

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

**Band:** 53 (1973)

**Heft:** 3

**Artikel:** Palygorskite im helvetischen Kieselkalk des Bürgenstocks

**Autor:** Müller-Vonmoos, M. / Schindler, C.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-41392>

#### Nutzungsbedingungen

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

#### Conditions d'utilisation

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

#### Terms of use

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

**Download PDF:** 28.01.2026

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

# Palygorskite im helvetischen Kieselkalk des Bürgenstocks

Von *M. Müller-Vonmoos* \*) und *C. Schindler* \*\*)

Mit 5 Figuren und 3 Tabellen im Text

## Abstract

Slickensides and fissures in a fresh outcrop of silicified limestones at the Bürgenstock (Switzerland) contained Palygorskite. The rock belongs to Lower Cretaceous (Hauterivian) of a non-metamorphic helvetic nap. The long axis of the mineral corresponds with the orientation of the slickensides. Probably the Palygorskite grew during the last orogenic phase (Pliocene) in low temperature solutions. The Si of the mineral has partly been replaced by Al and the Mg partly by Al and Fe. Thermoanalytic investigations showed that dewatering took place below 820° C in four steps. Two of these steps are presumably caused by loss of bound water.

## 1. VORWORT

Am 8. August 1964 ging im heute stillgelegten Steinbruch Obermatt am N-Fuss des Bürgenstocks ein Felssturz von ca. 70 000 m<sup>3</sup> Kubatur nieder. Das grösstenteils in den See stürzende Trümmermaterial erzeugte eine gewaltige Flutwelle, die grossen Sachschaden verursachte. Der Regierungsrat des Kantons Nidwalden beauftragte das Geotechnische Büro Dr. A. von Moos mit der Abklärung der Geologie und der Ursachen des Sturzes. Im Laufe der durch den einen der beiden Autoren (C. S.) ausgeführten Aufnahmen im Felde wurde er auf ein faseriges Mineral aufmerksam, welches den dortigen Steinbrucharbeitern als «Bergleder» bekannt war. Durch freundliche Mithilfe und Vermittlung von F. Hofmann, M. Grünenfelder und M. Weibel gelangte er schliesslich an den andern Autor, der die mineralogische Untersuchung an die Hand nahm.

---

### Adressen der Autoren:

\*) Dr. M. Müller-Vonmoos, Institut für Kristallographie und Petrographie und Institut für Grundbau und Bodenmechanik der ETH, Sonneggstrasse 5, CH-8006 Zürich.

\*\*) Dr. C. Schindler, Geotechnisches Büro Dr. A. von Moos, Bachofnerstrasse 5, CH-8037 Zürich.

## 2. LAGE UND GEOLOGIE

Der Steinbruch Obermatt liegt am steilen, bewaldeten Nordfuss des Bürgenstocks zwischen der Schiffstation Obermatt und dem Felsvorsprung Wispelen, Koordinaten 206.0/675.8. Das Gelände ist schlecht zugänglich und sehr exponiert, so dass es teilweise am Seil begangen werden musste. Die durch den Steinbruchbetrieb und die Felsstürze geschaffene Wand erreicht eine maximale Höhe von 165 m.

Aufgeschlossen sind hier Hauterivien-Kieselkalk und Drusbergschichten einer Randkette der helvetischen Decken. Diese Bürgenstockdecke bildet eine gegen das Rigigebiet hin schief aufsteigende Schichtplatte mit einer Schichtreihe von Unterkreide bis Alttertiär. Im Steinbruch wurde der Kieselkalk zur Gewinnung von Hartschotter ausgebeutet, wobei stark kiesliges, splittrig brechendes, feinkörniges Material anfiel. Im mittleren und obersten Teil des Hauterivien verläuft je ein charakteristisches Band von glaukonitischem, rostig anwitterndem Gestein, die Lidernenschichten und die Altmannschichten, welche eine stratigraphische Untergliederung der Steinbruchwand ermöglichen (Fig. 1). Über den Altmannschichten liegt der kieslig-kalkige untere Teil der Drusbergschichten, darüber folgen Mergelschiefer.

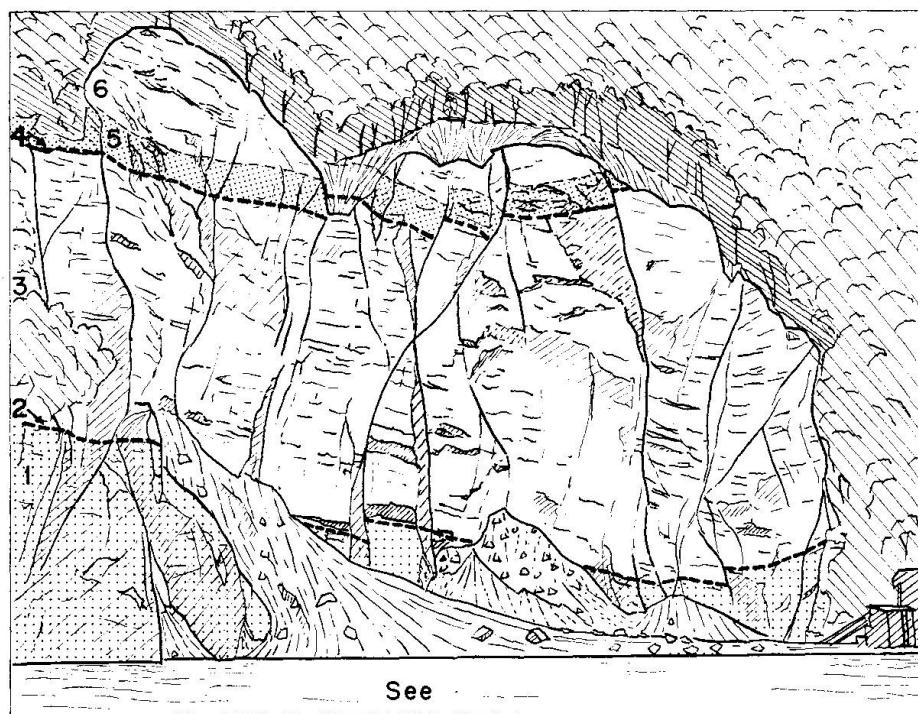


Fig. 1. Ansicht des Steinbruchs Obermatt vom Norden her, kurz nach dem Sturz vom 8. 8. 1964.  
Höhe der Felswand maximal 165 m.

Stratigraphie: 1 = unterer Kieselkalk, 2 = Lidernenschichten, 3 = oberer Kieselkalk, 4 = Altmannschichten, 5 = Drusbergschichten, kieslik-kalkiger Teil, 6 = Drusbergschichten, mergelig.

Die Schichtflächen streichen fast parallel dem See und fallen mit 25–35° bergeinwärts ein. Das Gebirge wird von zahlreichen Klüften, Brüchen und Scherflächen verschiedener Richtung durchzogen. Auf Figur 1 gut zu erkennen sind transversale, N-S verlaufende Störungen, welche zwar glatt, aber meist stark verbogen sind und Rutschstriemung aufweisen. Wo eine Versetzung feststellbar ist, wurde meist der westliche Flügel des Bruchs relativ gehoben. Wie die Striemung zeigt, wies die Bewegung allerdings zudem eine bedeutende Horizontalkomponente auf. Daneben treten auch verschiedene, mehr oder weniger hangparallele, verbogene, 50–85° gegen den See hin fallende Scherflächen auf. In einzelnen Fällen konnte festgestellt werden, dass der seewärtige, nördliche Flügel etwas aufgeschoben war. Daneben finden sich zahlreiche, relativ unbedeutende Klüfte verschiedenster Richtung; auch hier tritt häufig Rutschstriemung auf.

Das faserige Mineral trat auffälligerweise stets entlang Klüften und Scherflächen auf, wobei es parallel zur Rutschstriemung ausgerichtet war. Bei besonders charakteristisch und reichlich ausgebildeten Vorkommen wuchsen die Fasern, wie auch idiomorphe Calcite, in einen offenen Klufttraum. Da im Detail viele Bewegungsflächen ähnlich Schuppen oder Dachziegeln in das angrenzende Gestein zurückgreifen, kann das faserige Mineral oft bis in geschlossene Spalten zurückverfolgt werden. Die offenen Klüfte sind meist an W-E streichende Störungen gebunden, hier finden sich deshalb auch die schönsten Vorkommen des Minerals (Fig. 2, obere Hälfte des Bildes). Gleichzeitig tritt es aber auch

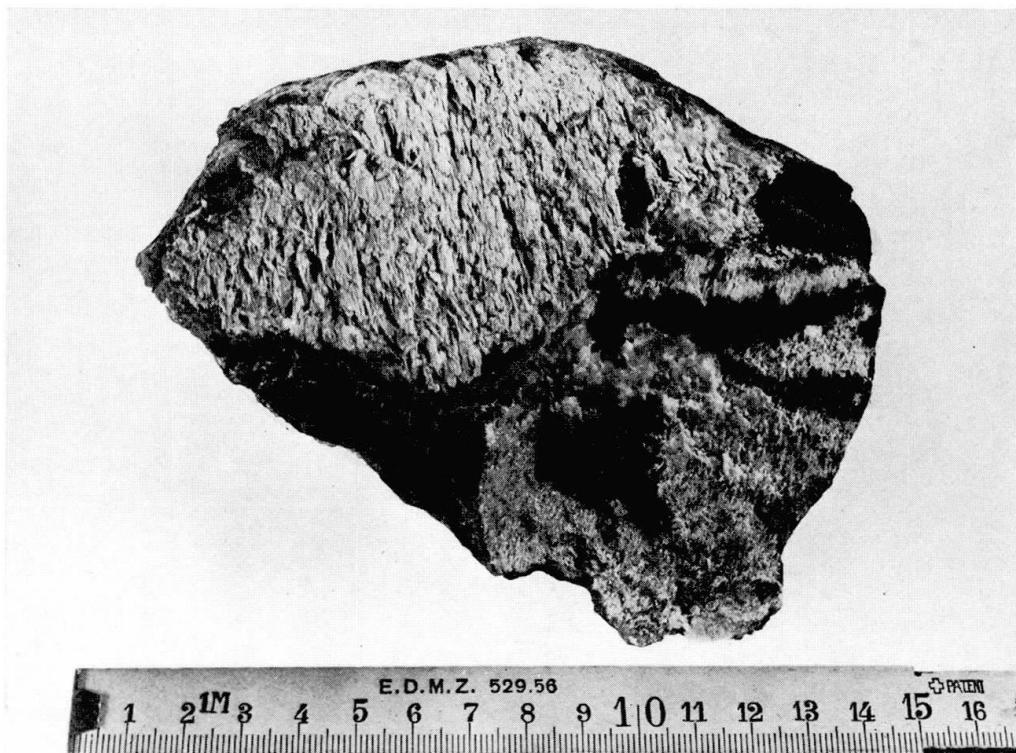


Fig. 2. Kieselkalk mit aufgewachsenem Palygorskite.

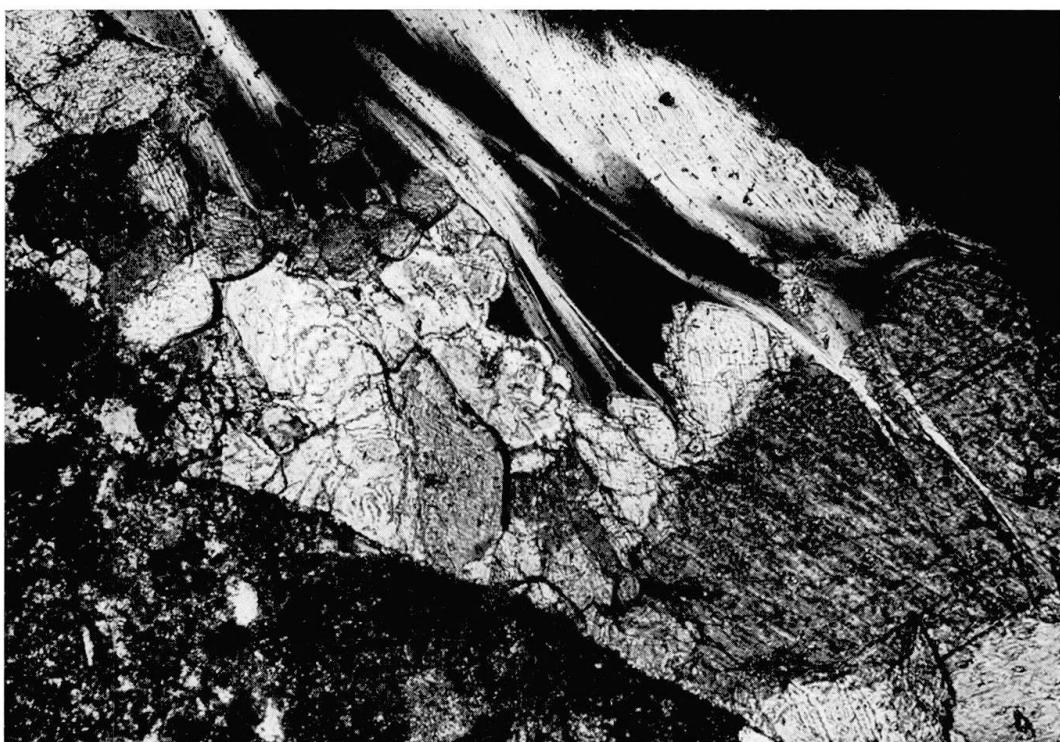


Fig. 3. Palygorskite und Calcit auf Kieselkalk. 80fach.

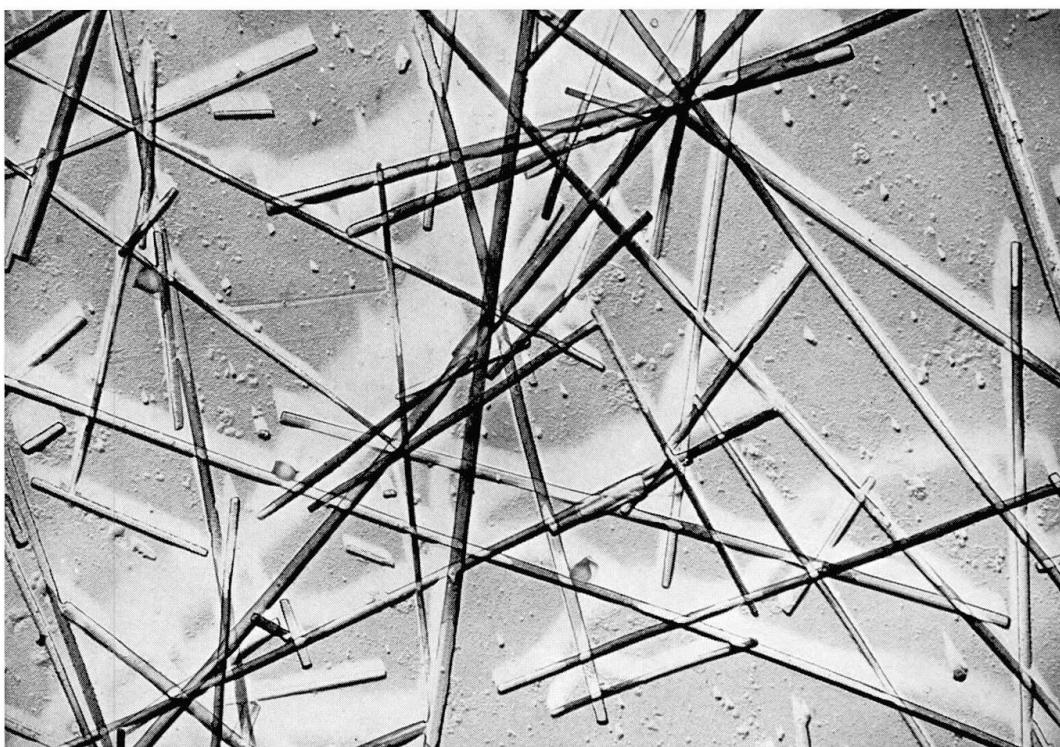


Fig. 4. Elektronenmikroskopische Abbildung des Palygorskits. Pt-Ir-Bedampfung.  
Bedampfungswinkel 10°. 15000fach.

in geschlossenen Bewegungsflächen anderer Richtung auf. Einzelne Gesteinsbrocken können deshalb auf verschiedenen Seiten durch Klüfte oder Scherflächen begrenzt sein, welche einen Überzug von Fasern und von etwas Calcit aufweisen (Fig. 2).

Das Mineral wurde im Anstehenden beobachtet, meist aber im frischen Schutt des Sturzes gesammelt. Soweit dies noch zu bestimmen war, scheinen alle Funde aus dem oberen Kieselkalk zu stammen. Dieser ist in seinem oberen Teil etwas glaukonitisch.

### 3. MINERALOGISCHE UNTERSUCHUNGEN

Das faserige Mineral war vorwiegend als schmutzig-weißer bis gelblicher Überzug auf dem Kieselkalk aufgewachsen (Fig. 2 und 3). Oft enthielten die Überzüge Calcit und Quarz. In Dünnschliffen konnte das Mineral auch in Spalten, die meist Calcit enthielten, beobachtet werden. Sein Brechungsindex betrug  $1,520 \pm 0,004$ .

Zur röntgenographischen, thermogravimetrischen und chemischen Untersuchung wurden der Calcit und der Quarz aus einer weitgehend reinen Probe ausgelesen. Röntgenographisch und thermogravimetrisch war die Probe calcitfrei und enthielt weniger als 1% Quarz. Zur thermoanalytischen Untersuchung (DTA und TGA simultan) wurde der Calcit aus einer zweiten Probe nach Auslesen des Quarzes durch Kochen in Ammoniumazetatpuffer (15 Min., pH 5) entfernt und die Probe dann in die Ca-Form umgewandelt.

Nach der röntgenographischen Untersuchung handelte es sich bei dem faserigen Mineral um Palygorskite. Die Reflexe der diffraktometrischen Untersuchung wurden in Tabelle 1 zusammengestellt. Da die Präparate nicht texturfrei waren, wurden die Intensitäten nur grob geschätzt. Alle von BRADLEY (1940) angegebenen Reflexe waren vorhanden. Dazu kamen einige Reflexe, die teilweise auch von HUGGINS et al. (1962) angegeben wurden. Die Diffraktogramme von Palygorskiten können beträchtliche Abweichungen zeigen. Nach CHRIST et al. (1969) kommt der Palygorskite monoklin und orthorhombisch vor, wobei die strukturellen Unterschiede vermutlich vor allem auf Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung zurückzuführen sind. Im Elektronenmikroskop zeigte das faserige Mineral die für Palygorskite typische Stäbchenform (Fig. 4). Die Probe wurde durch Beschallung (40 kHz) einer wässrigen Suspension auf das Netzchen aufgenebelt und nach Pt-Ir-Bedampfung (Bedampfungswinkel 10°) aufgenommen.

Zur Untersuchung des thermogravimetrischen Verhaltens wurden 50 mg Palygorskite mit 0,5°/Min. in strömender Luft (5,72 l/Std.) in einem Mettler-Thermoanalyser aufgeheizt. Dabei konnten sehr deutlich folgende Gewichtsstufen beobachtet werden (Fig. 5): bis 85° 7,9%, 85–195° 4,3% und 195–640°

Tabelle 1. Röntgenreflexe des Palygorskits vom Bürgenstock, des Palygorskits von *Attapulgus* (BRADLEY, 1940) und des Palygorskits von Brasilien (HUGGINS et al., 1962)

Palygorskit Bürgenstock		Attapulgus			Brasilien		
d in Å	I	d in Å	I	hkl	d in Å	I	hkl
10,25	vs	10,50	10	110	10,30	100	110
6,28	m	6,44	6	200	6,32	24	200
5,34	m	5,42	5	130	5,37	17	130
4,44	s	4,49	8	040	4,46	33	040
4,11	m	4,18	3	310	4,13	15	310
3,63	m	3,69	5	240	3,65	12	240
3,42	w	3,50	3	330, 150			
3,21	m	3,23	10	400	3,22	19	
3,16	s				3,17	28	400
3,02	w	3,03	1	420	3,09	14	
2,97	w				2,97	4	
2,72	w				2,68	7	
2,57	s	2,61	8	440	2,59	18	440
2,56	m/s	2,55	3	510	2,54	19	510
2,50	s				2,51	13	
2,31	m	2,38	3	530			
2,25	w						
2,23	w						
2,16	m	2,15	5	600	2,16	7	
2,11	m/s				2,12	11	600
1,80	w/m	1,82	1	390			
1,76	w/m						
1,67	m						
1,61	w	1,62	1	800			
1,56	w	1,56	3	680			
1,51	m	1,50	5	0,12,0	1,49	3	0,12,0

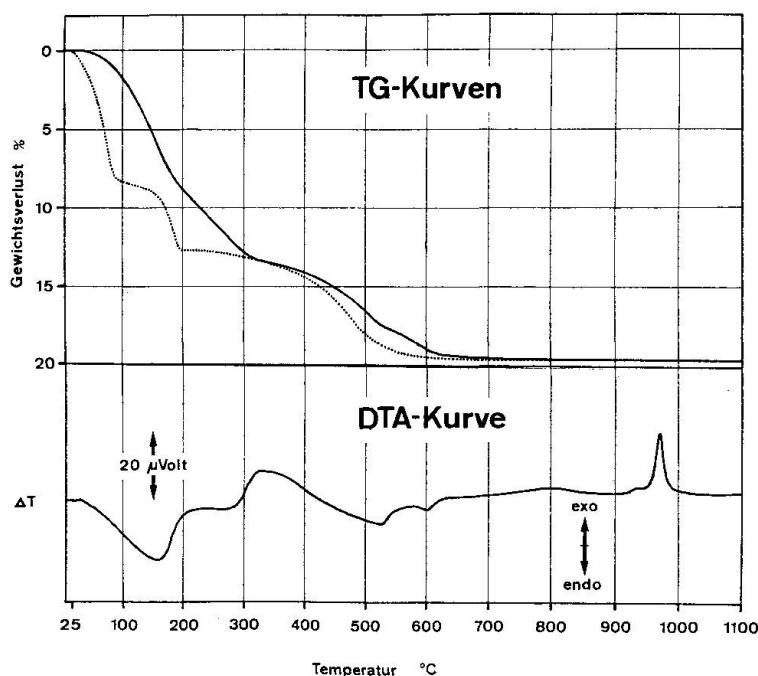


Fig. 5. Thermoanalysen des Palygorskits vom Bürgenstock.  
----- TGA, 0,5°/Min., ——— DTA-TGA, 6°/Min.

6,6%. Diese Art der dreistufigen Gewichtsabnahme ist für Palygorskite typisch und wird mit der Abgabe des zeolithischen Wassers, des gebundenen Wassers und der OH-Entwässerung erklärt (Martin Vivaldi and Fenoll Hach-Ali, 1970). Der Gehalt an zeolithischem Wasser wird je nach den Konditionierungsbedingungen etwas schwanken, wie das von MARTIN VIVALDI et al. (1959) beim Sepiolit nachgewiesen wurde. In unserer Probe war er gegenüber dem Formelwert von 8,6% etwas zu tief (vgl. Tab. 2). Auffallend waren aber vor allem der zu niedrige Gehalt an gebundenem Wasser (Formelwert 8,6%) und der zu hohe Betrag der OH-Entwässerung (Formelwert 2,1%). Eine ähnliche Dreiteilung der Gewichtsabnahme wurde auch, wenn man von der Unterteilung der dritten Gewichtsstufe absieht, bei der DTA-TGA beobachtet (Fig. 5). Entsprechend der höheren Aufheizgeschwindigkeit von 6°/Min. waren die Gewichtsstufen gegen höhere Temperaturen verschoben. Die Probe wurde in einem Mettler-Thermoanalyser (WIEDEMANN, 1964) in strömender Luft (3,43 l/Std.) untersucht. Als inerte Substanz verwendete man den geglühten Palygorskite. Die Gewichtsabnahmen bei der TGA und der DTA-TGA wurden in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2. Gewichtsabnahmen des Palygorskites bei der TGA (0,5°/Min.) und der DTA-TGA (6°/Min.) und die Formelwerte der drei Wasserabgaben für  $Si_8Mg_5O_{20}(OH)_2(OH_2)_4 \cdot 4H_2O$  (BRADLEY, 1940)

	Formelwert	TGA			DTA-TGA	
Zeolithisches Wasser	8,6%	bis	85°	7,9%	bis	195°
Gebundenes Wasser	8,6%	85–195°		4,3%	195–322°	4,7%
OH-Entwässerung	2,15%	195–640°		6,6%	322–530°	4,3%
	19,35%			18,8%	530–820°	2,1%
						19,6%

Bei der DTA-TGA fielen die Unterteilung der dritten Gewichtsstufe in die Abschnitte 322–530° und 530–820° und die entsprechenden endothermen Reaktionen bei 525 und 598° auf. Die Gewichtsabgabe von 530–820° entsprach mit 2,1% genau dem Betrag der OH-Entwässerung und es wurde deshalb eine schrittweise Abgabe des gebundenen Wassers von 195–322° und 322–530° angenommen. Ab 820° blieb das Gewicht unverändert. Nach Erhitzen auf 900° war die Probe röntgenamorph. Bei 1040° konnten neben wenig Hämatit und Quarz vor allem die Reflexe von Al-Mg-Silikat beobachtet werden. Demnach handelte es sich bei der exothermen Reaktion um einen Kristallisierungsvorgang, d. h. im wesentlichen um die Bildung von Al-Mg-Silikat.

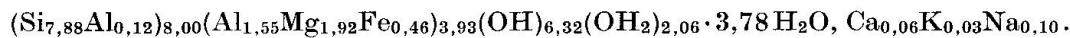
Die chemische Zusammensetzung des Palygorskites wurde nach der Schnellmethode von WEIBEL (1961) und thermogravimetrisch bestimmt (Tab. 3). Die Probe enthielt nach der röntgenographischen Untersuchung weniger als 1% Quarz. Entsprechend wurde bei der Bestimmung des Si-Gehaltes 0,5% Quarz berücksichtigt.

Tabelle 3. *Chemische Analyse des Palygorskits vom Bürgenstock*

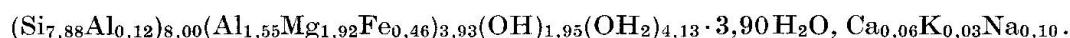
	% lufttrockene Probe	Kationen auf 21 O	
SiO <sub>2</sub>	56,00	Si	7,88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,10	Al	1,67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	4,33	Fe	0,46
TiO <sub>2</sub>	0,03	Ti	0,003
MnO	0	Mn	0
CaO	0,38	Ca	0,06
MgO	9,15	Mg	1,92
K <sub>2</sub> O	0,18	K	0,03
Na <sub>2</sub> O	0,37	Na	0,10
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	7,90	H <sup>-</sup>	7,57
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> <sub>85-195°</sub>	4,30	H <sup>+</sup>	4,12
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> <sub>195-640°</sub>	6,60	H <sup>+</sup>	6,32
	99,34		

\*) Fe gesamt als Fe<sup>3+</sup>

Unter Vernachlässigung des Titans lautet die auf 21 Sauerstoffe berechnete Mineralformel:



Danach hat der von uns untersuchte Palygorskит einen schwachen isomorphen Ersatz von Si durch Al in der Tetraeder-Schicht und einen starken Ersatz von Mg durch Al und Fe in der Oktaeder-Schicht. Mit 3,93 Kationen in der Oktaeder-Schicht ist er, wie das für Palygorskite typisch ist, di- bis trioktaedrisch. Wie schon erwähnt, zeigte die Verteilung des Wassers nach der TGA grosse Abweichungen von der theoretischen Formel  $Si_8Mg_5O_{20}(OH)_2(OH_2)_4 \cdot 4 H_2O$ . Benutzt man dagegen die Gewichtsabnahmen der DTA-TGA, d. h. berücksichtigt man die Unterteilung der dritten Gewichtsstufe, kommt man mit der folgenden Formel der theoretischen Verteilung des Wassers wesentlich näher:



#### 4. GENESE

Das hier beschriebene Palygorskit-Vorkommen ist in verschiedener Hinsicht mit jenem vergleichbar, das PETERS und von SALIS (1965) aus der subalpinen Molasse des Entlebuchs beschrieben haben. Das Nebengestein bestand dort allerdings aus Nagelfluh, Sandsteinen und Mergeln der Oberen Süßwassermolasse. Die Klüfte scheinen durchwegs geschlossen gewesen zu sein und keine Bewegungsstreuungen aufgewiesen zu haben. Auch am Bürgenstock fehlt der Palygorskit dem Nebengestein. Eine sedimentäre Entstehung kann deshalb ausgeschlossen werden. Da Spuren von Vererzung fehlen, ist auch eine Ausscheidung aus hydrothermalen Lösungen wenig wahrscheinlich. PETERS und

von SALIS nahmen an, dass im Entlebuch niedrig temperierte wässrige Lösungen dem Nebengestein Stoffe entnommen hätten, welche nachher in den Klüften zu Palygorskite und Calcit auskristallisiert seien. Im Kieselkalk könnte dies ebenfalls zutreffen, enthält er doch neben verkieseltem Kalk und Quarzkörnchen in vielen Lagen auch Ton und Glaukonit.

Bemerkenswert ist am Bürgenstock die enge Verknüpfung von Rutschstriemung und Orientierung des Minerals, was darauf hinweist, dass seine Entstehung irgendwie mit den letzten Gebirgsbewegungen zu verknüpfen ist. Die Klüfte und Scherflächen mögen eine bewegte Vorgeschichte haben. Darauf weist schon ihre häufige Verbiegung hin. Die heute erkennbare Striemung dürfte aber während der letzten Verschiebung entstanden sein. War der Palygorskite schon vorher entstanden, so wurde er weitgehend zerstört, während andererseits die Kristalle nach Abschluss der letzten Verschiebungen ungestört weiterwachsen konnten. Nach diesen Überlegungen müsste die Bildung des Palygorskites am Bürgenstock mit dem letzten Teil der spät-helvetischen Stauch- und Gleitphase zusammenhängen (SCHINDLER, 1959; TRÜMPY, 1969), die nach TRÜMPY vermutlich gleichaltrig wie die Jurafaltung und die Verstellung der Molasse ist und ins Pliozän fällt. Der Palygorskite aus dem Entlebuch wäre dementsprechend gleichaltrig oder jünger.

Wir danken Herrn A. Rub und Herrn Dr. H. G. Wiedemann (Mettler Instrumente AG) für Ihre Mitarbeit bei den thermoanalytischen Untersuchungen.

#### LITERATUR

- BRADLEY, W. F. (1940): The structural scheme of Attapulgite. Amer. Mineral. 25.
- CHRIST, C. L., HATHAWAY, J. C., HOSTETLER, P. B. and SHEPARD, A. O. (1969): Palygorskite: New X-ray data. Amer. Mineral. 54.
- HUGGINS, CH. W., DENNY, M. V. and SHELL, H. R. (1962): Properties of Palygorskite, an asbestosiform mineral. U.S. Bureau of Mines. Report of investigations, 6071.
- MARTIN VIVALDI, J. L., CANO RUIZ, J. and MARTIN VIVALDI, V. (1959) zitiert nach R. C. Mackenzie (1970): Differential thermal analysis, 1, S. 565. Academic Press, London.
- MARTIN VIVALDI, J. L. and FENOLL HACH-ALI, P. (1970) in: Differential thermal analysis, 1. R. C. Mackenzie, editor. Academic Press, London.
- PETERS, Tj. und von SALIS, K. (1965): Palygorskite als Kluftbelag in der tortonen Molasse des Entlebuchs (Schweizerisches Mittelland). Schweiz. Min. Petr. Mitt. 45/1.
- SCHINDLER, C. (1959): Zur Geologie des Glärnisch. Beitr. geol. Karte Schweiz, N.F. 107.
- TRÜMPY, R. (1969): Die helvetischen Decken der Ostschweiz. Eclogae. geol. Helv. 62/1.
- WEIBEL, M. (1961): Die Schnellmethoden der Gesteinsanalyse. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 41/2.
- WIEDEMANN, H. G. (1964): Universelles Messgerät für gravimetrische Untersuchungen unter veränderlichen Bedingungen. Chemie-Ingenieur-Technik 36/11.

Manuskript eingegangen am 27. September 1973.