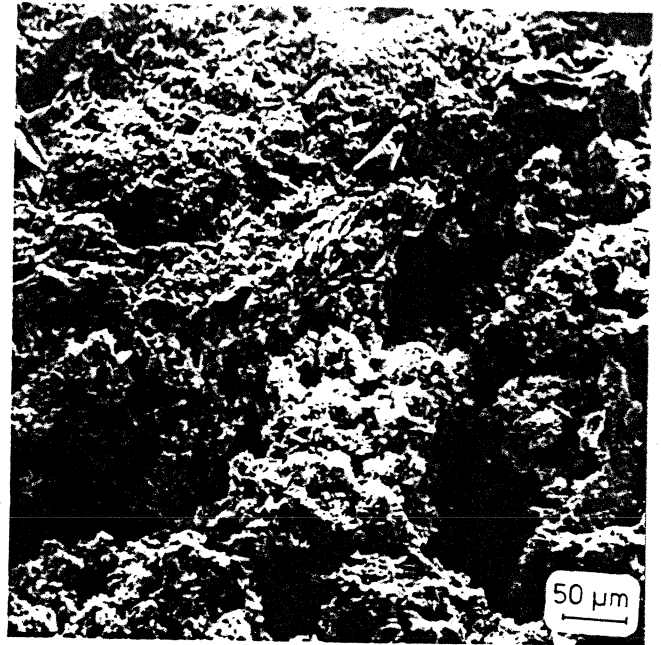


Fig. 2: Vergr. 200-fach

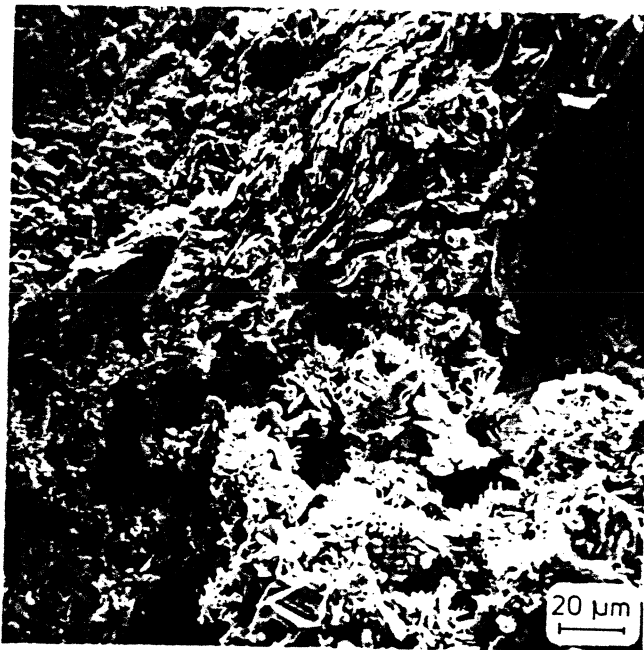


Fig. 3: Vergr. 500-fach



Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen typischen Ausschnitt aus dem Bereich der Grundmasse (angeschliffen). Die Grundmasse läßt sich im Teilbereich erst bei hohen Vergrößerungen in Einzelaggregate auflösen. Zeolithe sind dabei Bestandteile der Grundmasse. Es ist keine textuelle Einregelung zu erkennen. Ein sehr deutlicher Porenraum ist feststellbar.

REM-Analyse: Römer Tuff II

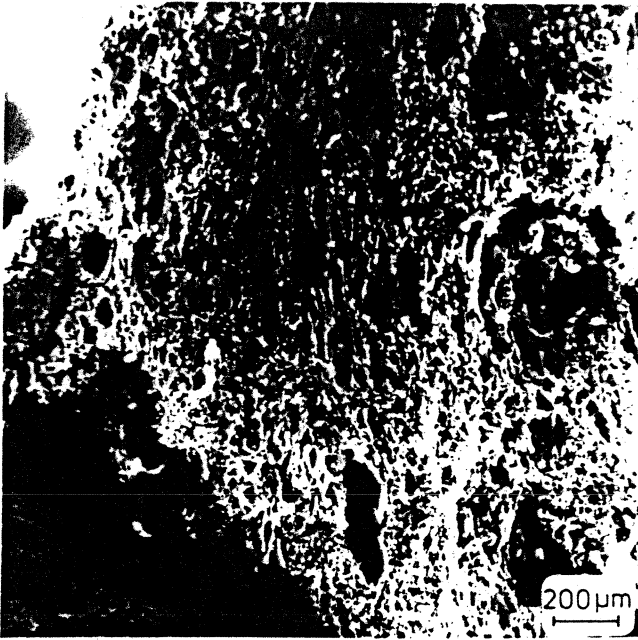


Fig. 1: Vergr. 50-fach

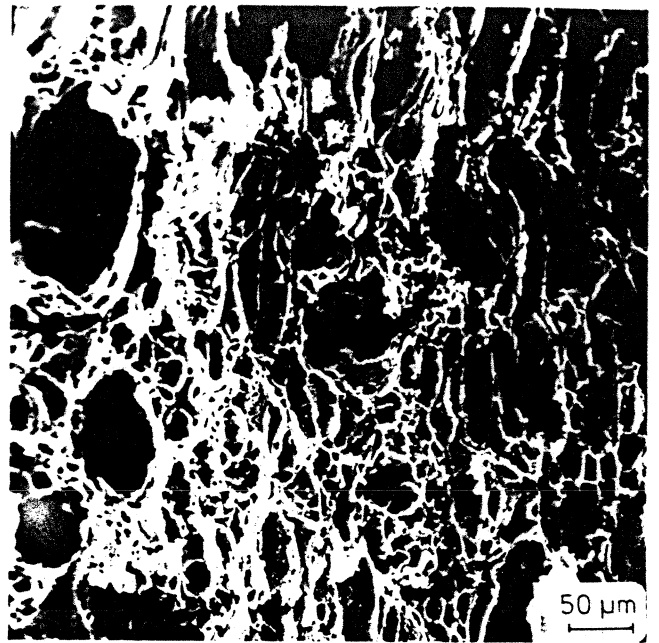


Fig. 2: Vergr. 200-fach

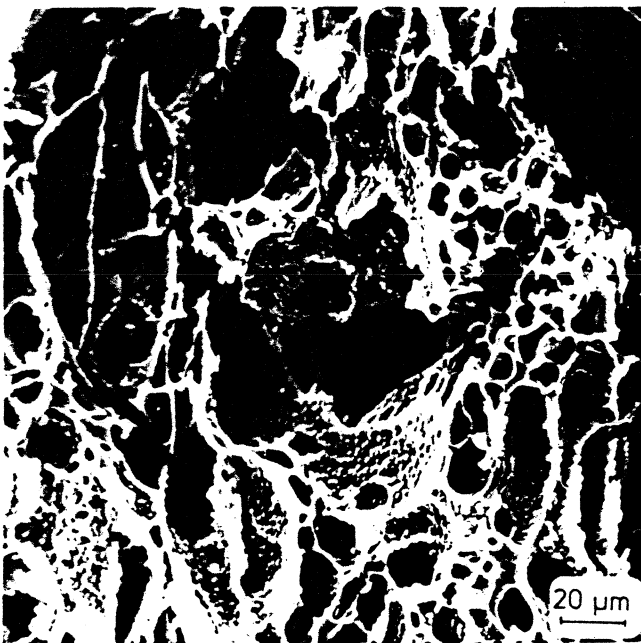


Fig. 3: Vergr. 500-fach



Fig. 4: Vergr. 2000-fach

Fig. 1-4 zeigen einen typischen Bimseinsprengling des Römer II mit blasigen Hohlräumen, in denen sich jedoch kaum bzw. keine Zeolith-Aggregate befinden.

REM-Analyse: Römer Tuff II

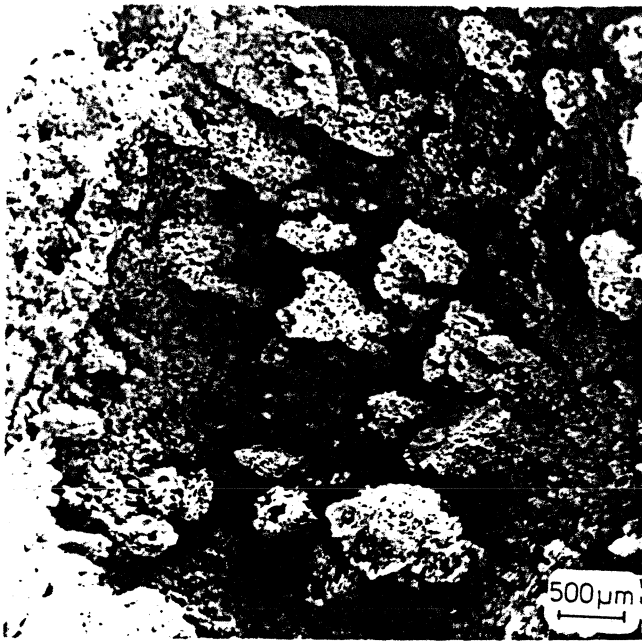


Fig. 1: Vergr. 20-fach

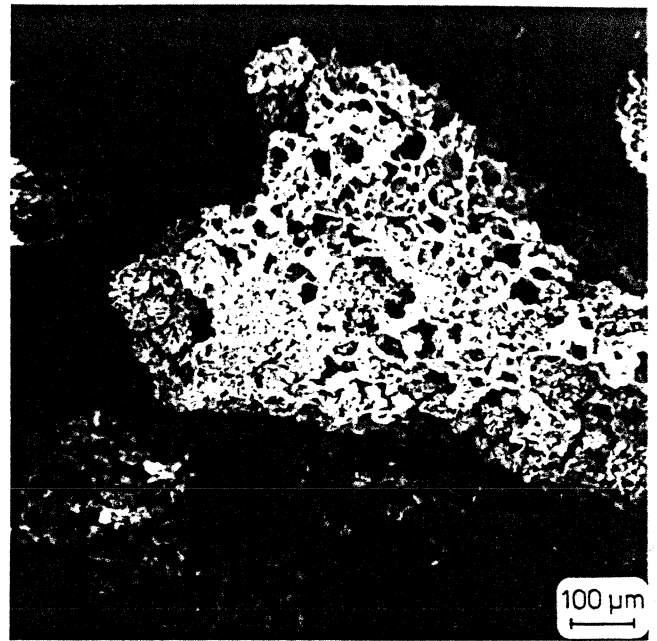


Fig. 2: Vergr. 100-fach

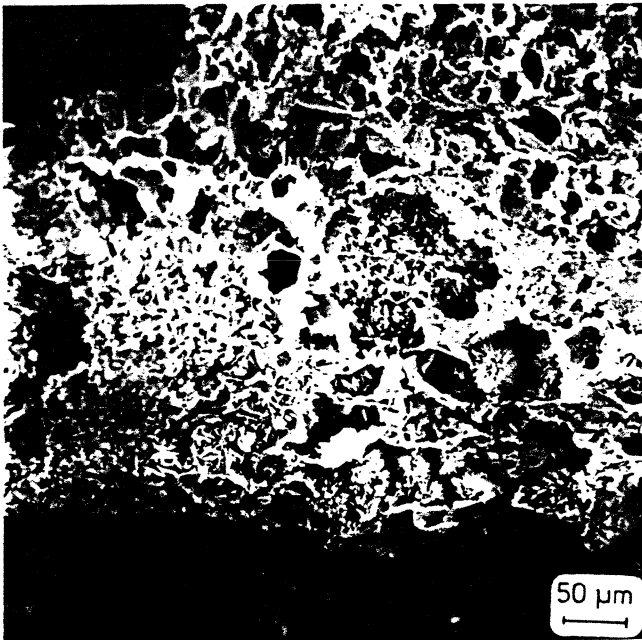


Fig. 3: Vergr. 200-fach

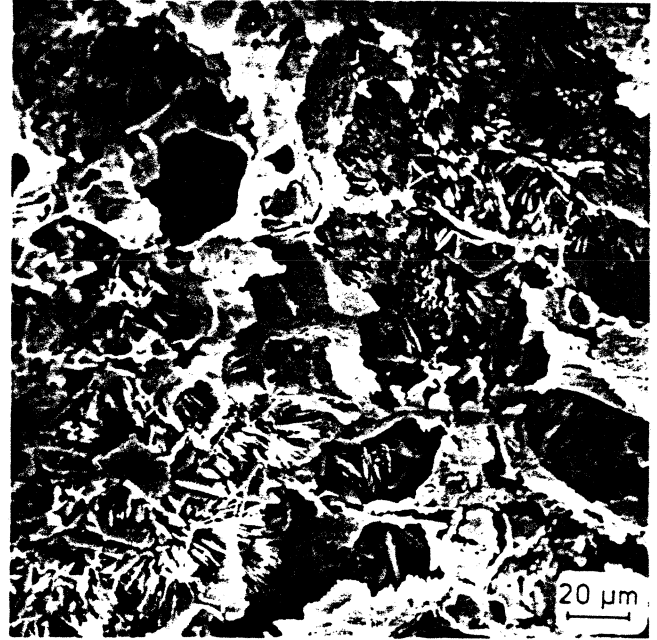


Fig. 4: Vergr. 500-fach

Fig. 1-4 zeigen einen typischen Bimseinsprengling, der zum größten Teil verwittert und von nadeligen Aggregaten (Zeolithen) durchsetzt ist.

3.7 Ultraschall-Laufzeitmessungen

Zur weiteren Charakterisierung des Probenmaterials wurden Ultraschall-Laufzeitmessungen durchgeführt. Dabei wurden sowohl an getrockneten (Glyzerin als Kopplungsmittel) als auch an maximal wassergesättigten Probenkörpern (H_2O als Kopplungsmittel) Ultraschall-Laufzeiten ermittelt. Die in Abb. 62 aufgeführten Kennwerte stellen Mittelwerte aus mehreren Einzelmessungen dar.

Gestein	Ultraschall-Laufzeiten ($m \cdot s^{-1}$)	
	trocken	max. H_2O -gesättigt
Ettringer	2189	2738
Hasenstoppel	2491	2933
Weiberner I	2475	2656
Weiberner II	2134	2354
Riedener I	2835	2893
Riedener II	2438	2754
Römer I	1979	2378
Römer II	1769	2217

Abb. 62: Ultraschall-Laufzeiten

4. Zusammenfassung

4.1. Literaturarbeit

- Das Laacher-See-Gebiet ist durch einen quartären Vulkanismus gekennzeichnet.
- Im Laacher Vulkangebiet sind verschiedene Eruptionsphasen feststellbar, bei denen auch Tuffe gefördert wurden. Für die älteste Phase sind Alter von ca. 600.000 bis ca. 300.000 Jahren ermittelt worden, das jüngste vulkanische Ereignis fand vor ca. 11.000 Jahren statt.
- Tuffe sind verfestigtes vulkanisches Lockermaterial. Sie bestehen aus Kristallen, vulkanischem Glas und Gesteinsbruchstücken.
- Die Selbergittuffe (Phonolithtuffe) des Laacher-See-Gebietes gehören der ältesten Förderphase an. Der Gehalt an Leucitmineralen führte zu der früher oft verwendeten Bezeichnung "Leucittuff". Technisch genutzte Vorkommen sind die von Ettringen, Rieden und Weibern (Ettringer Tuff, Riedener Tuff, Weiberner Tuff).
- Als "Traß" bezeichnete Tuffe sind der jüngsten Förderphase zuzuordnen und stellen eine fazielle Besonderheit der Trachyttuffe des Laacher-See-Gebietes dar. Technische Nutzung seit Römerzeiten spiegelt sich in der Benennung Römertuff wieder.
- Die Tuff-Natursteingewinnung im Laacher-See-Gebiet beginnt im Zeitraum der Besiedelung des Rheinlandes durch die Römer. Bevorzugte Abbaugebiete waren das Brohltal und das Nettetalgebiet (Römertuff).
- Mit dem Eindringen der Franken und dem Rückzug der Römer verliert der Tuffstein vorübergehend seine Bedeutung.
- Das romanische Mittelalter bringt eine neue Blütezeit für die rheinische Tuff-Natursteinindustrie. Beim Bau von Domen, Kirchen und Klöstern finden Tuffe aus dem ganzen Laacher-See-Gebiet Verwendung. Mit dem gotischen Mittelalter beginnt zwar eine neue Bauepoche, die Tuff-Natursteine behalten jedoch ihre wirtschaftliche Bedeutung. In der Mitte des 16. Jahrhunderts geht der Abbau des Römertuffs als Werkstein zugunsten anderer Tuff-

varietäten stark zurück.

- Während des 18. Jahrhunderts wird der Tuffabbau im Laacher-See-Gebiet fast vollständig eingestellt.
- Mitte des 19. Jahrhunderts steigt wieder der Bedarf an Tuff-Natursteinen. Aufgrund verbesserter Bearbeitungsmöglichkeiten erlangt der Ettringer Tuff wirtschaftliches Interesse.
- Nach dem 1. Weltkrieg ist auch diese Blütezeit überschritten.
- In ganz Deutschland und z.T. auch im Ausland lassen sich zahlreiche Bauwerke anführen, bei denen Tuff-Natursteine aus dem Laacher-See-Gebiet Anwendung fanden. Besonders im Rheinland weist eine große Anzahl von Kirchen Tuffsteinverbauung auf.
- Kennwerte über gesteintechnische Eigenschaften dieser Tuff-Natursteine liegen bisher nur in geringem Umfange vor.

4.2. Probenentnahme und Geländearbeit

- Für die Probenentnahme von Tuffen aus dem Laacher-See-Gebiet wurden Geländebegehungen durchgeführt und vier Entnahmegebiete festgelegt. Insgesamt wurden acht Gesteinsvarietäten ausgewählt:

Gebiet	Varietät	Lagerungsverhältnisse
I Raum Ettringen	1. Ettringer 2. Hasenstoppel	unterschiedliche Steinbrüche
II Raum Weibern	1. Weiberner I 2. Weiberner II	unterschiedliche Steinbrüche
III Raum Rieden	1. Riedener I 2. Riedener II	gleicher Steinbruch, unterschiedliche Abbau- horizonte
IV Raum Krufft	1. Römer I 2. Römer II	gleicher Steinbruch, unterschiedliche Abbau- horizonte

- Die Geländearbeit sowie Verbauungsbeispiele aus dem Laacher-See-Gebiet wurden photographisch dokumentiert.

4.3. Petrographische Untersuchungen

- Die Tuffe der verschiedenen Entnahmegebiete können anhand von Gesteinsfarbe, Struktur und Textur makroskopisch unterschieden werden. Wichtige strukturelle Merkmale sind die Anzahl und Größe der Einsprenglinge (Mineralfragmente, Gesteinsbruchstücke, Bimse). Als textuelles Kennzeichen ist der makroskopisch feststellbare Porenraum von Bedeutung. Die makroskopische Beschreibung aller acht Tuffvarietäten läßt sich unter Berücksichtigung der wichtigsten Einzelkennwerte prinzipiell folgendermaßen darstellen:

Gestein	Gesamtfarbeindruck	Einsprenglinge	Porenraum
Ettringer	lebhaft	überwiegend	erkennbar
Hasenstoppel	uneinheitlich	überwiegend	erkennbar
Weiberner I	einheitlich	häufig	deutlich
Weiberner II	einheitlich	häufig	deutlich
Riedener I	einheitlich	häufig	deutlich
Riedener II	lebhaft	überwiegend	deutlich
Römer I	uneinheitlich	sehr häufig	sehr deutlich, z.T. Hohlräume
Römer II	uneinheitlich	sehr häufig	sehr deutlich, z.T. Hohlräume

- Mit der mikroskopischen Analyse wurde das Probenmaterial qualitativ (Mineralbestand) und quantitativ (Grundmasse, Mineralbestand, Gesteinsbruchstücke, Bimse) untersucht sowie strukturelle und textuelle Merkmale im Mikrobereich bestimmt. Alle Tuffvarietäten sind durch unterschiedliche Gehalte an Einsprenglingen charakterisiert.

Gestein	Grundmasse (ca. Vol.-%)	Einsprenglinge		
		identifizierbarer Mineralbestand (ca. Vol.-%)	Gesteinsbruchstücke (ca. Vol.-%)	Bimse (ca. Vol.-%)
Ettringer	41	12	29	18
Hasenstoppel	45	8	31	16
Weiberner I	64	10	12	14
Weiberner II	67	8	15	10
Riedener I	60	7	18	15
Riedener II	35	10	35	20
Römer I	54	9	22	15
Römer II	52	7	24	17

Durch die mikroskopische Untersuchung wurde bei allen Tuffen ein Mineralgehalt an Feldspat, Quarz, Glimmer, Pyroxen und opaker Substanz nachgewiesen. Bestimmte Tuffe weisen zusätzlich Hornblende, Olivin und Granat auf. Bis auf den Weiberner I und Römer II wurde bei allen anderen Tuffvarietäten ein Karbonatgehalt festgestellt. Alle Selbergittuffe weisen Leucitminerale auf.

- Mit Hilfe der Röntgenbeugungs-Analyse wurde der Mineralbestand des Probenmaterials nochmals untersucht, um insbesondere die mineralische Zusammensetzung des Grundmasseanteils festzustellen und Tonminerale nachzuweisen. Aus der Grundmasse herauspräparierte Bimssubstanz wurde ebenfalls röntgenographisch untersucht. Bei allen Tuffvarietäten wurde zusätzlich zu den bei der mikroskopischen Analyse identifizierten Komponenten ein sehr deutlicher Hauptmineralanteil an Zeolithen nachgewiesen, die überwiegend der Grundmasse zuzuordnen sind. Alle Tuffe weisen einen Tonmineralgehalt an Chlorit und z.T. quellfähige Mixed-Layer-Tonminerale auf, die jedoch aufgrund ihrer geringen Quantität vernachlässigbar sind. Die untersuchten Bimse enthalten hauptsächlich die gleichen Zeolithminerale wie die Grundmasse. Der Römer II besitzt häufig nicht zeolithisierte bzw. unverwitterte Bimse, so daß hier nur Glassubstanz vorliegt. Alle Tuffe lassen sich anhand der nachgewiesenen Zeolithe wie folgt charakterisieren:

Gestein	überwiegender Zeolith-Gehalt	
	Grundmasse	Bimse
Ettringer	Phillipsit	Phillipsit
Hasenstoppel	Phillipsit	Phillipsit
Weiberner I	Analcim	Analcim
Weiberner II	Analcim	Analcim
Riedener I	Analcim	Analcim
Riedener II	Analcim	Phillipsit
Römer I	Analcim, Chabasit	Chabasit
Römer II	Analcim	je nach Verwitterungsgrad (Chabasit)

- Das Hohlraumgefüge eines Gesteins beeinflusst maßgeblich Art, Geschwindigkeit und Intensität von Verwitterungsprozessen. Daher wurden umfangreiche Untersuchungen über den für gesteintechnische Fragestellungen wichtigen Porenraum durchgeführt und mit Hilfe der Quecksilberporosimetrie eine Porenraumanalyse des Probenmaterials vorgenommen. Die quecksilberporosimetrisch ermittelten Kennwerte Reindichte, Rohdichte, Gesamtporosität und Porenradienverteilung beziehen sich nur auf den Porenradienbereich von 0,00375 μm bis 750 μm . Zusätzlich wurden die ersten drei Kennwerte durch Vergleichsverfahren bestimmt. Auffallend ist bei allen Tuffen die sehr hohe Gesamtporosität.

Gestein	Reindichte ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)		Rohdichte ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)		Gesamtporosität (%)	
	Quecksilberporosimetrie (Mittelwerte)	Mittelwerte aus Vergleichsverfahren	Quecksilberporosimetrie (Mittelwerte)	Mittelwerte aus Vergleichsverfahren	Quecksilberporosimetrie (Mittelwerte)	Mittelwerte aus Vergleichsverfahren
Ettringer	2,22	2,53	1,63	1,59	26,70	37,0
Hasenstoppel	2,22	2,47	1,55	1,51	30,19	38,9
Weiberner I	2,32	2,50	1,33	1,36	42,68	45,5
Weiberner II	2,36	2,52	1,37	1,32	42,01	47,6
Riedener I	2,38	2,51	1,44	1,43	39,50	43,0
Riedener II	2,34	2,59	1,50	1,59	35,90	38,7
Römer I	2,20	2,42	1,32	1,31	39,87	46,0
Römer II	2,23	2,38	1,27	1,11	42,81	53,2

Die bei der Porenraumanalyse ermittelten Porositätsverteilungen auf verschiedene Porenradienbereiche wurden für alle Tuffvarietäten sehr detailliert graphisch und tabellarisch dargestellt. Im Überblick können die Gesteine folgendermaßen charakterisiert werden:

Ettringer : angedeutetes Porositätsmaximum im Porenradienbereich $r = 0,1 - 1 \mu\text{m}$

Hasenstoppel: angedeutetes Porositätsmaximum im Porenradienbereich $r = 0,1 - 10 \mu\text{m}$

Weiberner I : deutliches Porositätsmaximum im Porenradienbereich $r = 0,5 - 2 \mu\text{m}$

Weiberner II: deutliches Porositätsmaximum im Porenradienbereich $r = 0,5 - 2 \mu\text{m}$

- Riedener I : deutliches Porositätsmaximum im Porenradienbereich $r = 0,5 - 2 \mu\text{m}$
- Riedener II: angedeutetes Porositätsmaximum im Porenradienbereich $r = 0,1 - 10 \mu\text{m}$
- Römer I : sehr deutliches Porositätsmaximum im Porenradienbereich $r = 1 - 10 \mu\text{m}$
- Römer II : Porositätsmaximum unterschiedlicher Deutlichkeit im Porenradienbereich $r = 1 - 10 \mu\text{m}$

- Die Innere Oberfläche des Gesteinsmaterials wurde sowohl rechnerisch aus den Werten der Quecksilberporosimetrie als auch experimentell durch das Stickstoff-Adsorptions-Verfahren bestimmt. Die experimentell ermittelten Werte liegen dabei z.T. erheblich über den rechnerisch bestimmten Werten für die Innere Oberfläche, da hier nur der quecksilberporosimetrisch erfaßte Porenradienbereich berücksichtigt wird.

Gestein	Innere Oberfläche ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) (Mittelwerte)	
	Quecksilberporosimetrie	Stickstoff-Adsorptions-Verfahren
Ettringer	3,60	26,29
Hasenstoppel	3,16	38,03
Weiberner I	4,15	14,72
Weiberner II	3,90	12,23
Riedener I	3,22	10,92
Riedener II	4,16	10,40
Römer I	1,80	9,13
Römer II	1,98	7,53

- Mit der Raster-Elektronenmikroskopie-Technik (REM-Analyse) wurde der Oberflächenbereich des Probenmaterials untersucht und Gesteinscharakteristika speziell im Grundmasse- und Bimsbereich erfaßt. Der Aufbau der Grundmasse, die Anzahl und Größe der Einsprenglinge, besonders von Leucitoedern, sowie die Ausbildung der Bimse stellen wichtige Unterscheidungsmerkmale dar. Erkennbare Einzelaggregate im Grundmasse- und Bimsbereich sind hauptsächlich Zeolithen zuzuordnen.

- Es wurden Ultraschall-Laufzeitmessungen an trockenen und maximal H₂O-gesättigten Probenkörpern durchgeführt. Alle Varietäten lassen sich dabei z.T. deutlich unterscheiden. Die Römertuffe sind durch die niedrigsten Geschwindigkeiten gekennzeichnet.
- Die Vielzahl der dargestellten Ergebnisse zeigt, daß innerhalb einer Tuffvarietät eine Streuung einzelner petrographischer Kennwerte auftreten kann. Weiterhin wurde festgestellt, daß unterschiedliche Tuffvarietäten übereinstimmende Merkmale besitzen. Aufgrund der Untersuchungsergebnisse ist zu erwarten, daß die bearbeiteten Tuffe deutlich unterscheidbare qualitative und quantitative Verwitterungseigenschaften aufweisen.

5. Literatur

- AHRENS, W.: Übersicht über die geologischen Verhältnisse des Laacher Seegebietes.- Verh. Naturhist. Ver. preuß. Rheinl. Westf., 85, 109-128, Bonn 1928 a.
- AHRENS, W.: Geologische Skizze des Vulkangebietes des Laacher Sees.- Jb. preuß. geol. LA., 51, 130-140, Berlin 1930 a.
- ANONYM: Vulkanische Baustoffe, 10. Jg., Nr. 4, 5-6; Nr. 5, 5-6, Neuwied 1927.
- BREIDLING, J.: Aus der Basaltlava- und Tuffindustrie der Eifel.-Stein-Industrie, 31. Jg., 452-454 und 469-472, 1936.
- DIENEMANN, W. u. BURRE, O.: Die nutzbaren Gesteine Deutschlands und ihre Lagerstätten, II. Band: Feste Gesteine.- 485 S., Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1929.
- FITZNER, B.: Die Prüfung der Frostbeständigkeit von Natursteinen.- Geol. Mitt., 10, 205-296, Aachen 1970.
- FRECHEN, J.: Siebengebirge am Rhein - Laacher Vulkangebiet - Maargebiet der Westeifel. Vulkanologisch-petrographische Exkursionen. Slg. geol. Führer, 56, 195 S., Stuttgart 1971.
- FÜCHTBAUER, H. u. MÜLLER, G.: Sediment-Petrologie, Teil II: Sedimente und Sedimentgesteine.- 726 S., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1970.

- GRAEPEL, B.: Die vulkanischen Gesteine im Kreise Mayen und deren Anwendung in der Baukunst.- Deutsche Bauzeitung, 33. Jg., 280-283 und 290-295, 1899.
- GUTACKER, W.Br.: Die Leuzittuffe der Eifel.- Monogr. z. Steinbr.-Industrie, 48 S., Union Deutsche Verlagsgesellschaft, Berlin 1917.
- HERRMANN, O.: Steinbruchindustrie und Steinbruchgeologie.- 428 S., Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin 1899.
- HIRSCHWALD, J.: Die bautechnisch verwertbaren Gesteinsvorkommnisse des preußischen Staates und einiger Nachbargebiete.- 283 S., Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin 1910.
- HIRSCHWALD, J.: Handbuch der bautechnischen Gesteinsprüfung.- 923 S., Verlag von Gebrüder Bornträger, Berlin 1912.
- HOPMANN, M.: Vulkane des Laacher-See-Gebietes.- in: HOPMANN-FRECHEN-KNETSCH, Die vulkanische Eifel, 9-52, Bonn 1959.
- HOSS, F.Th.: Die Steinmetzindustrie im Laacher Tuffgebiet unter besonderer Berücksichtigung des Ortes Weibern.- 110 S., Diss. Univ. Köln, 1922.
- JACOBS, J.: Die Verwertung der vulkanischen Bodenschätze in der Laacher Gegend.- Die Rheinlande, Nr. 6, 1914.
- KOLLBACH, : Deutscher Fleiß I , Köln 1917.
- KRAUSE, P.G.: Die technisch nutzbaren Gesteinsvorkommen der Rheinprovinz.- Der Steinbruch, 7. Jg., 752-783, Berlin 1912.

- LUDWIG, U. u. SCHWIETE, H.E.: Der Tuff, seine Entstehung und Konstitution und seine Verwendung im Baugewerbe im Spiegel der Literatur.- Forschungsberichte NRW, Nr. 948, 68 S., Köln 1961.
- MARTIUS, S.: Beiträge zu den Fragen nach der Ursprungsstelle der weißen Bimssteintuffe, dem Ursprungsort und der Entstehungsweise des Trasses unter besonderer Berücksichtigung des Nettetaler Trasses im Laacher-See-Gebiet.- Verh. Naturh. Ver. preuß. Rheinl. u. Westf., 68, Bonn 1911.
- NANDELSTAEDT, E.: Die Werk- und Pflastersteine Westdeutschlands.- 209 S., Kommissionsverlag Dr. Max Jaenecke, Verlagsbuchhandlung, Hannover 1910.
- PFEIFFER, L., KURZE, M. u. MATHE, G.: Einführung in die Petrologie.- 632 S., Akademie Verlag, Berlin 1981.
- RÖDER, J.: Die antiken Tuffsteinbrüche der Pellenz.- Bonner Jb., 157, 213-271, 1957.
- RÖDER, J.: Zur Steinbruchgeschichte des Pellenz- und Brohltaltuffs.- Bonner Jb., 159, 47-88, 1959.
- SLINGER, A., JANSE, H. u. BERENDS, G.: Natursteen in Monumenten.- 120 S., Rijksdienst voor de Monumentenzorg, Zeist, Bosch & Keuning n.v., Baarn, 1980.
- TUBAG: Hrsg. Druckschrift der Fa. TUBAG, Krufft 1941.
- WINDHEUSER, H.: Die Stellung des Laacher Vulkanismus (Osteifel) im Quartär.- Sonderveröff. Geol. Inst. Univ. Köln, 31, 223 S., Köln, 1977.

WOLF, A.J.:

Vom Eifeler Tuffsteinhandel im 17. und
18. Jahrhundert.- Aus Natur und Kultur
der Eifel, 5, 75 S., Euskirchen 1923.

Karten:

Deutsche Generalkarte 1 : 200.000, Nr. 12,
Mairs Geographischer Verlag, Stuttgart.