

# Untersuchungen über das wärmebedingte Ausdehnungsverhalten eines eingeregeltten Quarzites

Von K. Kohler, Berlin

(Die Korneinregelung als wesentliche Ursache für unterschiedliches Dehnungsverhalten in drei räumlichen Richtungen; Beziehung zwischen Ausdehnungskoeffizient und Röntgenintensitätsquotient; die alternative Anwendungsmöglichkeit einer der Methoden in Hinblick auf petrographische oder technologische Belange.)

(Grouping regulation of the grains as an intrinsic cause of the different mode of dilatation in three spatial directions; relationship between coefficient of dilatation and quotient of intensity of X-rays; possibility of alternative application of one of the methods with regard to petrographic and technologic points of view.)

(Le réglage des grains comme cause essentielle du comportement de dilatation différent dans trois directions stéréoscopiques; relation entre le coefficient de dilatation et le quotient de l'intensité de Röntgen; la possibilité d'utilisation alternative de l'une de ces méthodes du point de vue pétrographie et technologie.)

## Allgemeines

In einer früheren Arbeit (Kohler 1961) wird von Ausdehnungsmessungen an Quarziten und Sandsteinen berichtet, deren Ziel es war, neben der atomaren Wärmeschwingung die weiteren Faktoren festzustellen, die am Ausdehnungsvorgang eines polykristallinen Aggregates beteiligt sind. Zur Beschränkung der möglichen Ausdehnungsfaktoren wurden nur ihrem Dilatationsverhalten nach nicht eingeregeltte Gesteine unterschiedlicher Herkunft gemessen, die sich lediglich noch durch Korngröße und Bindemittelbeschaffenheit voneinander unterschieden. Aus den Meßergebnissen konnte der angenäherte funktionelle Zusammenhang

$$AK_{\text{eff}} = \frac{\lg K \phi}{C} - B$$

ermittelt werden, wobei  $AK_{\text{eff}} =$  mechanisch gemessener, effektiver linearer Ausdehnungskoeffizient in ‰,  $K\phi =$  Korndurchmesser, sowie B und C Konstanten bedeuten.

Zur Klärung des Einflusses der Korneinregelung auf das Ausdehnungsverhalten wurde ein Quarzit ausgesucht, der bei unterschiedlicher Einregelung innerhalb des gleichen Fundortes in sich relative Korngrößengleichheit und Ähnlichkeit im Bindemittel zeigte. Als geeignetes Material erwies sich ein unterdevonischer Quarzit von „Auf der Platte, bei Wehen“ (Taunus<sup>1</sup>).

## Angaben zum Untersuchungsmaterial

Aus dem im Abbau befindlichen Steinbruch wurden an 10 verschiedenen Stellen im Abstand von 20 bis 30 m Handstücke entnommen und in ihrer Lage zum Streichen und Fallen markiert. Es wurden folgende Werte eingemessen:

Tabelle 1

1. Streichen 67° Ost	Fallen 90° Nord
2. „ 70° „	„ 80° „
3. „ 61° „	„ 68° „
4. „ 52° „	„ 89° „
5. „ 64° „	„ 82° „
6. „ 65° „	„ 82° „
7. „ 68° „	„ 90° „
8. „ 70° „	„ 75° „
9. „ 64° „	„ 69° „
10. „ 67° „	„ 52° „

Probe Nr. 10. wurde nahe einer Faltenachse entnommen<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Herrn Prof. Dr. P. Ramdohr, Heidelberg, und Herrn Prof. Dr. K. R. Mehnert, Berlin, danke ich für ihre entgegenkommende Beratung. Frl. Dr. Renate Motzka, Geol. Landesanstalt Wiesbaden, danke ich für ihre liebenswürdige Unterstützung.

<sup>2)</sup> Herrn Dipl.-Min. W. Büsch, Berlin, danke ich für seine wertvolle Unterstützung bei der Probenahme.

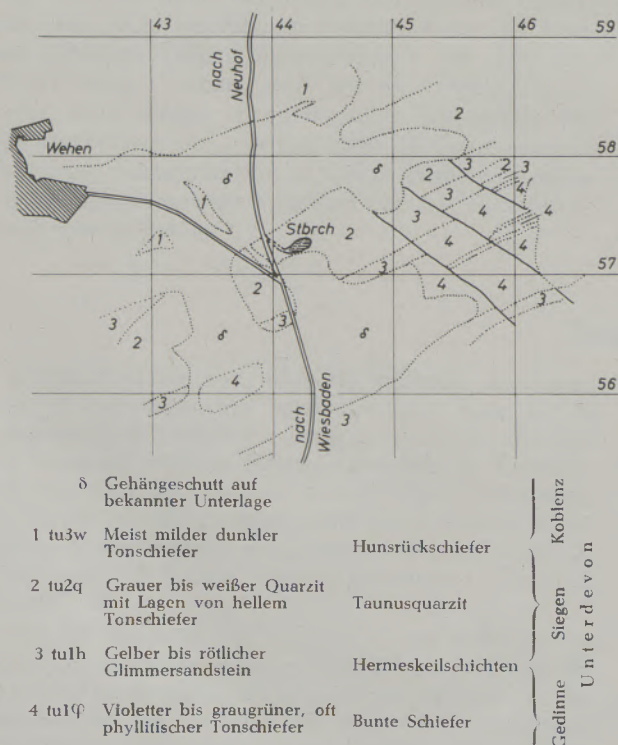


Abb. 1

Ausschnitt aus Blatt Wehen 5815

Tabelle 2

**Präparat 1/I:**  $K\phi = 0,25$  mm

Undulöse Auslöschung der großen Körner nicht ausgeprägt. Kornkontakt häufig direkt ohne zwischengelagerten Quarzdedritus, der seinerseits häufig schlauchartige Nester bildet. Im Bindemittel stärkerer Anteil an Biotit und Muskowit vorhanden. Einige Risse von mehreren mm Länge erkennbar. Texturelle Einregelung kaum erkennbar. Kein randliches Sekundärwachstum.

**Präparat 1/II:**  $K\phi = 0,28$  mm

Starke undulöse Auslöschung der großen Körner. Kornkontakt kaum über direkte Korngrenzen, sondern fast stets über feinsäumigen Quarzdedritus, der mitunter etwa 0,5 mm große Nester bildet. Geringer Anteil von Fremdbindemittel (Biotit usw.). Deutliche Einregelung erkennbar. Kein randliches Sekundärwachstum.

**Präparat 1/III:**  $K\phi = 0,27$  mm

Undulöse Auslöschung der kataklastisch beanspruchten Körner. Große Kornindividuen in sich zerbrochen. Guter Kornkontakt über meist feinkörnigen Quarzdedritus. Sehr wenig fremdes Bindemittel. Teilweise Risse und Spalten von 0,05 mm Breite und 1–2 mm Länge. Korneinregelung erkennbar. Kein randliches Sekundärwachstum.

**Präparat 2/I:**  $K\phi = 0,32$  mm

Undulöse Auslöschung der großen Körner, Kornkontakt teilweise direkt, teilweise über dünsäumigen Quarzdedritus, Verzahnungen kaum erkennbar. Nester von Quarzdedritus etwa 0,3 mm groß. Kaum Fremd Beimengungen. Korneinregelung kaum erkennbar. Kein randliches Sekundärwachstum.

**Präparat 2/II:**  $K\phi = 0,49$  mm

Starke undulöse Auslöschung, besonders der in der Einregelungsrichtung angeordneten großen Einzelkörner (teilweise bis zu 1,2 mm lang). Kornkontakt teils direkt, häufig auch verzahnt, teils auch über nesterartigen Quarzdedritus. Kaum Fremd Beimengungen erkennbar. Starke Einregelung, die längs der Spaltrißbildung erfolgt ist (etwa 0,2 mm breit), durch die Erzlösungen eingewandert sind und zur Ausbildung von Erzschüppchen geführt haben. Kein Sekundärwachstum.

**Präparat 2/III:**  $K\phi = 0,32$  mm

Undulöse Auslöschung der großen Körner. Kornkontakt teilweise direkt, teilweise über starke Verzahnung, teils auch über dünsäumigen Quarzdedritus, der nur wenige, etwa 0,3 mm große Nester bildet. Sehr wenig Fremd Beimengungen. Texturelle Einregelung der Körner erkennbar. Kein randliches Sekundärwachstum.

**Präparat 3/I:**  $K\phi = 0,28$  mm

Undulöse Auslöschung. Häufig direkter Kornkontakt. Verzahnung der großen Körner selten beobachtbar, viele Inseln aus Quarzdedritus, jedoch kaum in Form von Bindemittel. Zwischen den Körnern wenig Fremd Beimengungen. Kein Sekundärwachstum.

**Präparat 3/II:**  $K\phi = 0,28$  mm

Undulöse Auslöschung beobachtbar. Starke Ausbildung des Quarzdedritus in Form von Kon-

taktsäumen, gleichzeitig mit Nesterbildung von 0,2 mm  $\phi$ . Geringe Ausbildung von direkten Kornkontakten, häufiger in verzahnter Form. Kaum Fremd Beimengungen. Starke Einregelung erkennbar. Kein Sekundärwachstum.

**Präparat 3/III:**  $K\phi = 0,28$  mm

Undulöse Auslöschung. Häufig direkter Kornkontakt, Verzahnung der großen Körner in sich selten. Viele Inseln aus Quarzdedritus, jedoch kaum in Form von Bindemittel. Wenig Fremd Beimengungen, kein Sekundärwachstum.

**Präparat 4/I:**  $K\phi = 0,2$  mm

Nur geringe undulöse Auslöschung erkennbar. Kornkontakt sowohl direkt wie über Quarzdedritus und glimmerhaltiges Bindemittel, Einsprengungen von Hämatit. Gute Einregelung erkennbar. Kein sekundäres Randwachstum erkennbar.

**Präparat 4/II:**  $K\phi = 0,2$  mm

Undulöse Auslöschung erkennbar. Kornkontakt über Quarzdedritus und in direkter Form. Einregelung besser als im vorigen Schnitt, besonders durch leistenförmige Einlagerung von Fremd Beimengungen (Glimmer) längs der Streichrichtung gut erkennbar. Kein Sekundärwachstum.

**Präparat 4/III:**  $K\phi = 0,2$  mm

Undulöse Auslöschung nur in geringem Umfang vorhanden. Kornkontakt sowohl direkt, wie auch über reichlich vorhandenen Quarzdedritus, der seinerseits zur Nesterbildung ( $\phi$  etwa 0,5 mm) neigt. Geringer Anteil an Glimmer im Bindemittel, teilweise auch Erzschüppchen ( $Fe_2O_3$ ). Schwache Einregelung erkennbar. Kein Sekundärwachstum.

**Präparat 5/I:**  $K\phi = 0,27$  mm

Undulöse Auslöschung der großen Körner. Stärkere Variation in der Korngrößenverteilung. Kornkontakt meist über Verzahnung und stark entwickelten Quarzdedritus, der häufig bis 0,5 mm große Nester bildet. Größerer Anteil von Fremdbindemittel, z. T. in Form von Erzbutzen. Schwache Einregelung erkennbar. Kein randliches Sekundärwachstum.

**Präparat 5/II:**  $K\phi = 0,3$  mm

Stärkere undulöse Auslöschung der größeren Körner. Kornkontakt häufig direkt, teilweise über Verzahnung, z. T. auch über dünsäumigen Quarzdedritus. Gleichfalls in Form von Bindemittel mit höherem Fremdanteil (Glimmer, Hämatit usw.). Gute Einregelung, besonders der großen Körner längs der Beanspruchungsrichtung. Kein Sekundärwachstum.

**Präparat 5/III:**  $K\phi = 0,27$  mm

Undulöse Auslöschung nur gering erkennbar. Breite Korngrößenverteilung. Kornkontakt sowohl verzahnt, wie auch über starken Quarzdedritus. Hoher Glimmeranteil im stärker ausgebildeten Bindemittel, desgleichen viel Erzanteil. Nur geringe Einregelung erkennbar. Kein randliches Sekundärwachstum.

## Fortsetzung von Tabelle 2

**Präparat 6/I:**  $K\phi = 0,17$  mm

Undulöse Auslöschung aller Körner. Kornkontakt häufig direkt über verzahnte Grenzen, sowie über dünnsäumigen Quarzdedritus. Gleichfalls eingelagert dünne Säume von fremdem Bindemittel, bestehend aus Glimmer und wenig Erz. Geringe Einregelung erkennbar. Kein Sekundärwachstum.

**Präparat 6/II:**  $K\phi = 0,18$  mm

Undulöse Auslöschung ausgeprägt erkennbar. Direkter Kornkontakt, teils über Verzahnung, teils über Säume von Quarzdedritus. Im Bindemittel geringerer Anteil von Fremdschubstanz. Die Einregelung ist gut erkennbar. Kein randliches Sekundärwachstum.

**Präparat 6/III:**  $K\phi = 0,18$  mm

Undulöse Auslöschung sämtlicher Körner. Kornkontakt über Quarzdedritus, teils direkt, teils verzahnt. Stärkere Ausbildung des stark glimmerhaltigen Bindemittels zwischen den Körnern, besonders in langen Adern parallel zur Auslenkungsrichtung. Einregelung gut erkennbar. Kein Sekundärwachstum.

**Präparat 7/I:**  $K\phi = 0,35$  mm

Undulöse Auslöschung erkennbar. Kornkontakt teilweise direkt, zum Hauptteil über Quarzdedritus. Im Bindemittel reichlich Glimmeranteil, etwas Erz. Einregelung angedeutet. Kein Sekundärwachstum.

**Präparat 7/II:**  $K\phi = 0,35$  mm

Undulöse Auslöschung. Teils direkter Kornkontakt, teils über dünnsäumigen Quarzdedritus. Viel glimmerartiges Bindemittel mit etwas Erzanteil. Einregelung kaum erkennbar. Kein Sekundärwachstum.

**Präparat 7/III:**  $K\phi = 0,32$  mm

Geringe undulöse Auslöschung. Kornkontakt häufig direkt, wenig verzahnt, nur stellenweise Ausbildung von Quarzdedritus. Höherer Anteil von Glimmer und Opakmaterial im Bindemittel. Keine Einregelung erkennbar. Kein Sekundärwachstum.

**Präparat 8/I:**  $K\phi = 0,27$  mm

Undulöse Auslöschung gut erkennbar. Hoher Anteil von Quarzdedritus, der sich z. T. in breiten Säumen zwischen den Quarzkörnern befindet. Teilweise auch starke Verzahnung der Einzelkörner. Geringer Anteil von Fremd Beimengungen. Einregelung nur gering. Kein Sekundärwachstum.

**Präparat 8/II:**  $K\phi = 0,25$  mm

Undulöse Auslöschung recht gut erkennbar. Quarzdedritus als Kornkontakt in breiten Säumen. Verzahnung der Einzelkörner erkennbar. Höherer Anteil von glimmerartigem Fremdmaterial im Bindemittel. Einregelung in Beanspruchungsrichtung gut erkennbar. Kein randliches Sekundärwachstum.

**Präparat 8/III:**  $K\phi = 0,27$  mm

Undulöse Auslöschung gut erkennbar. Kornkontakt z. T. direkt über verzahnte Grenzen, z. T. über dedritische Quarzsäume. Geringe Fremd Beimengungen. Einregelung der großen Körner in Beanspruchungsrichtung erkennbar. Kein Sekundärwachstum.

**Präparat 9/I:**  $K\phi = 0,22$  mm

Undulöse Auslöschung gut erkennbar. Kornkontakt teils direkt, teils über verzahnte Grenzen. Häufig zwischengelagerter Quarzdedritus in breiten Säumen und Nestern (etwa 0,4 mm  $\phi$ ). Weiterhin viel Fremd Beimengungen (glimmerartig) im Bindemittel. Einregelung kaum vorhanden. Kein Sekundärwachstum.

**Präparat 9/II:**  $K\phi = 0,22$  mm

Undulöse Auslöschung der großen Körner, die kataklastisch teilweise stark zerbrochen sind. Direkte und dünnsäumige dedritische Kornkontakte. Nur geringer Fremdanteil im Bindemittel. Erzanteile kaum vorhanden. Einregelungsrichtung gut erkennbar. Kein Sekundärwachstum.

**Präparat 9/III:**  $K\phi = 0,22$  mm

Undulöse Auslöschung der großen Körner. Korngrenzen z. T. direkt, teils über dünnsäumigen Quarzdedritus, der auch kleinere Nester bildet. Fremd Beimengungen nur gering als Bindemittel vorhanden, relativ frei von opakem Material. Einregelungsrichtung erkennbar. Kein Sekundärwachstum.

**Präparat 10/I:**  $K\phi = 0,22$  mm

Ausgeprägtes undulöses Auslöschverhalten aller Körner, wobei besonders die kataklastische Beanspruchung der großen Körner zur Deformation in Einzelbereiche mit gleichfalls undulösem Auslöschungsverhalten führt. Kornkontakte stark unregelmäßig, verzahnt und häufig über Quarzdedritus. Bindemittel dünnsäumig, z. T. aus glimmerhaltigem Material, etwas opakem Material eingesprengt. Einregelung kaum erkennbar. Kein Sekundärwachstum.

**Präparat 10/II:**  $K\phi = 0,25$  mm

Sämtliche Körner haben stark undulöses Auslöschungsverhalten, das sich sogar auf die kataklastischen Reliktbezirke erstreckt. Kornkontakte sehr gestört, unregelmäßig und verzahnt. Quarzdedritus als Bindemittel in dünnen Säumen, mit teilweiser Einlagerung von glimmerartigem und opakem Fremdanteil. Einregelung gut erkennbar. Kein Sekundärwachstum.

**Präparat 10/III:**  $K\phi = 0,25$  mm

Das undulöse Auslöschungsverhalten ist sehr gut ausgeprägt und in den kleinsten Kornrelikten noch vorhanden. Kornkontakte in verschiedensten Formen, jedoch selten direkt mit glatten Grenzen vorhanden. Quarzdedritus und Fremd Beimengungen als Bindemittel in dünnen Säumen vorhanden. Geringer Anteil von opakem Material. Einregelung gut erkennbar. Kein Sekundärwachstum.

Von jedem Handstück wurden zur Anfertigung von Dünnschliffen drei Schleifsplitter entfernt, die jeweils senkrecht zum Streichen und Fallen, sowie parallel zu deren gemeinsamer Ebene lagen. Parallel zu diesen Dünnschliffproben wurden weitere drei etwa 3 mm dicke Platten herausgeschnitten, die zur röntgenographischen Untersuchung vorgesehen waren. Für die Dilatometeruntersuchungen (Dilatometer, System Bollenrath, von Firma E. Leitz, Wetzlar) wurden noch von jedem Handstück jeweils zwei Probestäbchen für jede der genannten Richtungen herausgesägt. Die Stäbchen hatten einen quadratischen Querschnitt von 5 mm Kantenlänge und eine Gesamtlänge von 20 bis 30 mm. Sie wurden in drei unmitttelbar aufeinanderfolgenden Heizperioden mit 3—4 °C/min auf über 1000 °C gebracht und mit der gleichen Zeitkonstante abgekühlt.

#### Experimenteller Teil

Aus den Dünnschliffen wurden Korngröße, Bindemittelzustand und Art der Einregelung bestimmt. Aus Tabelle 2 geht hervor, daß alle Einzelproben eine fast einheitliche Korngröße besitzen, obwohl die Entnahme am Fundort sich über eine Ausdehnung von mehr als 250 m erstreckte. Die Unterschiede in den Korngrößen innerhalb eines Handstückes in Abhängigkeit von der Schnittlage rühren von der jeweiligen Einregelung her.

Der gleichmäßig geringe Anteil an Fremdbeimengungen bei sämtlichen Proben sowohl im Kornverband als auch im Bindemittel gab zusätzlich die Möglichkeit, den Einfluß der Einregelung auf das Ausdehnungsverhalten sehr deutlich feststellen zu können.

Bei der optischen Ermittlung des Einregelungsgrades wurde versucht, sowohl konoskopisch wie auch orthoskopisch, unter Verwendung des U-Tisches nach der Methode, wie sie von H. Schumann (1941/51) entwickelt und von E. Nickel (1955) als Schnellmethode weiter ausgebaut worden ist, vorzu-

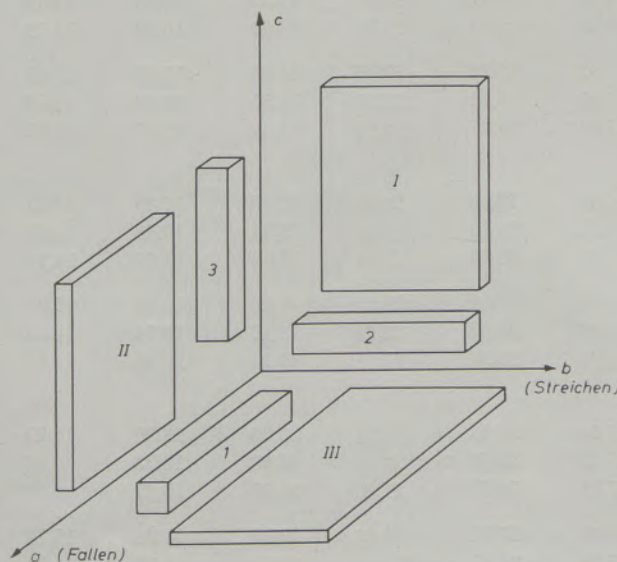


Abb. 2  
Orientierung der Prüfkörper

gehen und das zugehörige Projektionsbild zu konstruieren. Es hat sich jedoch gezeigt, daß das durch die starke Beanspruchung verursachte undulöse Auslöschungsverhalten der Quarzkörner in den meisten Fällen eine genaue konoskopische Vermessung nicht gestattete. Bei der orthoskopischen Beobachtung ergab sich, daß auch noch Körner mit Bruchdeformation untersucht werden konnten. Jedoch war die Schwankungsbreite der Meßwerte hierbei so groß, daß keine Aussagen hinreichender Genauigkeit über die Abhängigkeit der Ausdehnung vom Einregelungsgrad möglich waren. Dennoch wurden die optischen Meßdaten mit den aus den röntgenographischen Untersuchungen gewonnenen Werten verglichen und stets Übereinstimmung der Ergebnisse festgestellt.

In der Abb. 2 ist dargestellt, wie die aus den Handstücken herausgeschnittenen Dilatometerprüfkörper zum Streichen und Fallen, bzw. senkrecht zu beiden Richtungen angeordnet sind. Weiterhin sind in das Koordinatensystem die zur Röntgen- und optischen Untersuchung entnommenen Prüfplatten eingezeichnet, deren Numerierung mit römischen Zahlen sich auf die zugehörigen arabischen Ziffern der Dilatometerkörper bezieht, d. h. es wurde röntgenographisch die Einregelung senkrecht zur Ausdehnungsrichtung überprüft.

In der nächsten Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Ausdehnungsmessungen im einzelnen aufgeführt. Es wurden von jedem Handstück sechs Probekörper, für jede Ausdehnungsrichtung zwei, entnommen und insgesamt dreimal auf über 1000 °C erhitzt. Aus den Ausdehnungskurven wurden die Ausdehnungskoeffizienten  $\beta$ , stets von 20 °C bis 100 °C, bis 200 °C, 300 °C und so fort berechnet und in die nachstehende Tabelle eingetragen.

Wie aus den Zahlenangaben hervorgeht, haben sich die Prüfkörper bei der erstmaligen Erhitzung stets am stärksten ausgedehnt, unabhängig von Grad und Richtung der Einregelung. Dies beruht vorwiegend auf dem Einfluß des Bindemittels, das durch den teilweise höheren Glimmeranteil infolge der Abgabe von  $H_2O$ , bzw. OH eine stärkere Ausdehnung erfährt. Für einen genauen Vergleich über die Stärke des Einflusses der Einregelung wurden daher nur die aus dem zweiten und dritten Erhitzungsgang ermittelten Ausdehnungswerte herangezogen, weil sich in diesen Werten die Wirkung der Korneinregelung klarer erkennen läßt.

Die röntgenographische Untersuchung der Plattenserien I, II und III wurde mit  $Cu K\alpha$ -Strahlung vorgenommen und die Bereiche für die Linie (100) zwischen  $21,2^\circ$  und  $20,2^\circ$  ( $= 2\vartheta$ ) und für die Linie (101) zwischen  $27,0^\circ$  und  $26,0^\circ$  mit einer Winkelgeschwindigkeit von  $2\vartheta = 1/4^\circ/\text{min}$  und einem Papiervorschub von 1600 mm/h geschrieben. Die restlichen Aufnahmebedingungen (kV, mA, Impulszahl, Mittelwert, Meß- und Zeitfaktor) wurden so gewählt, daß maximaler Registrierausschlag erreicht, aber nicht überschritten wurde. Die Registrierung wurde an jeder Platte in vier senkrecht aufeinander stehenden conplanaren Richtungen vorgenommen, erstmals im ursprünglichen, nicht erhitzten Zustand, das zweite Mal in der gleichen Abfolge nach vorheriger Er-

Tabelle 3

Die Numerierung der Präparate erfolgt gem. Tabelle 1, die Indizierung der Ausdehnungskoeffizienten  $\beta$  in der jeweiligen Richtung gem. Abb. 2. Die für jede Ausdehnungsrichtung eingetragenen 6 Wertangaben stammen von den drei Erhitzungsgängen der doppelt angefertigten Prüfstäbe.

$\beta \cdot 10^{-6}$ , ermittelt von 20 °C —

Präp. Nr.	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C	800 °C	900 °C	1000 °C
1. $\beta$ 1	7,60	10,25	12,58	14,35	16,21	24,22	21,52	18,98	16,97	15,15
	5,46	8,09	9,43	10,29	11,27	15,56	13,34	11,47	9,95	8,72
	6,76	8,32	9,80	10,51	11,50	15,85	13,64	11,73	10,23	8,98
	8,26	10,83	12,84	14,72	17,13	24,96	21,81	19,47	17,49	15,57
	5,47	7,39	8,72	9,26	10,17	14,37	12,38	10,69	9,37	8,31
	5,89	7,48	8,78	9,62	10,74	14,89	12,85	11,16	9,80	8,69
$\beta$ 2	9,86	11,46	13,87	15,71	17,79	25,78	22,35	19,46	17,15	15,24
	6,55	9,18	11,66	13,26	15,12	22,18	18,97	16,31	14,25	12,55
	6,55	9,18	11,38	12,78	14,78	22,21	18,97	16,28	14,18	12,49
	7,25	10,44	13,00	15,21	17,42	26,35	23,01	20,01	17,73	15,82
	5,97	9,41	11,53	13,11	14,74	21,95	18,36	15,00	14,27	12,57
	5,48	8,96	11,39	13,11	15,03	22,30	19,05	16,40	14,33	12,69
$\beta$ 3	7,01	10,86	13,00	15,20	17,95	26,45	23,10	20,05	17,96	15,85
	7,04	8,88	10,41	11,22	12,61	18,28	15,40	13,23	11,51	10,08
	8,03	8,79	10,30	11,18	12,38	18,38	15,86	13,63	11,94	10,43
	6,67	10,29	12,57	14,75	17,20	25,94	22,54	19,65	17,34	15,32
	8,52	9,61	10,75	11,81	13,51	19,72	16,87	14,58	12,64	11,09
	6,44	8,87	10,15	11,42	13,16	18,89	16,11	13,81	12,00	10,52
2. $\beta$ 1	8,58	10,40	12,63	14,10	16,56	24,75	22,28	19,29	16,88	14,89
	7,28	10,09	12,55	14,03	16,54	24,18	20,70	17,83	15,59	13,79
	6,43	10,06	12,55	14,26	16,00	23,24	21,38	18,40	16,09	14,24
	8,12	10,62	13,10	15,07	17,82	26,15	23,16	20,05	17,56	15,49
	8,72	10,82	13,14	14,88	17,29	25,10	21,58	18,55	16,18	14,30
	8,42	11,03	13,32	14,69	17,04	24,47	20,70	17,89	15,77	14,02
$\beta$ 2	9,66	11,72	13,72	15,77	18,66	27,30	23,59	20,35	17,88	15,81
	8,68	11,48	14,08	15,81	18,32	26,10	22,31	19,31	16,86	14,95
	9,16	11,48	13,95	15,52	18,02	25,90	22,09	19,07	16,65	14,74
	7,52	10,12	12,93	15,22	18,25	27,44	23,69	20,50	17,95	15,92
	9,66	11,38	13,96	15,77	18,81	26,07	22,29	19,19	16,74	14,80
	7,74	10,73	13,52	15,41	18,04	25,97	22,18	19,14	16,70	14,80
$\beta$ 3	7,10	10,55	13,44	14,95	17,61	26,88	24,21	20,85	18,20	16,29
	6,41	9,34	12,12	14,43	17,19	25,69	21,88	18,88	16,52	14,66
	9,28	11,22	13,47	15,29	17,54	25,79	21,86	18,85	16,47	14,59
	7,11	10,58	13,23	15,60	18,08	27,22	23,65	20,39	17,94	15,77
	8,27	10,64	13,08	14,81	17,04	24,91	21,04	18,12	15,86	14,03
	6,97	9,78	12,58	14,67	17,27	25,03	21,27	18,29	16,02	14,24











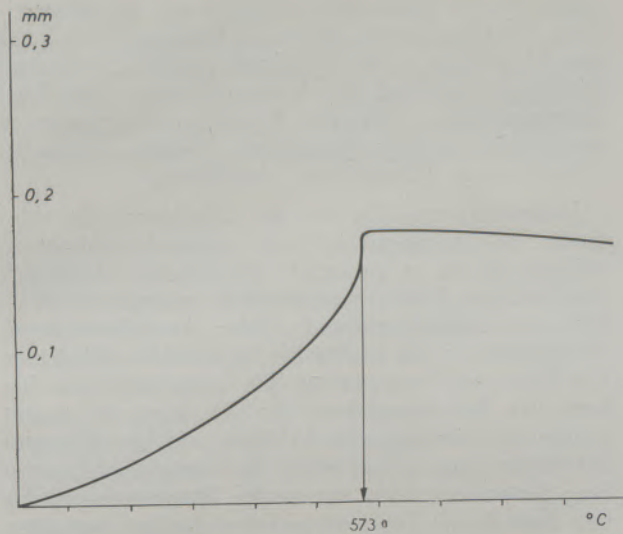


Abb. 3

Ausdehnungskurve von Quarz, bzw. quarz. Gestein

hitzung der Platten auf über 1000 °C. Die Diffraktometerkurven wurden anschließend ausgeschnitten, gewogen und die Quotienten  $J_{(100)}/J_{(101)}$  gebildet und in Tabelle 4 zusammengefaßt.

In der gleichen Tabelle 4 sind die gemittelten Werte von  $J_{(100)}/J_{(101)}$  mit den zugehörigen Ausdehnungskoeffizienten zusammengestellt. Die AK  $\beta_{1-3}$  wurden aus den Erhitzungsserien 2 und 3 berechnet. Für den Ausdehnungskoeffizienten  $\beta$  wurde das Temperaturintervall von 20 °C bis 573 °C zur Berechnung herangezogen, da der Quarz bei der Umwandlungstemperatur im Zustandsgebiet bis 1000 °C seine maximale Ausdehnung besitzt.

#### Deutung der Meßergebnisse

Bei Durchsicht der in Tabelle 4 zusammengestellten Werte zeigt sich, daß die maximale Einregelung senkrecht zum Streichen hauptsächlich in Richtung Fallen erfolgt ist. Dies geht einmal aus den Ausdehnungswerten hervor, die parallel Streichen fast stets am größten sind, in Richtung senkrecht zur Ebene, die

Tabelle 4

Vergleich der AK  $\beta_{1-3}$ , ermittelt im Bereich 20 ° – 573 °C, mit den Rö.-Intensitätsquotienten  $J_{(100)}/J_{(101)}$  für die drei räumlichen Richtungen gem. Abb. 2 (siehe auch Abb. 4)

Handstück Nr.	Dil.-Körp.-Nr.	Rö.-Prüfk. Nr.	$\beta \cdot 10^{-6}$	$J_{(100)}/J_{(101)}$
1.	1	I	10,85	0,129
	2	II	18,10	0,222
	3	III	14,70	0,177
2.	1	I	20,00	0,133
	2	II	22,25	0,207
	3	III	21,80	0,168
3.	1	I	19,00	0,156
	2	II	20,45	0,194
	3	III	20,20	0,161
4.	1	I	15,20	0,191
	2	II	14,45	0,185
	3	III	14,65	0,189
5.	1	I	11,50	0,150
	2	II	15,25	0,179
	3	III	14,35	0,171
6.	1	I	10,05	0,134
	2	II	13,25	0,188
	3	III	10,80	0,173
7.	1	I	17,90	0,172
	2	II	17,10	0,173
	3	III	16,75	0,170
8.	1	I	14,45	0,157
	2	II	16,15	0,187
	3	III	15,30	0,164
9.	1	I	12,45	0,133
	2	II	14,65	0,188
	3	III	14,00	0,192
10	1	I	13,60	0,144
	2	II	17,90	0,219
	3	III	16,00	0,196

Die Meßwerte der Handstücke 4. und 7. zeigen zu geringe Unterschiede, weshalb sie in Abb. 4 nicht mit eingetragen wurden.

von Streichen und Fallen gebildet wird, einen Mittelwert einnehmen und sinngemäß die geringsten Werte in Richtung Fallen aufweisen. Die Ursache für diese Ausdehnungssymmetrie liegt naturgemäß in der Tatsache begründet, daß die Ausdehnung von (einkristallinem) Quarz parallel  $c_0$  rund  $1 \text{ ‰}$  ( $\beta = 14 \cdot 10^{-6}$ ) und senkrecht  $c_0$  etwa  $1,74 \text{ ‰}$  ( $\beta = 31 \cdot 10^{-6}$ , von  $20^\circ\text{C} - 573^\circ\text{C}$ ) beträgt.

Eine weitere Bestätigung für die aus den AK  $\beta_{1-3}$  abgeleitete Einregelung der  $c$ -Achsen erhält man aus den zuzuordnenden Röntgenintensitätsquotienten, die einen analogen Gang aufweisen.

Bei der Interpretation der Meßergebnisse muß man berücksichtigen, daß in den Ausdehnungskoeffizienten noch die Einflüsse von Korngröße und Bindemittel stecken und in den Rö.-Intensitätsquotienten gleichfalls Korngröße, Kornform und Fremd Beimengungen eine wesentliche Rolle spielen. Überträgt man jedoch die Ausdehnungskoeffizienten als Funk-

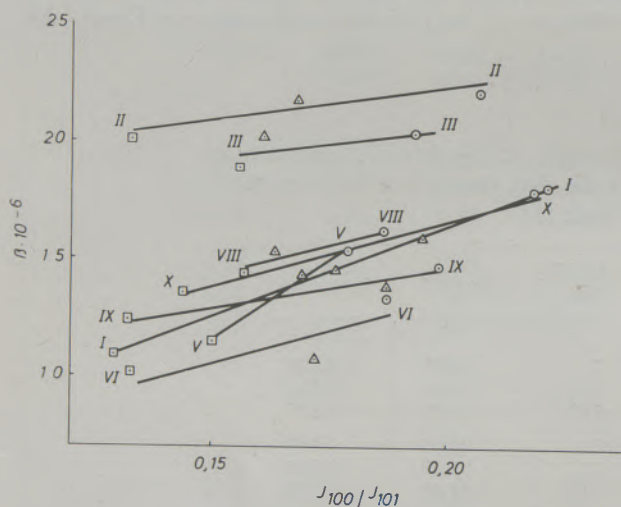


Abb. 4

Ausdehnungskoeffizienten als Funktion der Rö.-Intensitätsquotienten  $J_{(100)}/J_{(101)}$  von Quarz

tion der Rö.-Intensitätsquotienten in eine graphische Darstellung und verbindet die jeweils zueinandergehörigen drei Bestimmungswerte eines Handstückes miteinander, dann ist deren nahe Nachbarschaft zu einer Verbindungsgeraden auffallend gut.

Der geringe Unterschied in den Neigungswinkeln fast sämtlicher Verbindungsgeraden gestattet es, einen statistischen Mittelwert für den Winkel  $\alpha$  zu bestimmen, der für den jeweiligen untersuchten homogenen Gesteinsverband eine charakteristische Konstante darstellt. Im vorliegenden Falle beträgt  $\alpha$  ungefähr  $15^\circ$ .

Aus den jetzigen Meßergebnissen und an Hand früherer Untersuchungen hat sich ergeben, daß bei unregelmäßigem Quarziten mit einheitlicher Korngröße von etwa  $0,3 \text{ mm}$  und geringem Anteil an Fremdmineralen der AK  $\beta_{20-573^\circ\text{C}}$  rund  $16 \cdot 10^{-6}$  und der Rö.-Intensitätsquotient  $J_{(100)}/J_{(101)}$  ungefähr  $0,18$  betragen. Dieser durch die beiden Koordinatenan-

gaben fixierte Punkt muß natürlich auf der theoretischen Geraden liegen, die einen Steigungswinkel mit dem Mittelwert  $\alpha$  hat. Hierdurch ist die Möglichkeit gegeben, den Grad der Korreierung aus Ausdehnungswerten oder aus Rö.-Intensitätsquotienten annähernd die drei räumlichen Ausdehnungskoeffizienten eines Handstückes abzuschätzen.

Untersuchungsmäßig ist die dilatometrische Methode bei Verwendung von Diamantkernbohrern einfach, da sie es gestattet, am gleichen Handstück eine größere Zahl unterschiedlich orientierter Prüfkörper zu entnehmen und so den Ausdehnungswert zu bestimmen, der häufig bei technischen Problemen von primärem Interesse ist. Für petrographische Belange ist die Anwendung der Rö.-Methode vorzuziehen, da hier meist mehr Wert auf die Kenntnis der Einregelung gelegt wird. Bei einer Problemstellung der vorliegenden Art ist die Texturuntersuchung mit dem Rö.-Diffraktometer den beiden optischen U-Tischmethoden vorzuziehen, da neben dem geringen Zeit- und Arbeitsaufwand der Rö.-Methode die mit Einregelungserscheinungen von Quarzkörnern im Gesteinsverband häufig auftretenden undulösen Auslöschungseffekte die optische Vermessung schwierig und ungenau gestalten können, wie dies bereits von A. Heitanen (1938) und G. Jenkins (1960) genauer beschrieben worden ist.

Naturgemäß können aus den AK-Meßwerten eines polykristallinen Aggregates keine quantitativen Angaben gemacht werden, die für gleichartige Gesteine unterschiedlicher Fundpunkte allgemein verbindlich sind, da zu viele Faktoren, wie Kornverband, -größe und -form, Bindemittel usw. von Einfluß sind. Im vorliegenden Falle kann jedoch aus den Werten von  $\beta$  und den Rö.-Daten, sowie den optischen Untersuchungen gefolgert werden, daß die Einregelung bei den Handstücken 1., 2. und 10. ungefähr  $25-30 \text{ ‰}$  betragen hat. An Hand von weiterem Untersuchungsmaterial mit weitgehend analoger Korngröße und Bindemittelbeschaffenheit, jedoch bevorzugter Einregelung ohne Deformationserscheinungen, wie sie manche Sandsteine aufzeigen, soll versucht werden, eine allgemeinere Aussagemöglichkeit zu erzielen.

Meinen beiden Mitarbeitern, Frl. cand. min. S. Schühle und Herrn Dipl.-Chem. W. Franke danke ich für ihre Hilfe bei den Untersuchungen. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft bin ich für die leihweise Überlassung des Dilatometers und die Gewährung von finanzieller Unterstützung sehr zu Dank verbunden.

### Zusammenfassung

Am Beispiel eines eingeregeltten unterdevonischen Quarzites werden zehn Handstücke entnommen und Dilatometerprüfkörper, Dünnschliffe und Rö.-Diffraktometerplatten orientiert zu Streichen und Fallen herausgeschnitten und untersucht. Die Ausdehnungskoeffizienten werden zu den Rö.-Intensitätsquotienten in Beziehung gesetzt und graphisch interpretiert.

An Hand der Proben ergibt sich ein direkter linearer Zusammenhang zwischen Ausdehnungsverhalten und Einregelungsgrad für das Einzelhandstück und angenähert über den gesamten Entnahmeraum. Es kann ein gemeinsamer Näherungswert für den Neigungswinkel  $\alpha$  und einer gemittelten theoretischen

Verbindungsgeraden angegeben werden. Bei Verwendung dieser theoretischen Geraden und eines am unregeltten Aggregat gemessenen Fixpunktes kann der Einregelungsgrad aus den Ausdehnungswerten, bzw. das Ausdehnungsverhalten aus dem röntgenographisch bestimmten Einregelungsgrad abgeleitet werden.

#### Summary

Ten sample specimens were taken from a subdevonic quartzite with group regulation and test pieces for dilatometric experiments, as well as thin ground sections and diffractometric plates for X-ray tests were cut out of them and examined. All these test pieces were orientated according to bearing and dip. The relationship between the coefficients of dilatation and the quotients of X-ray intensity is established and the respective graph is traced.

On the basis of these tests a direct linear relation between the dilatation and the degree of grouping was established for the individual test piece and it

may be assumed that this relation approximately also holds good for the entire surroundings from which the sample was taken. An approximation value in common for the inclination angle  $\alpha$  and an average theoretical straight line can be fixed. By utilizing this theoretical straight line and a fixed point, measured on the non-regulated status, the degree of grouping can be derived from the dilatation values or the mode of acting regarding dilatation as to the degree of grouping determined by the X-ray method respectively.

#### Résumé

On a prélevé dix échantillons d'un quartzite sub-dévonien réglé et on en a taillé des éprouvettes pour expériences dilatométriques ainsi que les lames minces polies et des plaques diffractométriques pour essais de Röntgen; tous les échantillons orientés dans la direction du filon et l'inclinaison de la couche ont été examinés. La relation entre le coefficient de dilatation et le quotient d'intensité Röntgen a été établie et interprétée graphiquement. A l'aide de ces essais il en résulte pour l'échantillon une relation linéaire directe entre le comportement

de dilatation et le degré de réglage; il est admis que cette relation vaut approximativement pour tout l'endroit d'où l'on a prélevé l'échantillon. Une valeur d'approximation commune pour l'angle d'inclinaison  $\alpha$  et une droite moyenne théorique peut être fixée. En utilisant cette droite théorique et un point fixé mesuré sur le dispositif non réglé le degré de réglage sera dérivé des valeurs de dilatation et le comportement de dilatation se dérive du degré de réglage déterminé par la méthode Röntgen.

#### Literaturverzeichnis

1. Heitanen, A., Bull. Comm. Geol. Finlande 122 (1938) 31.
2. Jenkins, G., Geol. Mag. (1960), 73.
3. Kohler, K., Radex-Rundschau 2 (1961), 536.
4. Nickel, E., und J. Dönhoff, N. Jb. Geol. Paläont., Mh. 6 (1955), 225.
5. Schumann, H., Fortschr. Min. 25 (1941), 217.
6. Schuman, H., Mikroskopie 6 (1951), 104.