

Smn 137-55

Kerner-Marilaun F.

**Ein sehr bemerkenswerter Fall von Siallitbildung
in einem mediterranen Gebirgsklima**

Von

Dr. Fritz Kerner-Marilaun

Korr. Mitglied d. Akad. d. Wiss.

Aus den Sitzungsberichten der Akademie der Wissenschaften in Wien
Mathem.-naturw. Klasse, Abteilung I, 137. Band, 8. Heft, 1928

Gedruckt mit Unterstützung aus dem Jerome und Margaret Stonborough-Fonds

Wien 1928

Hölder-Pichler-Tempsky, A.-G., Wien und Leipzig
Kommissionsverleger der Akademie der Wissenschaften in Wien

Druck der Österreichischen Staatsdruckerei

Ein sehr bemerkenswerter Fall von Siallitbildung in einem mediterranen Gebirgsklima

Von

Dr. Fritz Kerner-Marilaun

korr. Mitglied d. Akad. d. Wiss.

(Vorgelegt in der Sitzung am 28. Juni 1928)

Im südlichen Dalmatien erfolgten in der Zeit des mittleren Ladin Ergüsse von Augit- und Enstatitporphyrit, und die Wengener Schichten bestehen dort großenteils aus Tuffen dieser Effusiva. G. v. Bukowski¹ beschreibt sie als vorwiegend dunkelgrüne und hellblaugrüne, dann auch gelbe, orangefarbige und weiße, mitunter blaugeflamme oder gebänderte, äußerst feine aphanitische Tuffe. In lebhaftem Wechsel mit ihnen treten graue, rote und schwärzliche Hornsteine auf, wobei manchmal die Tuffe, manchmal die Hornsteine überwiegen. Außerdem begegnet man Einlagerungen von grauen, plattigen Kalken, dunklen, feingebänderten Schiefern und blätterigen, schwarzen Mergelschiefern. Das südlichste Dalmatien stellt sich — wie die äußerst genauen Aufnahmen von G. von Bukowski ergeben haben — als ein von Längsbrüchen gänzlich zersplittertes, in zahlreiche übereinandergeschobene Bruchschollen aufgelöstes und gegen SW mehrfach staffelförmig abgesessenes Stück eines Faltengebirges dar.

Ostnordostwärts von Castellastua bei Nikčević, schon auf montenegrinischem Boden, ist zwischen einer großen Deckscholle von norischem Korallenriffkalk und einer Scholle von tithonischem Oolithkalk eine Schuppe von Wengener Schichten und ein abgesplittetes Stück von Muschelkalkkonglomeraten hervorgepreßt. Diesem Aufbruch entspricht ein in die Gipfelregion des Gebirges eingesenktes W—O streichendes Hocthal von etwa 3 km Länge und 200 m Breiten erstreckung: das Bjelo polje. Die dunklen Kalke und Schiefer der Wengener Schichten sind auf den Nordsaum der Talmulde beschränkt; ihr Inneres besteht ganz aus lichtgrünlichen und weißen Tuffen, denen sich ein Band von roten Hornsteinbänken einschaltet, das eine die Talmulde ihrer ganzen Länge nach durchziehende Hügelreihe formt. An diesen Bänken ist trotz starker örtlicher Zerknitterung ein mittelsteiles Einfallen gegen N erkennbar. Im östlichen Teile des Aufbruches treten die Köpfe der Hornsteinbänke aber nur wenig hervor, so daß es dort nicht zu einer Scheidung der Talmulde in zwei zueinander parallele Furchen kommt.

¹ G. v. Bukowski, Erläuterungen zur geologischen Detailkarte von Süddalmatien. Blatt Budua, 1904, p. 44; Blatt Spizza, 1912, p. 49.

Die Gesamtheit der Tuffschichten erscheint kaolinisch zersetzt. Was unmittelbar zutage liegt oder nach Hinwegräumung einer dünnen Hornsteinschutt- und Humuslage sichtbar wird, ist eine weiche breiige Masse, die aus polygonalen Krümmeln von 2 bis 3 mm Seitenlänge zusammengesetzt erscheint, beim Zerreiben zwischen den Fingerspitzen sich aber als eine ganz homogene, sehr plastische Substanz erweist. Das aus der Tiefe geförderte Material zeigt festere Konsistenz, ist abfärbend und von erdigem Bruche. Bei der Behandlung mit Wasser erhält man einen äußerst feinen Schlamm und einen Rückstand, welcher sich etwas sandig anfühlt. Die Farbe dieses Siallits ist rein weiß oder weiß mit einem Stich ins Bläuliche oder Grünliche. Alle diese Eigenschaften sind in ganz gleicher Art im Gesamtbereiche des Vorkommens feststellbar.

Diese Umwandlung der kieselreichen Tuffe in eine breiige Substanz scheint sich auf das Vorkommen bei Nikčević zu beschränken. Nur in einem gleichfalls hochgelegenen kleinen Aufbruch von Porphyrittuffen weiter im NW, im Mokro polje, soll Ähnliches zu sehen sein. Dagegen fehlt eine so weitgehende Zersetzung in den der Küste näher gelegenen Tuffvorkommen; wohl erwähnt aber v. Bukowski, daß die Tuffe von verschiedener Festigkeit seien. In meinem dalmatinischen Aufnahmsgebiete, in der Svilaja planina, woselbst sich das ladinische Ergußgestein als ein Augitporphyrit erwies, sind die ihm zugehörigen Absätze dunkel-spangrûne Pietra verde, olivengrüner Kieselmandelstein, spargelgrüne, lichtwachsgelbe und bläulichgraue, porphyrische und aphanitische Tuffe, lichte und dunkle Kieselschiefer und rauchgraue Hornsteinkalke.

Neben harten, in scharfkantige Scherben zersplitternden Kieselgesteinen erwähnen meine Berichte¹ auch ein weißes, zu feinbröckligem Schutt zerfallendes toniges Gestein, aber keine breiig erweichten Tuffmassen. Ebensowenig berichtete Schubert aus dem Triasgebiet nördlich von Knin von einer so weitgehenden Zersetzung der ladinischen Tuffe. Das Phänomen im weißen Felde bei Nikčević muß so durch nur dort wirksam gewesene Kräfte bedingt worden sein, wobei die Besonderheit wohl nicht eine qualitative und nur ein quantitative sein möchte. Die Zerknitterung der den Tuffen eingeschalteten Jaspisbänke weist auf eine besonders starke Zerrüttung der Schichten innerhalb eines heftig durchbewegten Gebirges hin. Sie konnte die Tuffe den zerstörenden Kräften zugänglicher machen, besonders im Vergleich zu jenen in der Svilaja planina, welche Bestandteil einer relativ wenig gestörten, mit einigen Lücken von der Basis der skythischen Stufe bis ins Turon hinaufreichenden Schichtfolge sind. Dann mußten sich aber bei den Tuffen im Bjelo polje zufolge ihrer Lage in der Gipfelregion eines Berg-

¹ F. v. Kerner, Die Trias am Südrande der Svilaja planina. Verh. d. Geol. R.-A., 1908, p. 280, und Erläuterungen zur geol. Spezialkarte, Blatt Sinj—Spalato, 1914, p. 26.

kammes die Angriffe der Atmosphärlinen wirkungsvoller gestalten als bei den Vorkommnissen in den tieferen Lagen. Im Vergleich zum porphyritischen Magma mochten aber die Tuffe überhaupt leichter angreifbar sein.

Über den Chemismus der hier aufgezeigten Befunde geben drei Analysen Aufschluß, welche allerdings keine einheitliche genetische Reihe bilden: die Analyse eines Noritporphyrits aus der Gegend von Spizza, die eines unzersetzen Porphyrittuffes aus dem Svilaja-gebirge und die des zersetzen Tuffes vom Bjelo polje. Die von C. v. John¹ durchgeföhrte Porphyritanalyse betraf ein Gesteinsstück von der Örtlichkeit Mišić, welches sich als das frischest erhaltene unter den von Bukowski in der Spizzaner Gegend gesammelten Mustern von durchaus demselben Typus erwies:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Gl.-V.
57·25	16·35	1·30	6·75	7·25	7·06	0·44	2·69	1·17

Der hohe Magnesiagehalt entspricht dem im mikroskopischen Bilde sichtbaren reichlich ausgeschiedenen Enstatit. Daneben ist aber auch monokliner Pyroxen ausgeschieden und die Grundmasse enthält, wie v. John hervorhebt, neben Glasmasse viel monoklinen Augit, so daß die Tonerde nicht ganz auf Rechnung des Feldspates kommt, welcher, nach dem Kalk- und Natrongehalt zu schließen, ein Labradorit sein dürfte. Die Feststellung der Hauptbestandteile eines von mir im Tälchen Suvaja in der Svilaja planina gesammelten Tuffes verdanke ich der Güte des Herrn Oberbergrates O. Hackl:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	H_2O	Gl.-V.
82·42	10·41	0·21	0·77	0·95

Es mag sein, daß der Porphyrit der Svilaja planina weniger Enstatit führt als der süddalmatinische; im übrigen gleicht er diesem aber in seiner Erscheinungsform, so daß die Analyse eines ihm zugehörigen Tuffgesteines der vorigen angeschlossen werden darf, wenn es sich nur um einen Vergleich zwischen Magma und Tuff handelt. Die Sesquioxyde zeigen eine Verminderung und auch der Gehalt an Monoxyden nimmt sehr ab; während sie im Porphyrit 24% ausmachen, entfallen im Tuff auf Kieselsäure + Tonerde schon über 90%. Die Einsichtnahme in eine Analyse des zersetzen Tuffes vom Bjelo polje wurde mir von Prof. E. Selch, welcher dieselbe durchgeföhr hat, für den vorliegenden Vergleichszweck in liebenswürdigster Weise gestattet:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$	H_2O	Gl.-V.
68·38	10·21	1·53	1·22	2·85	0·99	10·31	4·67

außerdem Spuren von Titansäure.

¹ C. v. John, Noritporphyrit (Enstatitporphyrit) aus dem Gebiete von Spizza in Süddalmatien, Verh. d. Geol. R.-A., 1894, p. 133.

Der Gehalt an Tonerde erscheint gegenüber jenem in einem unzersetzen Tuffe kaum verändert. Die Abfuhr von Basen ist gering. Einer erheblichen Minderung des Kieselsäuregehaltes steht eine nur um weniges geringere Zunahme des Wassergehaltes gegenüber. Es handelt sich um einen Verwitterungsvorgang in der Richtung auf Allophanbildung, bei welchem die Kieselsäureabfuhr aber schon lange vor Verminderung auf den der Kaolinformel entsprechenden SiO_2 -Betrag haltmachte und auch die Entbasung unvollständig blieb, indem die Alkalien und alkalischen Erden zusammen noch 5% ausmachen.

Die dritte Analyse ist naturgemäß unter demselben Vorbehalt an die zweite anschließbar, unter welchem diese an die erste angereiht werden darf. Der zersetzte Tuff vom Bjelo polje hat eine ähnliche Zusammensetzung wie die Walkererde von Quincy in Gadsden County in Florida:¹

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	$\underbrace{\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}}$	H_2O
67·31	11·07	2·61	2·60	3·32	1·01	8·25

(Analyse auf getrocknete Substanz berechnet.)

Ganz auszuschließen ist der Gedanke, daß die beobachtete Umwandlung der Tuffe des Bjelo polje das Anfangsstadium eines jener Prozesse wäre, welche man außer der Verwitterung noch als mögliche Ursachen der Kaolinitisierung in Betracht zog. In nicht großer Entfernung von Nikčević befindet sich das Zinnobervorkommen von Nehaj bei Spizza und für die Quecksilberlagerstätten ist die hydrothermale Entstehung sichergestellt (Steamboat Springs und Sulphur Bank). Als Gangart tritt bei Nehaj neben Kalzit auch Baryt auf, und Stahl² berichtet, daß im Odenwald die dortigen endogenen Kaoline an verkieselte Barytgänge gebunden sind. Es wäre aber eine durchaus willkürliche Annahme, daß auch zum Bjelo polje Thermalwässer Zutritt gefunden hätten, deren Einwirkung aber zu schwach gewesen wäre, um ein dem Kaolin entsprechendes wasserhaltiges Alumosilikat zu bilden. Mehrorts zeigen sich im Gebirge um Virpazar und Antivari und auch nahe der Kuppe des Spas bei Lastua die Klüfte in den Hornsteinen der Wengener Schichten von Mangan- und Eisenmanganerzen erfüllt, auch bei Nikčević selbst ist an der Grenze des Tuffes gegen einen benachbarten Kalk eine solche Kluftfüllung vorhanden. Gleichwohl könnte eine für Kaolinbildung zu schwache Einwirkung von kalten Säuerlingen, welche in Nordostbayern als Kaolinbildner angesehen wurden, nicht in Erwägung kommen. Endogene Kaoline pflegen durch gelbliche und rötliche Färbung gekennzeichnet zu sein.

¹ Porter, U. Stat. Geol. Surv. Bull. 315. Mitgeteilt bei Dammer und Tietze, II, p. 420.

² A. Stahl, Die Verbreitung der Kaolinlagerstätten in Deutschland. Arch. f. Lagerst.-Forschung, Heft 12, 1912, p. 106.

Für eine frühere Moorbedeckung des Bjelo polje fehlt jeder Anhaltspunkt. Vorkommnisse von Pyrit und Siderit sind dort ganz unbekannt. Die völlige Gleichartigkeit der äußerlich allerdings einem Rohkaolin sehr ähnlich sehenden Tufferde in ihrem ganzen Vorkommen spricht auch durchaus für ihre Deutung als Erzeugnis der atmosphärischen Verwitterung. Als solches drängt sie zur Nachschau nach dem für das Bjelo polje anzunehmenden Thermo- und Hydroklima.

Zur Bestimmung der Lufttemperaturen in der Talmulde von Nikčević kann man die Differenzen zwischen den Bergstationen Crkvica und Goli vrh gegen Teodo (Bocche di Cattaro) heranziehen.¹

Die mittleren jahreszeitlichen Temperaturabnahmen sind:

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
Teodo-Crvkvice	0·75	0·70	0·69	0·69
Teodo-Golivrh	0·77	0·72	0·69	0·69

Für den Jänner findet man 0·79 (aus 0·78 und 0·80), für den Juli (übereinstimmend) 0·73. Mit Budua als Basisstation erhält man so für die Höhenlage 650 (Bjelo polje) Jänner 3·8, Juli 21·4.

Schwierig ist es, die Regenmenge abzuschätzen.

Aus den Beobachtungsergebnissen der Regenmeßstationen, welche noch zur Zeit der österreichischen Herrschaft im südlichsten Dalmatien errichtet worden sind, läßt sich bei der sehr verwickelten Reliefgestaltung allerdings erst ein ganz ungefähres Bild der Niederschlagsverhältnisse gewinnen.

Es zeigt sich, daß die jährliche Regenmenge an der offenen Küste erheblich kleiner ist als an den Ufern der Bocche und daß sie mit der Seehöhe wächst, und zwar rascher als in arithmetischer Steigung. Dieses Wachstum läßt sich ungefähr durch die Gleichungen:

$$R_1 = 115 + 3 \cdot 395 h + 1 \cdot 375 h^2$$

und

$$R_2 = 115 + 6 \cdot 63 h^{1.3867},$$

in welchen R die jährliche Regenmenge in Zentimetern, h die Seehöhe in Hektometern und das konstante Glied die mittlere Niederschlagshöhe an der offenen Küste in Zentimetern ist, ausdrücken. Dieselben ergeben folgende Werte:

Seehöhe.....	250	500	750	1000
R_1	1320	1660	2180	2865
R_2	1385	1770	2235	2765

Als Mittel für die Ufer der Bocche erhält man 1790. Die Regenmenge nimmt dort also in den untersten 500 m bergaufwärts

¹ Nach Trabert, Isothermen von Österreich. Denkschr. d. math.-naturw. Kl. d. Akad. d. Wiss., LXXXIII. 1901. Auf diese Arbeit stützen sich auch die folgenden Temperaturangaben.

nicht zu.¹ Für die erhöhten Ränder des Bjelo polje (700 m) würde sich $R_1 = 2060$, $R_2 = 2145$, sohin im Durchschnitt 2100 mm ergeben.

Es ist nun aber zu vermuten, daß dort infolge ganz besonderer Umstände sehr viel mehr Regen fällt. Der Bergkamm, welcher von der Küste des südlichsten Dalmatien aufsteigt, ist der erste hohe Wall, der sich den über den flachen nordalbanischen Küstensaum heranwehenden dampfgesättigten Südwinden entgegenstellt. Ostwärts dieses Walles liegt der Skutarisee, welcher in der wärmeren Jahreshälfte eine große Verdunstungsfläche darstellt. So werden dem Gebirge ober Castellastua auch durch östliche Winde große Feuchtigkeitsmengen zugeführt.

Da der genannte Kamm nicht dem erhöhten Rande eines Karstplateaus entspricht, sondern der First eines beiderseits frei aufragenden Gebirges ist, mag er relativ kühl sein und leicht zur Nebelbildung Anlaß geben.

Den Ausspruch, daß bewegte Nebelmassen leicht recht ergiebige Wassermengen abgeben können, hat Hann in einem Aufsatze über die bekannten Versuche Marloths getan.² Die durch diese angeregten neuen Versuche von Forest, Descombes³ und Phillips⁴ haben die Bedeutung der Bäume und Sträucher als Wasserfänger allerdings auch noch nicht vollständig klargestellt, weil alle diese Versuche mit Fehlerquellen behaftet sind; an einer erheblichen Wasserzufuhr durch treibende Nebel und Wolken ist aber gewiß nicht zu zweifeln. Einer zu hohen Einschätzung dieser Zufuhr tritt freilich Brooks⁵ mit der Bemerkung entgegen, daß die durch die Ombrometer aufgezeigten Regenmengen mit den Summen aus Verdunstung und Abfluß insoweit zusammenstimmen, daß für eine große Vermehrung jener Mengen durch Tau und Nebelgetropf (fogdrip) kein Platz bliebe. Jedenfalls wird das Prozentverhältnis zwischen Regenfall und Nebelgetropf je nach Umständen schwanken. Die Bedingung des Treibens der Nebelmassen ist auf dem südalpinischen Grenzkamm sicherlich voll erfüllt, weil die Südwinde in der Adria oft stürmisch wehen.

Auf Grund des Gesagten ist anzunehmen, daß dieser Kamm außerordentlich große Niederschlagsmengen empfängt. Den Ersatz für die noch fehlende ombrometrische Bestätigung dieser Annahme liefert ein hydrogeologischer Befund. Am Iljino Brdo (Eliaskuppe) tritt das Phänomen der Quellbildung nahe unter einem

¹ Die ombrometrischen Werte, auf welche sich die vorigen Gleichungen gründen, sind den »Beiträgen zur Hydrographie Österreichs«, X. Heft, Wien, 1918, entnommen.

² Über die Wassermengen, welche Sträucher und Bäume aus treibendem Nebel und Wolken auffangen. Met. Zeitschr., XXIII, 1906, p. 547.

³ P. Descombes, Les forêts, les pluies et les condensations occultes. Ann. Soc. met. d. France. LXVI. 1923, p. 38.

⁴ J. Phillips, Rainfall interception by plants. Nature CXVIII. 1926, p. 837.

⁵ C. E. P. Brooks, The influence of forests on rainfall and run-off. Quart. Journ. of the R. met. Soc. LIV. 1928, p. 17.

Gipfel, welches schon, wo es vereinzelt auftritt, als große Merkwürdigkeit gilt,¹ im ganzen Umkreise der Gipfelkuppe auf. Eine ganz flüchtige, von mir an Ort und Stelle gemachte Skizze zeigt sechs ziemlich gleichmäßig über diesen Umkreis verteilte Quellen, darunter zwei ummauerte. Im ganzen sollen deren zwölf vorhanden sein. Die Eliaskuppe besteht aus einer von Wengener Schichten und einer Schuppe von obereozänem Flyschmergel unterschobenen kleinen Scholle von tithonischem Oolithkalk; es kann sich aber wohl nicht um eine ebene Schubfläche handeln, die Flyschoberseite dürfte die Form einer flachen Schüssel haben; denn nur wenn man die genannten Quellbildungen als Überfallquellen deutet, wird ihre Stärke verständlich. Lage der Iljino Brdo nicht in den quellengeologisch noch wenig erforschten »Schwarzen Bergen«, wären so wohl alle Lehr- und Handbücher der Hydrologie seines Lobes voll. Eine selten günstige Gelegenheit würde sich dort ergeben, die Abhängigkeit der Quellwärme von der Auslage zu erforschen.

An dem gegenüber der Eliaskuppe noch höher aufragenden Veli Rastovac ist mangels entsprechender geologischer Verhältnisse kein solcher indirekter Nachweis einer sehr bedeutenden atmosphärischen Wasserzufluhr erbringbar. Es ist aber kaum zu bezweifeln, daß das ganze Bjelo polje nebst seiner Umrahmung ein außerordentlich regenreiches Gelände sei.

Für das in 750 m Mittelhöhe gelegene Tälchen Suvaja, in welchem, wie erwähnt, die Porphyrittuffe weniger entkieselt sind als im Bjelo polje, sind — entsprechend der etwas nördlicheren Lage und etwas größeren Höhe — um ein geringes niedrigere Temperaturen anzunehmen als für dieses Polje. Für die Zunahme der Niederschläge mit der Höhe im Svilajagebirge lassen sich auf Grund der Beobachtungsergebnisse der umliegenden Regenmeßstationen folgende einfachste Gleichungen aufstellen:

$$R = 83 + 9 \cdot 98 h - 0 \cdot 3656 h^2$$

$$R = 83 + 9 \cdot 86 h^{0.8343}.$$

Die erste gibt 1375 mm, die zweite 1360 mm als jährliche Regenmenge in 750 m Seehöhe. Dieser Betrag ist nur ein Drittel der für das Bjelo polje schätzbarer Summe von Niederschlag und Nebelkondensation. Derart wird die stärkere Entkieselung und Erweichung der Tuffe in dieser Karstmulde als das Ergebnis der Einwirkung sehr viel größerer Mengen atmosphärischen Wassers erkennbar. Bei der Schätzung dieser Mengen (Niederschlag + Nebelgetropf) wird man auf 4000 mm hinaufgehen dürfen, weil in Crkvica

¹ In Lersch, Hydrophysik, Berlin, 1865, sind aus verschiedenen Gegenden Mittel-, West- und Südeuropas p. 94 14 Gipfelquellen angeführt. Höfer (Grundwasser und Quellen, Braunschweig, 1920) erwähnt p. 65 deren vier, zwei aus den Ostalpen, zwei aus Deutschland. Aus dem dalmatinischen Karstgebiet wurde eine Gipfelquelle durch mich bekannt gemacht. (Quellengeologie von Mitteldalmatien, 1916, p. 73.)

schon der ombrometrisch erfaßbare Niederschlag viereinhalbtausend Millimeter beträgt (4642 Hann, 1888 bis 1909; 4556 Kassner, 1891 bis 1900; 4626 Hydrographisches Zentralbureau, 1888 bis 1913). Crkvice ist allerdings exzeptionell; aber auch für den Iljno Brdo ist nach dem früher Gesagten eine hydrometeorische Sonderstellung anzunehmen. 4000 *mm* Jahresniederschlag wird selbst in den regenreichen Teilen der Tropen nicht oft überschritten. So wird durch den Hinweis auf den 68% SiO_2 enthaltenden Siallit vom Bjelo polje bei Castellastua der Umstand klar aufgezeigt, daß für Kaolinbildung, beziehungsweise für die Bildung von Allophanen vom Kieselsäuregehalte des Kaolins, der Schwellenwert der Wintertemperatur auch bei größtem Regenreichtum hoch über 4° liegen muß. Die Frage, warum die Wengener Tuffe Dalmatiens nicht schon im Alttertiär, als noch die Wintertemperaturen viel höher sein mußten, eine starke Entkieselung erfuhren, beantwortet sich selbstverständlich dahin, daß sie damals noch nicht zutage lagen.
