

Untersuchungen über die Veränderungen von Sedimentgesteinseinschlüssen im Suevit des Nördlinger Rieses

von

ISTVÁN BARANYI

Kurzfassung

Sedimentgesteinseinschlüsse aus 6 Suevitbrüchen des Nördlinger Rieses und unveränderte Sedimente aus der Umgebung des Rieses wurden mikroskopisch, röntgenographisch und chemisch untersucht und miteinander verglichen. Sie erbrachten folgende Erkenntnisse über die Veränderungen der mesozoischen Kalke, Tongesteine und Sandsteine durch die Rieskatastrophe:

Die Häufigkeit der einzelnen Sedimentarten scheint nicht in direktem Zusammenhang mit dem geologischen Untergrund zu stehen.

Einige Einschlüsse haben in einer dünnen Außenrinde durch die kurzdauernde Hitzeeinwirkung des Suevits eine Zersetzung der Karbonate erfahren. Im Inneren der Kalkeinschlüsse, wo das CO₂ nicht entweichen konnte, fand eine Neubildung von dioctaedischem Chlorit auf Kosten von Illit und Kaolinit statt.

Die Dauer dieser Hitzeeinwirkung hat wahrscheinlich im Minutenbereich gelegen.

Die Höhe der Temperatur war örtlich verschieden. Im allgemeinen sind Temperaturen zwischen 550–900 °C anzunehmen.

In der Rinde haben spätere Lösungen einige weitere Veränderungen hervorgerufen, die bei den Kalken und Tongesteinen zur Bildung von Fe-Oxiden und von Montmorillonit führten.

Das Fehlen kontaktmetamorpher Minerale deutet auf eine kurze Erhitzung und rasche Abkühlung des Suevits.

Summary

Optical, X-ray and chemical investigations and comparison were made concerning sedimentary inclusions of suevite breccia from 6 quarries of the Ries crater, further from unaltered sediments of the Ries neighbourhood. The results admit the following conclusions about the alteration of mesozoic limestones and marbles and sandstones during the Ries-explosion:

The distribution of different kinds of sediments indicate no connection with the geological basement. A few amounts of inclusions with a thin reaction rim, due to the influence of the hot suevite breccia, show a break-down of the carbonate minerals. CO₂ was not released from the inner part of limestone inclusions, therefore the building of dioctahedral chlorite was preferred at the expense of illite, kaolinite respectively. The estimated time of heating influence reached to some tenths of minutes. The height of temperature was locally different: commonly assumed temperatures lie between 550–900° C.

Successively circulating solutions effected further alterations in the reaction rims, that means forming of Fe-oxides and montmorillonite in limestone and marble inclusions.

The lack of contactmetamorphic minerals suggest short annealing and speedy cooling of suevite breccia.

1. Einleitung

Seit der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts berichteten zahlreiche Autoren über Beobachtungen an den sedimentären Einschlüssen im Suevit. GÜMBEL (1870) erwähnte scharfkantige oder nur an den Kanten abgerundete Kalksteineinschlüsse, die auffallend dunkelgrau bis schwarz gefärbt waren. Ähnlich beschrieb BRANCO (1903) „gebrannte“ Jurakalke von Unter-Bissingen, Stillnau und Rohrbach, v. KNEBEL (1903) „rotgebrannte“ Buchbergerölle (Mittel-Miozän) und „graugebrannten“ Weißjuragrieß von Burg Magerbein, OBERDORFER (1904) Kalkfragmente in der Suevitgrundmasse, Einschlüsse von Malmkalke bei Schmähingen, Ringelsmühle, Holheim, Altenbürg, Aufhausen, Hofen, Eglingen, Osterhofen, marmorisierte Malmkalke bei Mauren, Braunjurakalke bei Zipplingen. BENTZ et al. (1926) beobachteten „graugebrannte“ Weißjurablöcke bei Fronhofen und „schwarzgebrannte“ Malmkalke bei Groß-Sorheim, die intensive „Gesteinszerbreschung“ zeigten. In dem Suevit des Doosweiher Bruchs fanden sie dunkelgrau gefärbte Weißjura-Grieß-Blöcke und beschrieben eine Stelle wo der Suevit autochtone Unteren-Jurakalke durchbrochen haben soll. Nach SCHNELL (1926) enthielten die Suevite von Bollstadt, Seelbronn, Amerdingen, Christgarten zergrießte, „graugebrannte“ Malmkalke und Dolomite. DEHM (1931) hat im Suevit bei Fünfstetten „ungefrittete“ und „rotgefrittete“ Malmkalke und Dolomite, NATHAN (1935) bei Hürnheim Knollen von pulverigem Kalk in der „Brockentuff“-Grundmasse, GERSTLAUER (1940) bei Lehmingen schwarzgraue „gefrittete“ Malmkalke, DORN (1942) bei Öttingen Knollen von Malmkalke gefunden. Zum ersten Male hat DORN (1944) in Zipplingen und Heerhof im Suevit graue Malmkalke gefunden entgegen Beobachtungen anderer Autoren, die hier von dem Fehlen höherer Dogger- und Malmeinschlüsse berichteten. SCHALK (1957) bemerkte, daß die Jurabruchstücke im Suevit von Oberringen-Zoltingen keine Verfärbung zeigten. Geologische Untersuchungen von HÜTTNER (1958) im SW-Vorries wiesen auf häufige Armut an Sedimenteinschlüsse (Weißjura) in diesem Gebiet hin. Braunroten Keuperton (Knollenmergel) im Suevit haben OBERDORFER (1904) bei Zipplingen, BENTZ et al. (1926) bei Bollstadt, NATHAN (1935) bei Hürnheim, DORN (1942) bei Öttingen, ZÖLLNER (1946) bei Steinhart und „gefrittete“ Keupermergelschollen bei Kreuthof MÜNZING (1954) beschrieben. Nach DORN (1942) waren diese Keupereinschlüsse meist nichtgerundet, unregelmäßig, kantig.

Einschlüsse von Keupersandstein (Stubensandstein) im Suevit fanden FRAAS (1919) bei Zipplingen, MÜNZING (1954) bei Kreuthof, Doggersandstein DEHM (1931) bei Fünfstetten, DORN (1944) bei Zipplingen.

Schon GÜMBEL (1891) und später NATHAN (1925) äußerten die Ansicht, daß die Schwarzfärbung der Kalke durch die Erhitzung verkohlten organischen Beimengungen verursacht sei.

Aus dem Fehlen von Schmelzerscheinungen folgte SAUER (1901), daß das Tuffen beige-menge Keuper- und Juramaterial erst im letzten Augenblick der Eruption mitgerissen und daher nur unerheblich von der Hitzewirkung getroffen wurde. LÖFFLER (1926) deutete die Frittung der Kalke als eine Folge kurzer Berührung mit dem Suevit, dessen Abkühlung sehr rasch erfolgt sein müßte. Aus der Häufigkeit der sedimentären Komponente konnte ACKERMANN (1958) auf verschiedene mesozoische Deckgebirgsmächtigkeiten schließen. Seine Ergebnisse stimmen gut mit denen der Geophysiker REICH und HORRIX (1955) überein.

Auf die Wirkung hoher Temperaturen zurückgeführte Veränderungen von Farbe und Beschaffenheit der Sedimenteinschlüsse im Suevit wurden bisher nur makroskopisch beschrieben. Es ist das Ziel der vorliegenden Arbeit die Natur dieser Veränderungen durch mikroskopische, röntgenographische und chemische Untersuchungen genauer zu bestimmen, und daraus, wenn möglich auf die Bildungsbedingungen des Suevits zu schließen.

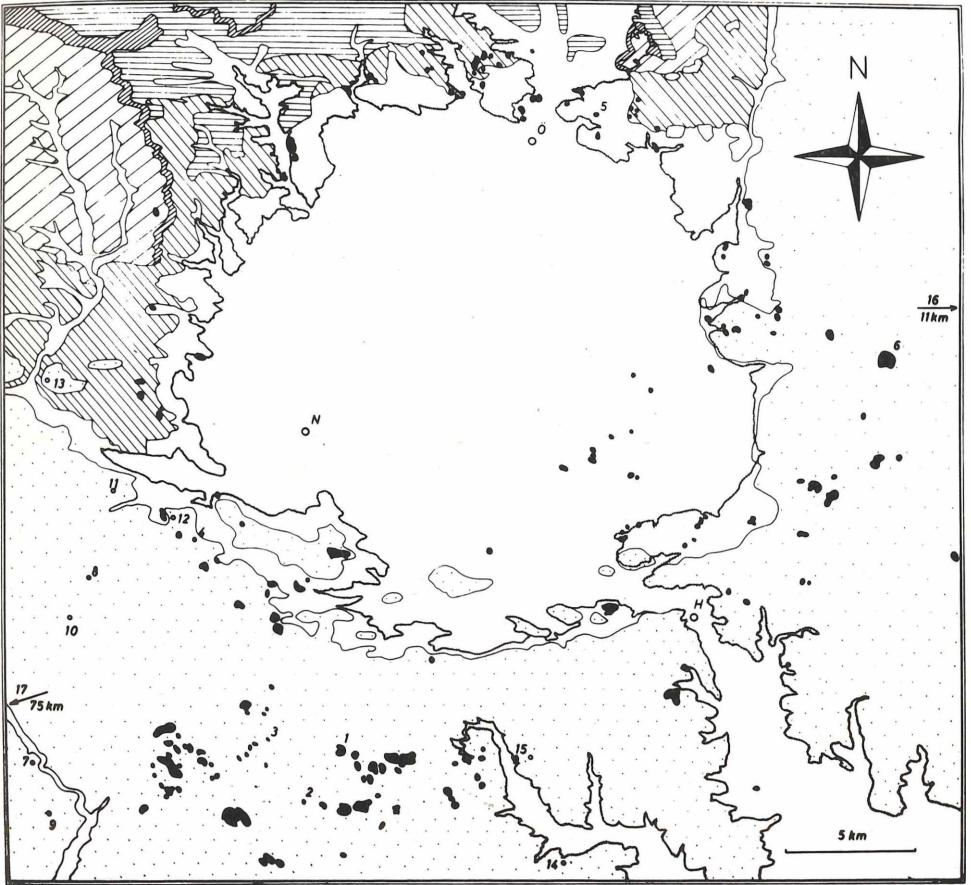


Abb. 1. Vereinfachte geologische Karte des Rieses und Suevitvorkommen. (Nach geol. Karten von HÜTTNER (1958), SCHALK (1957), BARTHEL (1957), MÜNZING (1954), TREIBS (1950), SCHRÖDER (1950), ZÖLLNER (1946), WEBER (1941), GERSTLAUER (1940), NATHAN (1935) (1925), DEHM (1931).

Suevit-Steinbrüche:

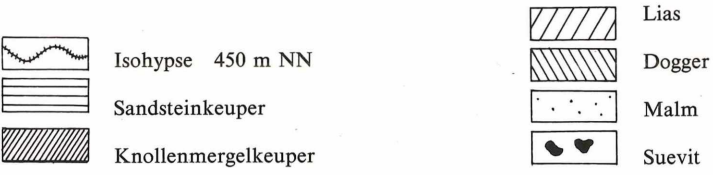
- 1. Bollstadt
- 2. Amerdingen
- 3. Aufhausen
- 4. Altenbürg
- 5. Aumühle
- 6. Otting

Entnahme von Vergleichsproben:

- 7. Neresheim
- 8. Dehlingen
- 9. Dischingen
- 10. Ohmenheim
- 11. Trochtelfingen
- 12. Utzmemmingen
- 13. Bopfingen
- 14. Bissingen
- 15. Burgmagerbein
- 16. Solnhofen
- 17. Urach

Städte:

- N = Nördlingen
- Ö = Öttingen
- H = Harburg



2. Probenahme und makroskopische Beobachtungen

Sedimentgesteinsinschlüsse wurden in 6 Suevit-Steinbrüchen gesammelt, die auf der Karte, Abb. 1, verzeichnet sind. Zum Vergleich wurden unveränderte Malmkalke an den in der Karte verzeichneten Lokalitäten 7—11, 14 und 15 sowie in Solnhofen (Nr. 16) und in Urach (Nr. 17) gesammelt; ein unveränderter Doggerkalk stammte aus Bopfingen (Nr. 13).

Die Menge der sedimentären Einschlüsse wird von ACKERMANN (1958) mit 0,2—1,2% angegeben. Sie bestehen hauptsächlich aus Malmkalcken und Keupermergeln, daneben kommen Liaskalke, Lias- und Doggermergel, Dogger- und Keupersandsteine vor.

Es wurden die drei Hauptgruppen der Kalke, Tongesteine und Sandsteine unterschieden. Wie sich diese Haupttypen auf die Gesamtheit von insgesamt 1225 Sedimenteinschlüssen verteilen, zeigt Tabelle 1.

Tab. 1. Typen und Verteilung der Sedimenteinschlüsse (in Stückzahlen)

	Anteil der Kalke		Anteil der Tongesteine		Anteil der Sandsteine		Anzahl der Sedimenteinschlüsse
	mit Rinde	ohne Rinde	mit Rinde	ohne Rinde	mit Rinde	ohne Rinde	
Bollstadt	10	73	1	13	1	2	715
Altenbürg	3	80		16	-	1	166
Otting	7	81		6	1	5	112
Amerdingen	8	83		6	-	3	111
Aumühle	7	72	1	13	-	7	75
Aufhausen	9	83		6	-	2	46

In den untersuchten Steinbrüchen überwiegen die Einschlüsse der Malmkalke. Ihr Anteil ist auch in Aumühle, wo heute, wie schon zur Zeit der Rieskatastrophe, kein Weißjura ansteht, höher als der der übrigen Sedimente.

Unterschiede bestehen in der Verteilung der Ton- und Sandsteineinschlüsse. Relativ reicher an Tongestein sind die Suevite in Bollstadt, Altenbürg und Aumühle, relativ sandsteinreich die in Aumühle und Otting. Die Häufigkeit der einzelnen Sedimentarten scheint nicht in direktem Zusammenhang mit dem geologischen Untergrund zu stehen.

Im Unterschied zu den Grundgebirgseinschlüssen zeigen die Sedimenteinschlüsse des Suevit keine oder offenbar nur geringfügige Veränderungen durch hohe Temperaturen. So konnten keine Sedimenteinschlüsse mit Schmelzerscheinungen beobachtet werden.

Die Kalksteineinschlüsse sind scharfkantig und lassen makroskopisch keine innere Zerbrechung oder „Zergrießung“ erkennen. Die meisten der gefundenen Kalke erscheinen abgesehen von einer manchmal erkennbaren grauen oder braunroten Verfärbung makroskopisch unverändert. Nur bei etwa 3—10% der Kalksteineinschlüsse wurde eine scharf begrenzte 0,5—15 mm dicke Rinde beobachtet (Abb. 2). Sie ist braunrot gefärbt, enthält oft braunschwarze Partien (Fe-Oxide) und ist von weicherer Beschaffenheit als das Innere.

Auch bei fast allen gefundenen Tongesteinen fehlt eine makroskopisch erkennbare Veränderung. Sie sind oft leicht gefaltet und von scharfen Bruchflächen begrenzt. An wenigen tonigen Einschlüssen wurde eine 20—40 mm dicke, deutlich abgesetzte Rinde beobachtet, die härter und dunkler als das Innere ist.

Die an ganz wenigen Sandsteineinschlüssen gefundene Rinde ist dunkler (braunrot) und weicher als das Innere und zeigt einen allmählichen Übergang.

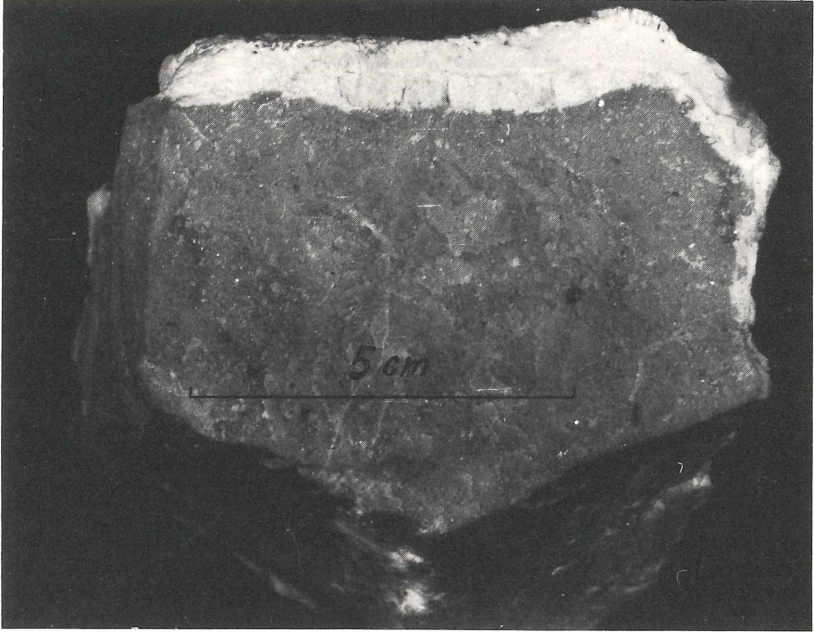


Abb. 2. Kalksteineinschluß mit Reaktionsrinde.

3. Mikroskopische Untersuchungen

3.1 Kalke

Die untersuchten 13 Dünnschliffe von Kalcken mit Rinde zeigten im Inneren mittel- bis grobkörnige Calcit- und Dolomitkristalle. Ihre mittleren Durchmesser variierten zwischen 80–220 μ . Die Kristalle zeigten keine Einregelung, sondern eine statistische Verteilung. Auch die untersuchten 32 Dünnschliffe von Kalcken ohne Rinde zeigten unregelmäßig verteilte, grobe Calcit- und Dolomitkristalle.

An der Grenze zur Rinde ändert sich das Gefüge plötzlich scharf. Die Rinde besteht aus sehr feinen Karbonatkörnern. Öfters schwimmen in der feinkörnigen Grundmasse der Rinde noch große Brocken von dem Inneren oder unregelmäßige Fetzen von Eisenoxidfüllungen.

Einige Kalkeinschlüsse (Malmkalke) wurden mit kaltem 5%-HCl bzw. mit kalter 5%-Essigsäure behandelt. Von den Einschlüssen mit Rinde wurden Rinde und Inneres getrennt. Der Säurerückstand wurde nach Trocknung bei 110 °C gewogen und für die weitere mikroskopische und röntgenographische Untersuchung durch Sieben in die Fraktionen < 63 μ und > 63 μ geteilt. Die Ergebnisse zeigt Tabelle 2.

Die Gesamtmenge des Säurerückstands schwankt für die Kalke ohne Rinde zwischen 1,8–9,5% (Mittel: 5,7%), für das Innere der Kalke mit Rinde zwischen 0,2 und 12,0% (Mittel: 3,9%). Ein systematischer Unterschied scheint nicht zu bestehen. Dagegen enthalten die Rinden immer einen wesentlich höheren Anteil an säureunlöslicher Substanz als das Innere. Die Absolutwerte schwanken zwischen 1,0% und 63,0%, das Mittel beträgt 32,4%.

Die Säurerückstände wurden durch Schlemmen und Sieben in die Fraktionen < 2 μ , 2–6,3 μ , 6,3–20 μ , 20–63 μ und > 63 μ geteilt. Von den Fraktionen 2–6,3 μ , 6,3–63 μ , > 63 μ wurden mit Azetylentetrabromid ($q = 2,95$) nach der Einfriermethode die Schwerminerale abgetrennt.

Tab. 2. Ergebnisse der Säurebehandlung von Kalkeinschlüssen in Gew.%. (+ = nicht ausgewogen)

	Probe Nr.	Gesamtrückstand		Fraktion < 63 μ		Fraktion > 63 μ	
		Inneres	Rinde	Inneres	Rinde	Inneres	Rinde
ohne Rinde	22 Bollstadt	7,8	-	92,2	-	7,7	-
	33 Otting	2,9	-	+	-	+	-
	34 Bollstadt	1,7	-	94,7	-	5,2	-
	41 Altenbürg	8,2	-	+	-	+	-
	42 Bollstadt	6,2	-	+	-	+	-
	46 Bollstadt	3,7	-	+	-	+	-
	50 Otting	9,4	-	+	-	+	-
mit Rinde	10 Bollstadt	11,8	16,8	93,8	85,6	6,1	14,3
	17 Otting	3,2	+	96,3	+	3,6	+
	18 Bollstadt	4,5	+	97,0	+	2,9	+
	19 Aufhausen	1,9	36,6	+	+	+	+
	20 Aumühle	6,7	+	95,8	+	4,1	+
	23 Bollstadt	3,0	13,6	94,6	83,2	5,3	16,7
	24 Bollstadt	1,3	63,1	95,1	78,6	4,8	21,3
	26 Bollstadt	7,2	33,6	96,0	82,7	3,9	17,2
	27 Bollstadt	0,2	0,9	96,5	81,4	3,4	18,5
	28 Bollstadt	3,0	39,5	95,3	85,2	4,6	14,7
	30 Bollstadt	0,1	43,6	+	+	+	+
	35 Otting	6,1	15,9	93,7	89,0	6,2	10,9
	37 Bollstadt	2,8	53,0	94,7	84,0	5,2	15,9
	43 Otting	5,6	22,3	+	+	+	+
	45 Bollstadt	4,3	25,6	+	+	+	+
	51 Altenbürg	2,4	29,5	+	+	+	+
	54 Bollstadt	2,2	47,9	+	+	+	+
57 Bollstadt	2,5	46,8	95,0	80,6	4,9	19,3	
77 Aufhausen	5,0	29,0	+	+	+	+	

An leichten Mineralien wurden in den Fraktionen > 6,3 μ im Inneren der Kalkeinschlüsse mit und ohne Rinde Quarz, Feldspat und Dolomit gefunden. In den Rinden wurden Quarz, Feldspat und Zeolithe beobachtet.

Die Menge des Quarzes (80—85 Kornprozent) ist im Inneren der Kalke und in den Rinden etwa gleich. Es handelt sich um meist abgerundete Körner aus einem Kristall oder aus einem quarzitischem Aggregat.

Der Anteil der Feldspäte beträgt etwa 5—15 Kornprozent. Die Fraktion 20—63 μ enthält die meisten Feldspäte. Es handelt sich um detritische Körner von Orthoklas und Na-reichen Plagioklas.

Dolomit wurde in Form angeätzter Rhomboeder und unregelmäßiger Bruchstücke im Inneren der Kalke gefunden.

In den Rinden der Einschlüsse 18 und 23 wurden einzelne Körner beobachtet, die aus fächer-, kamm- oder faserförmigen Aggregaten von Heulandit und Desmin bestehen.

Die Menge der Schwerminerale beträgt 0,1—0,5 Gew.%. Sie bestehen überwiegend aus opaken Fe-Oxiden und Fe-Hydroxiden. Im Unterschied zu den unbeanspruchten Malmkalken der Schwäbischen Alb fehlt im Inneren und auch in der Rinde der Pyrit. Die Tabelle 3 gibt die Verteilung der Schwerminerale in 3 Kalkproben wieder.

Tab. 3. Schwermineralien in 3 Kalkeinschlüssen
(+++ = sehr reichlich, ++ = viel, + = wenig, - = fehlend)

Probe Nr.	22	23		77	
		Inneres	Rinde	Inneres	Rinde
Zirkon	+++	++	++	+++	++
Turmalin	++	++	+	+++	++
Rutil	-	+	+	+	+
Granat	+	+	+	+	+
Magnetit	+	+	++	+	++
Amphibol	(+)	+	+	+	+
Apatit	+	+	+	+	-
Anatas	-	+	-	+	+
Korund	(+)	(+)	-	-	-

Es besteht offenbar kein Unterschied im Schwermineralgehalt von Innerem und Rinde. In allen untersuchten Fällen überwiegen die Minerale der Stablen Gruppe. Im einzelnen wurde folgendes beobachtet:

Zirkon: alle Übergänge zwischen scharfkantigen und ganz abgerundeten Formen kommen vor. Zonarbau und Altbestand, sowie Trübung durch Einschlüsse sind häufig zu beobachten.

Turmalin: meist prismatische, ausgezeichnet idiomorphe Kristalle mit starker Pleochroismus bilden den Hauptteil. Öfters reich an Einschlüssen. Daneben kommen auch korrodierte oder stark abgerundete Formen vor.

Amphibol: sie zeigen nach den Lichtbrechungen Kristalle von eckermannitischer Natur die idiomorph, abgerundet und oft stark korrodiert sind.

Granat: ein braungelber und ein hellrosa Typus wurde beobachtet.

Im reichlich vorhandenen opaken Anteil (im Inneren 35—40%, in der Rinde 40—45%) wurden kantige Bruchstücke von Magnetit gefunden.

Tab. 4. Ergebnisse der Säurebehandlung von Toneinschlüssen in Gew.%

Probe Nr.	Gesamtrückstand		Fraktion < 63 μ		Fraktion > 63 μ	
	Inneres	Rinde	Inneres	Rinde	Inneres	Rinde
8 Bollstadt	68,9	-	97,8	-	2,1	-
9 Bollstadt	71,1	-	+	-	+	-
11 Bollstadt	74,6	-	98,2	-	1,7	-
21 Bollstadt	69,7	-	+	-	+	-
16 Bollstadt	73,2	95,1	98,0	94,0	1,9	5,9

3.2 Tongesteine

Vier der gefundenen Toneinschlüsse (Keuper) ohne Rinde und ein toniger Einschluß (Keuper) mit Rinde wurden mit 5%-HCl bzw. 5%-Essigsäure behandelt. Die Mengen der Säurerückstände sind in Tabelle 4 verzeichnet.

Mikroskopisch wurden in den Fraktionen $> 6,3 \mu$ Quarz, Feldspäte (neben Orthoklas, albitreiche Plagioklase) und Glimmer (Biotit und Muskowit) beobachtet. Quarz- und Feldspat-Körner sind gut gerundet.

Schwerminerale wurden wie bei den Kalkeinschlüssen abgetrennt. Ihre relative Mengen sind in der Tabelle 5 verzeichnet.

Tab. 5. Schwerminerale in Toneinschlüssen

Probe Nr.	16		11
	Inneres	Rinde	
Zirkon	+++	+++	++
Turmalin	+++	+++	+++
Rutil	+	+	+
Granat	++	+	++
Magnetit	+	+	+
Amphibol	+	+	-
Pyroxen	(+)	(+)	-
Apatit	+	+	+
Anatas	+	+	+

Der Anteil der Schwerminerale im Inneren der Probe 16 beträgt 0,3 Gew.%, in der Rinde 0,9 Gew.%. 45—65% aller Schwerminerale sind opak.

Die Minerale des Inneren unterscheiden sich nur durch ihren Zersetzungsgrad von denen der Rinde. An einigen Schwermineralien (Amphibol, Pyroxen, Apatit) der Rinde ist eine weitgehende Lösungskorrosion erkennbar.

An Leichtmineralen wurden im Inneren und in der Rinde Quarz, Feldspäte, Biotit und Muskowit beobachtet.

3.3 Sandsteine

Der untersuchte Sandstein (Probe 29, wohl Dogger) zeigt im Inneren Ooide, die um einen Goethitkern herum konzentrische helle und dunkle Schalen haben. In der Rinde werden die Goethitkerne größer bzw. verschwindet der ganze Schalenbau und der Kugel wird vollkommen von Goethit ausgefüllt. Die Anteile der HCl-unlöslichen Substanz in Gew.% zeigt Tab. 6.

Tab. 6. Ergebnisse der Säurebehandlung von Sandsteineinschlüssen in Gew.%

Probe Nr.	Gesamtrückstand		Fraktion $< 63 \mu$		Fraktion $> 63 \mu$	
	Inneres	Rinde	Inneres	Rinde	Inneres	Rinde
3 Bollstadt	74,5	85,3				
29 Bollstadt	73,4	87,0	45,0	39,8	54,9	60,1
31 Otting	72,9	83,4	52,7	37,6	47,2	62,3

An Leichtmineralen wurden im Inneren und in der Rinde Quarz, Feldspäte (Orthoklas und saurer Plagioklas) und Glimmer (Biotit und zwei Typen von Muskowit) beobachtet. Die Verteilung der Schwerminerale zeigt die Tab. 7.

Tab. 7. Schwerminerale des Sandsteineinschlusses 29

	Inneres	Rinde
Zirkon	+++	+++
Turmalin		
Rutil		
Granat		
Magnetit		
Goethit		
Amphibol		
Apatit		
Anatas	+	+

In beiden Teilen des Einschlusses ist fast die gleiche Schwermineralassoziation zu finden. Unterschiede bestehen nur darin, daß die Minerale der Rinde einen stärker zersetzten Eindruck erwecken und der opake Anteil in der Rinde zunimmt.

4. Röntgenographische Untersuchungen

4.1 Kalke

Es wurden die Fraktionen $< 2 \mu$ der säureunlöslichen Rückstände der Rinde und des Inneren von Kalkeinschlüssen, von rindenfreien Kalkeinschlüssen sowie von verschiedenen unbeanspruchten Dogger- und Malmkalken aus der Umgebung des Rieses röntgenographisch untersucht. Von jeder Fraktion wurde je eine Texturaufnahme des unbehandelten Materials, der mit Äthylenglykol behandelten, sowie der auf $550 \text{ }^\circ\text{C}$ erhitzten Substanz hergestellt. Die Texturpräparate wurden entweder durch Sedimentation einer Suspension auf einer Glasplatte, durch Pressen (75 t/cm^2) oder durch Zentrifugieren (4000 U/min) zubereitet. Die letztere Methode ergab die besten Ergebnisse.

Die Tonminerale wurden nach den üblichen Kriterien identifiziert; quellbare Schichten wurden durch den Vergleich der unbehandelten und der Glykolpräparate erkannt. Der in verschiedenen Proben nachgewiesene Sudoit (dioktaedrischer Chlorit) ist durch die Basisinterferenz bei 14 \AA und durch eine (060) Interferenz bei $1,50 \text{ \AA}$ charakterisiert. Mit Sicherheit konnte auf Sudoit in allen den Fällen geschlossen werden, wo kein Quarz und anderes Tonmineral nachgewiesen werden konnte.

Die Ergebnisse der röntgenographischen Untersuchungen sind in der Tabelle 8 zusammengefaßt.

Einige charakteristische Röntgendiagramme sind in Abb. 3 wiedergegeben.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die Tonminerale der unbeeinflussten Kalke sind in Übereinstimmung mit den Befunden von KNOBLAUCH (1963) Illit und Kaolinit. Außerdem ist etwas Quarz vorhanden.

Die Kalkeinschlüsse im Suevit enthalten in ihrem Inneren, und zwar unabhängig davon, ob sie eine sichtbare Rinde haben oder nicht, fast nur Sudoit. Eine Ausnahme macht lediglich die Probe 37, die statt des dioktaedrischen Chlorits ein montmorillonitisches Mineral enthält. Außerdem scheint der Quarzgehalt der Kalkeinschlüsse vermindert zu sein. Die Ein-

Tab. 8. Tonmineralgehalt der Säurerückstände von unbeeinflussten Jurakalken und Kalkeinschlüssen im Suevit. (+++ = viel, ++ = mittel, + = wenig, - = fehlend)

Probe Nr.		Illit	Kaolin.	Sudoit	Montm.	Montm.- Illit	Mixed- layer	
Riesumgebung	15 Bopfingen Dogger	+++	++	-	-	+	-	
	62 Trochtelfingen Malm	+++	++	+?	-	+?	-	
	65 Bissingen Malm	+++	++	+?	-	+	-	
	63 Utzmemmingen Malm Massenkalk	+++	++	-	-	+	+	
	64 Dehlinge Malm	+++	+	-	-	+	+	
	60 Solnhofen Malm	+++	++	+	+	+	-	
	58 Dischingen Malm	+++	+	-	-	-	-	
	59 Neresheim Malm	+++	++	-	+	+	-	
	61 Ohmenheim Malm	++	+?	+	-	+	+	
ohne Rinde	33 Otting	-	-	+++	-	-	-	
	34 Bollstadt	++	+	+?	-	-	-	
	41 Altenbürg	-	-	+++	+	-	-	
	42 Bollstadt	-	-	+++	+	-	-	
	46 Bollstadt	-	+?	+++	+	-	-	
	50 Otting	+	+	+++	-	-	-	
mit Rinde	Inneres	26 Bollstadt	-	-	+++	-	-	-
		28 Bollstadt	-	-	+++	+	-	-
		30 Bollstadt	-	+	+++	+?	-	-
		37 Bollstadt	+?	+	-	++	-	-
		43 Otting	+?	+?	+++	+?	-	-
		45 Bollstadt	+	-	+++	-	-	-
		51 Altenbürg	-	-	+++	+	-	-
	Rinde	23 Bollstadt	-	+	-	+++	-	-
		26 Bollstadt	+	-	+++	-	-	+
		28 Bollstadt	-	-	-	+++	-	-
30 Bollstadt		+	+	+	-	-	-	

setzung hat also offensichtlich eine Veränderung des Tonmineralbestandes hervorgerufen. Wieder anders ist die Tonsubstanz der Rinden zusammengesetzt. Erstens enthalten die Rinden außer dem kristallinen Anteil offensichtlich auch röntgenamorphes Material, da die Interferenzen der Mineralien verhältnismäßig schwach sind. Außerdem treten sehr verschiedene Mineralzusammensetzungen auf: Die Rinde der Probe 26 enthält wie ihr Inneres Sudoit; Die Rinden 23 und 28 enthalten Montmorillonit, die Rinde 30 ähnelt dem Mineralbestand der unbeeinflussten Kalke (Illit, Kaolinit, Quarz).

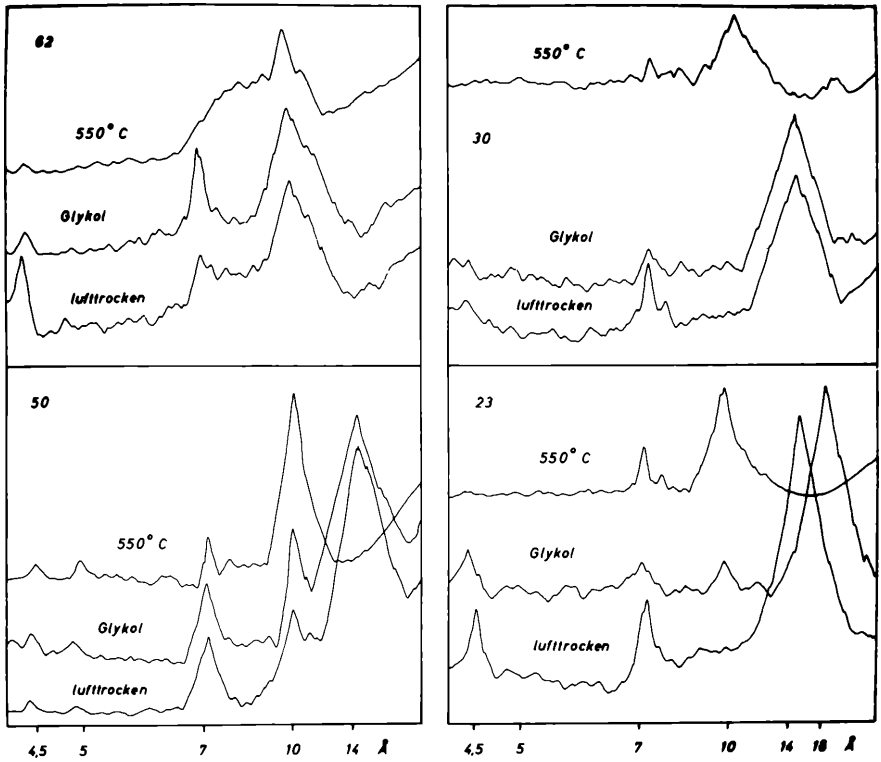


Abb. 3. Röntgendiagramme von den Tonmineralen der Kalke.

- 62 Unbeanspruchter Malmkalk (Trochertfingen)
- 50 Einschluß ohne Rinde (Otting)
- 30 Einschluß mit Rinde: Inneres (Bollstadt)
- 23 Einschluß mit Rinde: Rinde (Bollstadt)

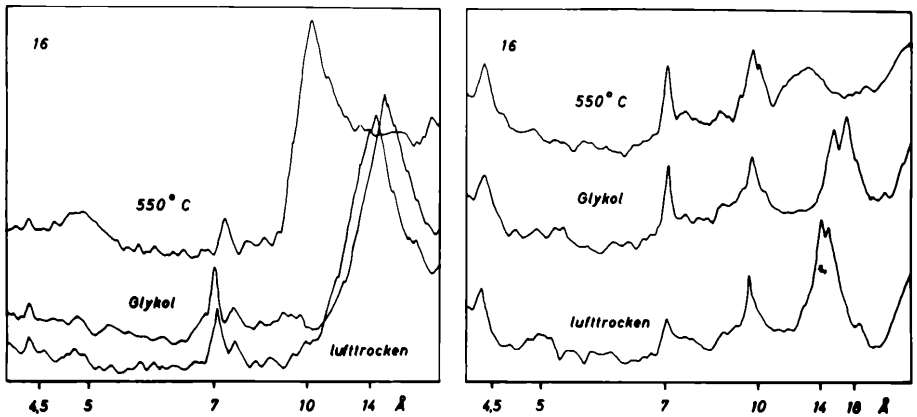


Abb. 4. Tonminerale im Toneinschluß 16 (Bollstadt)

4.2 Tongestein

Der Toneinschluß 16 (Bollstadt) wurde nach Vorbehandlung mit HCl nach derselben röntgenographischen Technik untersucht. Das Ergebnis zeigt das Diagramm in Abb. 4. Es ergibt sich, daß auch hier im Inneren vorwiegend dioktaedrischer Chlorit, in der Rinde dagegen Illit, Kaolinit, Chlorit und ein Mineral der Montmorillonitgruppe vorhanden sind.

4.3 Sandstein

Der Tonmineralegehalt von dem Sandsteineinschluß 31 (Otting) wurde nach HCl-Behandlung abgeschlemmt und röntgenographisch untersucht. Das Ergebnis zeigt Abb. 5.

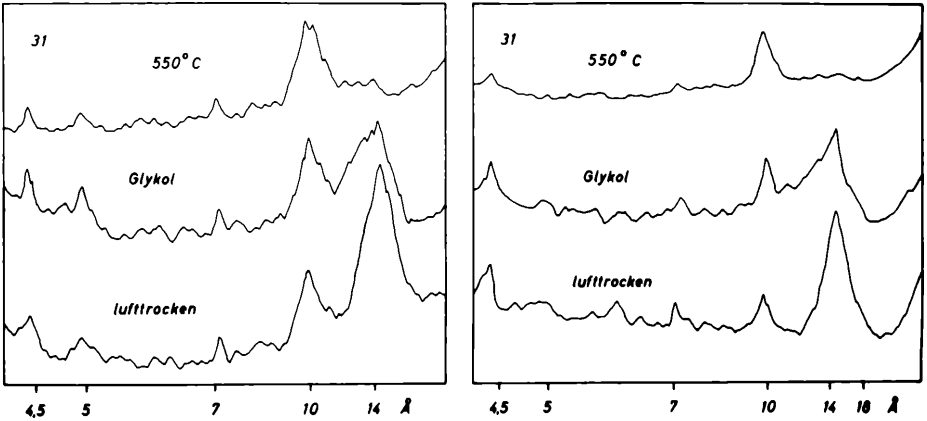


Abb. 5. Tonminerale im Sandsteineinschluß 31 (Otting).

Im Inneren und in der Rinde kommen dioktaedrischer Chlorit und Illit vor.

5. Chemische Analysen

5.1 Analytische Methoden

Die Bestimmung des Si erfolgte gravimetrisch aus dem Pottasche-Soda-Aufschluß. Die Gehalte der Elemente Al, Fe, Ti, P wurden auf dem Spektralphotometergerät (Fa. Beckmann) gegen einen äußeren Standard gemessen. Die Erdalkalien wurden komplexometrisch mit photoelektrischer Endpunktanzeige titriert: Calcium mit Calcein als Indikator direkt bestimmt, Magnesium aus der Summe Ca + Mg (Indikator Omegachromschwarz VS) berechnet. Zur Bestimmung der Alkalien, K, Na und für Sr stand ein Flammenphotometer zur Verfügung. Vom Glühverlust wurden die in einer Absorptionsanlage (nach HILLEBRAND et al., 1953) direkt bestimmten CO₂-Werte und das als Trockenverlust bei 110 °C bestimmte H₂O⁻ abgezogen. Der verbleibende Rest wurde als fest gebundenes Wasser (H₂O⁺) in Rechnung gestellt, wobei eine eventuell vorhandene Spur Sulfidschwefel vernachlässigt wurde.

5.2 Kalke

Die Tabelle 10 enthält die Ergebnisse der Analysen des Inneren und der Rinde von 6 Kalk-einschlüssen aus dem Suevit und zum Vergleich chemische Analysen von Malmkalken nach PETTJOHN (1957) und SEIBOLD (1952).

In Tabelle 11 sind die aus den Analysen der Tabelle 10 berechnete Zusammensetzung der karbonatfreien Anteile der Kalke und ihrer Rinden zusammengestellt. Die Berechnung wurde so durchgeführt, daß alles CaO und wenn dies nicht ausreichte zusätzlich MgO mit CO₂ zu Karbonat vereinigt wurde. Die übrigen Bestandteile der Analyse wurden dann auf 100 Gew.% umgerechnet. Besonders im Falle der reinen Kalke und der karbonatreichen Innenpartien der Einschlüsse kann dieses Verfahren natürlich nicht zu sehr genauen Zahlen führen, da der nichtkarbonatische Anteil nur einen geringen Teil des gesamten Gesteins bildet. Dennoch wird aus den Analysen deutlich, daß die Zusammensetzung des nichtkarbonatischen Restes für Inneres und Rinde sehr ähnlich oder fast identisch ist. Insbesondere ändert sich das Verhältnis von SiO₂ zu den Sesquioxiden unwesentlich. Die Rindenbildung besteht also im wesentlichen aus einer Dekarbonatisierung ohne Zu- oder Fortfuhr anderer Stoffe. Es fand offenbar in einer dünnen Rindenzone eine thermische Zersetzung der Kalke statt, das gebildete CaO wurde durch die im Suevit zirkulierenden Wässer zum größten Teil fortgeführt, z. T. erfolgte eine neue Bildung von feinkörnigem Calcit. Diese einfachen Reaktionen unterscheiden sich demnach wesentlich von den Vorgängen der Kontaktmetamorphose wie sie z. B. von BURNHAM (1959) und von JASMUND und HENTSCHEL (1964) für Kalkeinschlüsse in vulkanischen Gesteinen beschrieben wurden.

5.3 Tongestein

Aus dem HCl-Rückstand eines Toneinschlusses 16 (Bollstadt) wurde eine chemische Analyse angefertigt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 wiedergegeben. Außer dem Gehalt an Mg, das in der Rinde höher zu sein scheint, ist kein wesentlicher Unterschied von Rinde und Innerem zu erkennen.

Tabelle 9. Analysen der Salzsäurerückstände eines Toneinschlusses 16 (Bollstadt) in Gew.%

	Inneres	Rinde
SiO ₂	56,78	60,14
Al ₂ O ₃	17,24	17,54
Fe ₂ O ₃	5,26	6,16
TiO ₂	0,56	0,58
CaO	1,18	0,89
MgO	3,85	6,14
K ₂ O	1,60	1,20
Na ₂ O	0,45	0,46
P ₂ O ₅	0,72	0,39
Glühverl.	11,96	6,80
Summe	99,60	100,27

5.4 Sandstein

Der Salzsäureauszug eines Sandsteineinschlusses 29 (Bollstadt) wurde chemisch analysiert. Die Analyseergebnisse, die in der Tabelle 12 zusammengestellt sind, lassen keinen erkennbaren Unterschied für Inneres und Rinde feststellen.

Tabelle 10. Chemische Analysen der Kalke in Gew.%

	23		24		37		51		57		54			1	2	3
	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	V			
SiO ₂	2,37	10,98	2,02	33,05	1,30	26,70	1,36	13,55	1,34	21,84	1,14	23,00	1,62	6,94	0,84	1,15
Al ₂ O ₃	1,09	3,22	0,72	14,19	0,46	12,30	0,47	7,76	0,65	10,31	0,37	10,77	0,87	3,04	0,32	0,45
Fe ₂ O ₃	0,34	2,62	0,37	4,74	0,65	6,80	0,52	2,29	0,55	12,60	0,77	5,61	0,77	1,10	0,42	0,26
TiO ₂	0,02	0,08	0,11	0,39	0,11	0,47	0,05	0,32	0,16	0,52	0,03	0,02	0,08	-	-	-
CaO	52,20	43,68	53,58	16,20	53,86	20,38	53,88	39,18	54,02	23,36	53,92	29,72	53,26	48,50	54,20	53,80
MgO	0,95	1,27	0,42	3,04	0,13	2,04	0,32	1,32	0,02	0,95	0,32	0,96	0,32	1,10	0,79	0,56
StrO	0,02	0,03	0,04	0,05	0,02	0,04	0,04	0,04	0,01	0,05	0,01	0,04	0,04	-	-	-
K ₂ O	0,01	0,03	0,13	0,24	0,08	0,17	0,12	0,14	0,06	0,18	0,06	0,12	0,06	-	-	0,07
NH ₂ O	0,05	0,13	0,00	0,16	0,11	0,17	0,04	0,09	0,04	0,11	0,03	0,08	0,05	-	-	-
P ₂ O ₅	0,23	0,98	0,29	1,36	0,31	1,34	0,42	0,91	0,52	1,07	0,25	0,91	0,55	-	-	-
H ₂ O ⁻	0,12	0,62	0,18	7,85	0,18	5,80	0,18	3,89	0,17	7,55	0,06	3,20	0,02	-	-	0,32
H ₂ O ⁺	0,99	5,04	0,43	9,00	0,98	6,87	0,97	3,14	0,89	4,04	0,93	5,98	0,45	-	-	0,69
CO ₂	41,06	31,64	42,28	10,25	41,89	16,28	41,98	27,99	41,81	17,95	42,34	19,72	41,65	39,10*	43,06*	42,69
Summe	99,45	100,32	100,57	100,52	99,48	99,36	100,35	100,62	100,24	100,35	100,23	100,13	99,72	99,78	99,63	99,90

* Githverlust

- 23 Kalksteineinschluß Bollstadt
 24 Kalksteineinschluß Bollstadt
 37 Kalksteineinschluß Bollstadt
 51 Kalksteineinschluß Altenbürg
 57 Kalksteineinschluß Bollstadt
- 54 Kalksteineinschluß Bollstadt
 1 Malmkalk α von Neuffen nach SEIBOLD (1952)
 2 Malmkalk β von Neuffen nach SEIBOLD (1952)
 3 Solnhofener Plattenkalk nach PETTJOHN (1957)
 I = Inneres, R = Rinde, V = Verwitterungsrinde

Tabelle 11. Zusammensetzung der karbonatfreien Anteile der Kalke in Gew. % (berechnet aus den chemischen Analysen) I = Inneres R = Rinde V = Verwitterungsrinde

	23		24		37		51		57		54		
	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	I	R	V
SiO ₂	38,82	38,52	44,81	42,79	29,52	42,79	28,46	36,55	25,57	36,56	29,35	41,57	31,36
Al ₂ O ₃	17,84	11,59	15,94	19,57	10,44	19,57	9,87	20,93	12,43	17,28	9,52	19,48	16,81
Fe ₂ O ₃	5,56	9,21	8,20	10,89	14,81	10,89	10,89	6,17	10,29	21,13	19,74	10,12	14,87
TiO ₂	0,33	0,28	2,44	0,75	2,50	0,75	1,05	0,86	3,04	0,87	0,77	0,04	1,55
CaO	-	11,79	-	-	1,59	-	5,88	9,53	16,05	0,75	-	8,41	6,59
MgO	14,22	4,48	4,88	2,71	2,96	2,71	6,72	3,56	0,38	1,59	6,18	1,73	6,20
SrO	0,33	0,11	0,89	0,06	0,45	0,06	0,84	0,11	0,19	0,08	0,26	0,07	0,77
K ₂ O	0,16	0,11	2,88	0,27	1,82	0,27	2,53	0,38	1,14	0,30	1,54	0,22	1,16
Na ₂ O	0,82	0,46	-	0,21	2,50	0,27	0,84	0,24	0,76	0,19	0,77	0,14	0,97
P ₂ O ₅	3,77	3,45	6,43	2,15	7,05	2,15	8,79	2,46	9,93	1,79	6,42	1,64	10,64
H ₂ O ₂	1,96	2,19	3,99	9,32	4,08	9,32	3,77	10,74	3,23	12,69	1,54	5,78	0,39
H ₂ O ⁺	16,19	17,81	9,54	11,04	22,28	11,04	20,36	8,47	16,99	6,77	23,91	10,80	8,69
Summe	100,00 %												

Tab. 12. Analysen der Salzsäurerückstände eines Sandsteineinschlusses 29 (Bollstadt) in Gew.%

	Inneres	Rinde
SiO ₂	68,90	71,09
Al ₂ O ₃	5,79	6,59
Fe ₂ O ₃	5,35	6,76
TiO ₂	0,27	0,33
CaO	1,42	1,22
MgO	1,08	1,15
K ₂ O	0,24	0,13
Na ₂ O	0,20	0,42
P ₂ O ₅	1,48	0,82
Glühverl.	15,08	12,18
Summe	99,83	100,69

6. Diskussion der Ergebnisse

Die im Suevit des Nördlinger Rieses vorkommenden Einschlüsse von Sedimentgesteinen zeigen eine andere Beschaffenheit als die in der Literatur oft beschriebenen Sedimente, die durch magmatische Einwirkungen kontaktmetamorph verändert worden sind. Das Fehlen der Mineralvergesellschaftungen, die für magmatische Kontakte charakteristisch sind, bekräftigt die Auffassung, daß man hier mit anderen Temperaturbedingungen rechnen muß.

6.1 Kalke

Auffallend ist sowohl im Inneren als auch in der Rinde das Fehlen von kontaktmetamorphen Mineralien. Die Reaktionen zwischen CaCO₃ und SiO₂, die nach DYCKERHOFF (1925) bei 700–800 °C (bei Anwesenheit von Alkalien oder geringem Wasserdampf sogar bei noch tieferen Temperaturen) einsetzen sollten, blieben aus. Die Erklärung liegt wahrscheinlich darin, daß wegen der kurzen Erhitzungsdauer und raschen Abkühlung das durch die Zersetzung von Calcit und Dolomit freigesetzte Gas nur teilweise entweichen konnte. So herrschten im Inneren der Einschlüsse CO₂-Partialdrucke, deren Höhe einige atm über den Dissoziationsdrucken des CaCO₃ lagen. Dem Massenwirkungsgesetz entsprechend wirkten die hohen CO₂-Drucke im geschlossenen System hemmend auf die Zersetzung des CaCO₃ und verhinderten die Bildung der Minerale der sog. „Dekarbonatisationsserie“ (BOWEN, 1940) und die Bildung weiterer Mg- und Al-haltigen Kontaktminerale (TILLEY, 1951). Doch wurden durch die Erhitzung Veränderungen des Tonmineralbestandes auch im Inneren festgestellt, die Rückschlüsse auf die pT-Bedingungen erlauben. Aus dem durch Hitze zersetzten Kaolinit und Illit und aus dem entbundenen Kristallwasser bildete sich dioktaedrischer Chlorit (=Sudoit).

Beobachtungen von FÜCHTBAUER und GOLDSCHMIDT (1961) zeigten, daß Chlorit durch lokale Metamorphose aus Kaolinit gebildet werden kann. WARSHAW (1958) hat chloritähnliche Phasen im Hydrothermalbereich zwischen 475–500 °C aus alkaliarmen Si-Al-Gel hergestellt. Nach MÜLLER (mündliche Mitteilung) ist dioktaedrischer Chlorit in Bomben bei 450–500 °C und bei 500 atm H₂O-Partialdruck aus kaolinit- und illithaltigen Tonen hergestellt worden. Man kann also annehmen, daß bei der Erhitzung der Sedimenteinschlüsse im

Suevit auf 550–900 °C das Kaolinitgitter zusammenbrach, und aus dem Illitgitter die Hydroxylionen der Oktaederschichten herausstraten, ähnlich wie bei dem Montmorillonit (McCONNEL, 1951). In dieses aufgelockerte Illitgitter konnte dann eine brucitähnliche (Mg, Fe) (OH)₂-Schicht (McMURCHY, 1934) eingelagert werden und so zur Bildung des dioktaedrischen Chlorits führen.

Da der isotherme Zerfall des CaCO₃ sich aus einer Reihe aufeinanderfolgenden Teilvorgängen zusammensetzt, ist es sehr schwierig die Drucke, die im Inneren der Kalke herrschten, abzuschätzen. An der Oberfläche ist die Wärmezufuhr und der Abtransport des CO₂ am leichtesten, dort stellen sich die normalen Dissoziationsdrucke ein. In den tiefer liegenden Schichten aber kann das CO₂ während der kurzen Erhitzungsdauer, wegen geringen Diffusionsmöglichkeiten nicht weggeführt werden. Nimmt man an, daß die Temperaturen nicht höher als 1200 °C lagen, so ist für die CO₂-Drucke im Inneren der Kalke 1–100 atm anzugeben, denn nach EITEL (1924) fängt das Schmelzen des Kalkes bei 110 atm schon um 1200 °C an. Schmelzerscheinungen am Kalkinneren sind aber an keiner Probe festgestellt worden.

Die Zerfallsgeschwindigkeit von CaCO₃ in der Reaktionsrinde ist ebenfalls nur zu schätzen, da sie vom Fe-Gehalt des Karbonates, vom Tongehalt und von den Diffusionsmöglichkeiten des CO₂ in den heißen Suevit abhängt.

Versuche an gebrannten Malmkalken (Massenkalk) von Urach-Neuffen zeigten, daß die vollkommene Verbrennung eines 120-cm³-Kalkquaders bei 1200 °C 30 Minuten, bei 900 °C 360 Minuten in Anspruch nimmt. Abbildung 6 zeigt das Volumen der gebrannten Kalke in Abhängigkeit von der Zeit. Vergleicht man das Volumen des Inneren der Kalksteineinschlüsse mit dem Volumen der gebrannten Kalke, so ist die Brennzeit der Einschlüsse bei 900 °C mit 0–150 Minuten, bei 1200 °C mit 0–20 Minuten anzugeben.

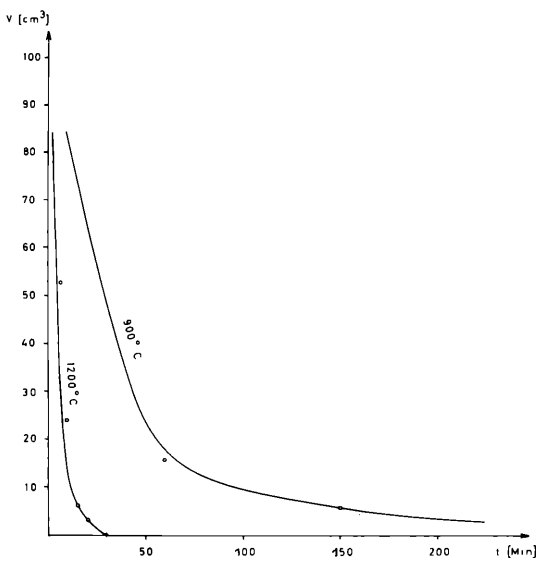


Abb. 6. Zerfall des Karbonates in erhitzten Malmkalken.

Die Röntgendiagramme von dem Inneren der gebrannten Kalkproben zeigten keine Linie der Tonminerale mehr. Auch die Linien des Spinells und des Mullits fehlten, die nach JASMUND (1955) aus Illit bei 850 °C bzw. 1050 °C gebildet werden können.

Die kurze Brennzeit reichte nur für die Zerstörung des Illit- und Kaolinitgitters, doch nicht für die Neubildung des Spinells und des Mullits aus.

Die Temperaturen im Suevit haben in den einzelnen Bereichen große Unterschiede aufgewiesen, denn dadurch war es möglich, daß sich nur an einem Bruchteil der Kalke eine Rinde ausbilden konnte. Da alle Kalke, auch die die keine Rinde haben, eine Veränderung des Tonmineralbestandes aufweisen, war die Durchschnittstemperatur höher als die Zersetzung der Tonminerale es erforderte.

Nach der Entfernung von CO₂ aus der gebrannten Rinde wurde der größere Teil des gebildeten CaO und MgO von den im Suevit zirkulierenden Wässern fortgeführt, ein kleinerer Teil bildete mit neu zugeführtem CO₂ feinkörniges Karbonat. Ohne wesentliche Zu- oder Abfuhr der übrigen Bestandteile kam es in der Rinde bei vorherrschend alkalischer Reaktion zur Bildung von Montmorillonit, z. T. auch von Zeolithen. Ein Teil der nichtkarbonatischen Rindensubstanz blieb in amorphem Zustand erhalten.

6.2 Tongesteine

Im Inneren und in der Rinde sind keine kontaktmetamorphen Minerale, sondern nur Veränderungen des Tonmineralbestandes festzustellen. In der Rinde sind primäre Hitzeeinwirkungen (Zersetzung des karbonatischen Bindemittels) zu beobachten.

6.3 Sandsteine

Am wenigsten sind die Sandsteineinschlüsse verändert worden, da sie die geringste Menge an karbonatischen Bindemitteln enthielten. Durch die Hitze sind im Inneren die Tonminerale, in der Rinde die Tonminerale und Fe-Oxide verändert.

6.4 Allgemeine Schlußfolgerungen

Nach den Kalkbrennversuchen sollte die Erhitzungsdauer im Minutenbereich liegen. Dadurch entstand nur eine relativ schmale strukturell veränderte Reaktionszone in den Kalcken, Mergeln und Sandsteinen.

Bedingt durch die Kürze dieser Erhitzung und durch die auftretenden Drucke fanden im Inneren der Einschlüsse nur isochemische Umwandlungen statt.

Nach den Bildungsbedingungen der dioctaedrischen Chlorite und nach den Zerfallstemperaturen der Tonminerale dürften die Erhitzungstemperaturen zwischen 550–900 °C gelegen haben. Daß diese Temperaturen tiefer liegen als die, die in Suevitgläsern herrschten (HÖRZ, 1965), dürfte darauf zurückzuführen sein, daß die Veränderungen an den untersuchten Sedimenten wahrscheinlich erst durch die herausgeschleuderten Suevitmassen hervorgerufen worden sind. Dafür spricht auch das Fehlen von Hochdruckmodifikationen.

Sucht man nach Energiequellen, die so plötzlich hohe Temperaturen erzeugen können, so kommt nur eine Wasserdampfexplosion oder ein Meteoriteinschlag in Betracht. Das Vorhandensein einer Dampfphase hätte aber wenigstens in der Reaktionsrinde zur Bildung von Calciumaluminaten und Calciumsilikaten geführt, von denen viele gegen Lösungen und schwache Säuren beständig sind und trotz der sekundären hydrothermalen Beanspruchung hätten erhalten bleiben müssen.

Herrn Professor Dr. W. VON ENGELHARDT danke ich für die Unterstützung und Korrektur dieser Arbeit, die als Diplomarbeit im Mineralogischen Institut der Universität Tübingen angefertigt wurde. Kurze Auszüge aus der Arbeit erschienen bereits in der Publikation von ENGELHARDT, STÖFFLER, SCHNEIDER 1969.

Literatur

- ACKERMANN, W. (1958): Geologisch-petrographische Untersuchungen im Ries. — *Geol. Jb.*, **75**: 135–182; Hannover.
- BARANYI, I. (1967): Untersuchungen über die Veränderungen von Sedimenteinschlüssen im Suevit des Nördlinger Ries. — Diplom-Arb. (Mineralogie), Univ. Tübingen, 29 S.
- BARTHEL, K. W. (1964): Das Ries und sein Werden. — Fränkisch-Schwäbischer Heimatverl. Öttingen.
- BENTZ, A., LÖFFLER, R., MOOS, A., SCHRÖDER, J. & SCHUSTER, M. (1926): Berichte über die Exkursionen während der Nördlinger Tagung. „Das Problem des Rieses“ — *Oberrhein. geol. Ver.*: 1–25; Nördlingen.
- BOWEN, N. L. (1940): Progressive metamorphism of siliceous limestone and dolomite. — *J. Geol.*, **48**: 225–274; Chicago.
- BRANCO, W. (1903): Das vulcanische Vorries und seine Beziehungen zum vulcanischen Riese bei Nördlingen. — *Abh. königl. preuss. Akad. Wiss.*, 1–132; Berlin.
- BURNHAM, C. W. (1959): Contact metamorphism of magnesium limestones at Crastmore, California. — *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **70**: 879–920; Boulder.
- DEHM, R. (1931): Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Mohnheim. — *N. Jb. Miner. etc., Beil.-Bd.*, **67**, Abt. B: 140–256; Stuttgart.
- DORN, C. (1942): Beiträge zur Geologie des Rieses. — *Zbl. Miner. etc., Abt. B 4*; Stuttgart.
- (1944): Die geologischen Verhältnisse der Suevitbrüche und ihrer Umgebung am Westrand des Rieses. *N. Jb. Miner. etc., Abt. B 2–3*: 33–60; Stuttgart.
- DYCKERHOFF, W. (1925): Über den Verlauf der Mineralbildung beim Erhitzen von Gemengen aus Kalk, Kieselsäure und Tonerde. — *Diss. Frankfurt/M.*
- EITEL, W. (1924): Über das binäre System $\text{CaCO}_3\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$ und den Spurrit. — *N. Jb. Miner., Beil.-Bd.*, **48**: 63–74; Stuttgart.
- von ENGELHARDT, W. & STÖFFLER, D. & SCHNEIDER, W. (1969): Petrologische Untersuchungen im Ries. — *Geol. Bavar.*, **61**: 229–295; München.
- FRAAS, E. (1919): Begleitkarte zu der geognostischen Spezialkarte von Württemberg. — 2. Aufl. Stuttgart.
- FÜCHTBAUER, H. & GOLDSCHMIDT, H. (1961): Beobachtungen zur Neubildung von Tonmineralien in Sandsteinen. — *Fortschr. Miner.*, **39**: 342–342; Stuttgart.
- GERSTLAUER, K. (1940): Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Öttingen. — *Mitt. Reichsst. Bodenf.*, **35**: 3–71.
- GÜMBEL, C. W. (1870): Über den Riesvulkan und über vulkanische Erscheinungen im Riesessel. — *Sitzungsber. königl. bayer. Akad. Wiss.* **1**: H. 2; München.
- (1891): Geognostische Beschreibung der fränkischen Alb. — Kassel.
- HILLEBRAND, W. F. & LUNDELL, G. E. F. & BRIGHT, H. A. & HOFFMANN, J. I. (1953): Applied inorganic analysis. — J. Wiley & Sons Inc., New York.
- HÖRZ, F. (1965): Untersuchungen an Riesgläsern. — *Beitr. Miner. Petr.*, **11**: 621–661; Heidelberg.
- HÜTTNER, R. (1958): Geologische Untersuchungen im SW-Vorries. — *Diss. Tübingen.*
- JASMUND, K. (1955): Die silicatischen Tonminerale. — *Verl. Chemie, Weinheim.*
- HENTSCHEL, G. (1964): Seltene Mineralparagenesen in den Kalksteineinschlüssen der Lava des Ertlinger Bellerberges bei Mayen (Eifel). — *Beitr. Miner. Petr.*, **10**: 296–314; Heidelberg.
- KNEBEL, W. v. (1903): Weitere geologische Beobachtungen am vulkanischen Ries bei Nördlingen. — *Z. deutsch. geol. Ges.*, **55**: 23–44.
- KNOBLAUCH, G. (1963): Sedimentpetrographische und geochemische Untersuchungen an Weißjurakalken der geschichteten Fazies im Gebiet von Urach und Neuffen. — *Diss. Tübingen.*
- LÖFFLER, R. (1926): Beiträge zur Riesentstehungshypothese. „Das Problem des Rieses“ — *Oberrhein. geol. Ver.* 26–83; Nördlingen.
- McMURCHY, R. (1934): The crystal structure of the chlorite minerals. — *Z. Kristallogr.*, **88**: 420–432; Dresden.
- McCONNEL, D. (1951): The crystal chemistry of montmorillonite I–II. — *Clay Miner. Bull.* **1**: 178–188; Oxford.
- MÜLLER, G. (1967): mündliche Mitteilung.
- MÜNZING, K. (1954): Geologische Untersuchungen zwischen Bopfingen und Nördlingen. — *Diss. Tübingen.*
- NATHAN, H. (1925): Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Möttingen. — *N. Jb. Miner. etc., Beil.-Bd.* **53**: Abt. B: 31–79; Stuttgart.

- (1935): Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Ederheim. — Abh. Geol. Lamt. Bayer. Oberbergamt, **19**; München.
- OBENDORFER, R. (1904): Die vulkanischen Tuffe des Ries bei Nördlingen. — Diss. Stuttgart.
- PETTIOHN, F. J. (1957): Sedimentary rocks. — New York.
- REICH, H. & HORRIG, W. (1955): Geophysikalische Untersuchungen im Ries und Vorries und deren geologische Deutung. — Beih. geol. Jb. **19**: 119; Stuttgart.
- SAUER, A. (1901): Petrographische Studien an den Lavabomben aus dem Ries. — Jh. Ver. vaterl. Naturk. Württ., **88**: 57; Stuttgart.
- SCHALK, K. (1957): Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Bissingen. — Geol. Bavar., **31**: 1—107; München.
- SCHNELL, T. (1926): Der bayerische Trass und seine Entstehung. „Das Problem des Rieses“ — Ober-rhein. geol. Ver., 222—279; Nördlingen.
- SCHRÖDER, J. & DEHM, R. (1950): Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Harburg. — Abh. Nat. Ver. Schwaben, **5**; Augsburg.
- SEIBOLD, E. (1952): Chemische Untersuchungen zur Bankung im unteren Malm Schwabens. — N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **95**: 337—370; Stuttgart.
- TILLEY, C. E. (1951): A note on the progressive metamorphism of siliceous limestones and dolomites. — Geol. Magaz., **88**: 175—178; Cambridge.
- TREIBS, W. (1950): Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Otting. — Geol. Bavar., **3**: 1—52; München.
- WARSHAW, C. M. (1958): Experimental studies of illite. — Proc. 7th Nat. Conf. Clays, 303—316; —
- WEBER, E. (1941): Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Wemding. — Abh. Naturkde. Tiergart. — Ver. Schwab. Augsburg Geol.-Paläont. R., **2**: 1—248; Augsburg.
- ZÖLLNER, W. (1946): Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Messtischblattes Heidenheim a. H. — Diss. Univ. Bern.

Anschrift des Verfassers: Dr. I. BARANYI, Landessammlungen für Naturkunde, Erbprinzenstr. 13, D-7500 Karlsruhe 1.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Beiträge zur naturkundlichen Forschung in Südwestdeutschland](#)

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: [39](#)

Autor(en)/Author(s): Baranyi Istvan

Artikel/Article: [Untersuchungen über die Veränderungen von Sedimentgesteinseinschlüssen im Suevit des Nördlinger Rieses 37-56](#)