

- MÜLLER, L.: The Rock Slide in the Vajont Valley. — Felsmechanik u. Ingenieur-geol., **2**, 148—212, 1964.
- : New Considerations on the Vajont Slide. — Felsmechanik u. Ingenieurgeol., **6**, 1—91, 1968.
- MUELLER, St.: Low-Velocity Layers Within the Earth's Crust and Mantle. — Proc. 10th General Assembly E.S.C. (Leningrad), 1—12, 1968.
- MUELLER, St., & LANDISMAN, M.: Seismic Studies of the Earth's Crust in Continents — Part I: Evidence for a Low-Velocity Zone in the Upper Part of the Lithosphere. — Geophys. Journ. R.A.S., **10**, 525—538, 1966.
- NARAIN, H., & GUPTA, H.: Koyna Earthquake. — Nature, **217**, 1138—1139, 1968.
- RICHTER, C. F.: Elementary Seismology. — 768 p., San Francisco and London (W. H. Freeman & Co.) 1958.
- ROTHÉ, J. P.: Fill a Lake, Start an Earthquake. — New Scientist, **39**, 75—78, 1968.
- : Earthquakes and Reservoir Loadings. — Proc. 4th World Conference on Earthquake Engineering (Santiago), **A 1**, 28—38, 1969.
- WOLBER, G.: Energieverluste elastischer Wellen in der Erdkruste. — Zul.Arb., Universität Karlsruhe, 56 p., 1968.

Paläotemperaturen und Paläoklima in Obertrias und Lias der Alpen

Von FRANK FABRICIUS, München, HANS FRIEDRICHSEN, Marburg/Lahn, und
VOLKER JACOBSHAGEN, Berlin *)

Mit 5 Abbildungen und 1 Tabelle

Zusammenfassung

Für 172 karbonatische Proben aus Nor bis Mittellias der Alpen wurden Paläotemperaturen nach dem $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Mischungsverhältnis bestimmt. Untersucht wurden vor allem Fossilien, und zwar bevorzugt solche, die primär vorwiegend oder gänzlich aus Calcit bestanden haben; daneben auch Ooide und Gesteine. Um diagenetischen Verschiebungen des $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnisses aus dem Wege zu gehen, wurde der Diagenese-Grad jeweils optisch und mit der röntgenographischen Phasen-Analyse geprüft; sichtbar rekristallisiertes Material wurde nicht verwertet.

Die ermittelten Paläotemperaturen zeigen — nach Alter und Fazies-Gruppen getrennt dargestellt (Abb. 2) — meist deutliche Häufungen, die angesichts der relativ großen Probenzahlen und der unterschiedlichen diagenetischen Bedingungen für die einzelnen Proben den ursprünglichen Wasser-Temperaturen annähernd entsprechen dürften; diese Annahme wird durch Paläotemperaturen aus aragonitischem Material für das Rät bestätigt. Bei der Interpretation der Paläo-

*) Anschriften der Verfasser: Dr. F. H. FABRICIUS, Institut für Geologie der Technischen Hochschule, 8 München 2, Arcis-Str. 21; Dr. H. FRIEDRICHSEN, Mineralogisches Institut der Universität, 355 Marburg/Lahn, Deutschhausstr. 10, und Prof. Dr. V. JACOBSHAGEN, Geologisch-Paläontologisches Institut der Freien Universität Berlin, 1 Berlin 33, Altensteinstr. 34 a.

Aufsätze

temperaturen wurden paläogeographische Faktoren (Bathymetrie, Salzgehalt u. a.), soweit bekannt, berücksichtigt. Für die norischen Flachmeer-Proben ergeben sich Temperaturen um 25°C, für die rätischen etwas niedrigere Werte. Einem Temperatur-Minimum im Unterlias folgte im Mittellias eine Erwärmung um mehrere Grade. Demnach dürften die obertriassischen Korallen-Riffe in den Nördlichen Kalkalpen während während des Unterlias aus klimatischen Gründen abgestorben sein.

Abstract

172 carbonate samples from the Alps (mainly the Northern Calcareous Alps) ranging from Norian to Middle Liassic age, have been investigated for their $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -content. Paleotemperatures have been determined. The analysed samples — fossils, mainly with primary calcitic shells, ooids and carbonatic sediments — were carefully selected by optical and x-ray methods.

The results are given in fig. 2. Paleotemperatures are plotted in groups of the same age and equal or similar facies. The maximum of each group is assumed to represent the average water-temperature of that time. The interpretation of the paleotemperatures refers also to paleogeographic factors, e. g. bathymetry and salinity.

The Noric shelf-sea paleotemperatures are in the range of about 25° C and show a systematic decrease to the Upper Rhaetian; a minimum temperature during the Lower Liassic (18° C) was followed by a warmer climatic period in the Middle Liassic. It is assumed that the Upper Triassic coral-reefs of the Northern Calcareous Alps died out because of the low temperature.

Résumé

Pour 172 échantillons carbonatés allant du Norien jusqu'au Lias moyen des Alpes on a déterminé les paléotempératures d'après le rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. Étudiant surtout des fossiles, nous avons préféré ceux qui, dès l'origine, consistaient en grande partie ou totalement en calcite; en outre nous avons utilisé des ooides et des roches. Pour éviter l'altération diagénétique du rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, on a examiné le degré de la diagénèse sous le microscope et à l'aide des rayons X; le matériel visiblement récristallisé a été exclu de l'étude.

Les températures déterminées — groupées selon l'âge et le faciès (fig. 2) — s'accumulent pour la plupart clairement autour de valeurs qui, vraisemblablement, représentent les températures originales de l'eau de mer — vu le nombre élevé des échantillons et les conditions variées de diagenèse qu'ils ont subi. Cette supposition a été vérifiée par des températures déterminées sur de l'aragonite pour le Rhétien (KALTENEGGER 1967). En interprétant les paléotempératures on a tenu compte des facteurs de paléogéographie (bathymétrie, salinité etc.).

Les échantillons noriens provenant d'une mer peu profonde ont donné des températures d'environ 25° C, les échantillons rhétiens des valeurs un peu plus basses. Un minimum pendant le Lias inférieur a été suivi, pendant le Lias moyen, par un réchauffement de plusieurs degrés. On peut donc penser que les récifs coralliens du Trias supérieur dans les Alpes calcaires septentrionales se sont retirés pour des raisons climatiques au cours du Lias inférieur.

Краткое содержание

Был определен изотопный состав $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ в 165 пробах карбонатных пород и окаменелостей верхнего триаса и льяса Альп. Взяли гл. обр. те окаменелости, в которых еще сохранился первичный кальцит, а также

оолиты из карбонатных пород. Для установления влияния процессов диагенеза на распределение изотопов O^{18} / O^{16} были привлечены оптические и рентгенографические методы. Материал, где установили процессы перекристаллизации, для анализа не брали. При определении палеотемпературы принимали во внимание как возраст, так и фаций исследованных пород. Для пород бассейна норийского века установили палеотемпературу в 25° , для рётских отложений — несколько ниже. Температурный минимум отмечается в породах нижнего лейаса, однако в среднем лейасе замечается повышение температуры на несколько градусов. По мнению авторов, причиной вымирания верхнетриассовых кораллов в северных Альпах явились климатические изменения в период нижнего лейаса.

Einleitung

Seit dem Beginn unseres Jahrhunderts hat sich die Ansicht entwickelt, daß innerhalb des im allgemeinen warmen und klimatisch ausgeglichenen Mesozoikums der Lias eine kühlere und niederschlagsreichere Periode gewesen sei. Man berief sich dabei auf paläobiologische, ökologische, paläogeographische und sedimentologische Argumente. So wurde der Florenwandel zwischen Mittel-Keuper und Rät von manchen Autoren vor allem auf eine Klimaverschlechterung zurückgeführt (HANDLIRSCH 1910, МИГАТЧЕВА 1964). Den gleichen Schluß zog HANDLIRSCH (1910) aus relativ geringen Körpergrößen der Lias-Insekten. PIA (1920) hat dann — ausgehend vom Tethys-Bereich — nach der Arten-Häufigkeit und der geographischen Verbreitung der Dasycladaceen in Trias und Jura Europas (vgl. auch PIA 1942; 21, Tab. 3) angenommen, daß sich das Klima nach einem Höhepunkt in der Mitteltrias bis in den Lias hinein verschlechtert habe; erst im Dogger sei es wieder wärmer geworden bis zu einem neuen Optimum im Malm. PIA's Vorstellungen sind auch in die Lehrbuch-Literatur eingegangen (z. B. SCHWARZBACH 1961); doch hatte er selbst seine Argumentation durch den Hinweis auf die große Verbreitung rätischer Korallen-Riffe in den Nördlichen Kalkalpen — also am Nordsaum der Tethys — bereits abgeschwächt (PIA 1942: 20), und E. FLÜGEL konnte sie durch die Untersuchung der Kalkalgen in rätischen Riffen der Ostalpen weitgehend entkräften (FLÜGEL & FLÜGEL-KÄHLER 1963: 70).

Immerhin starben die obertriassischen Korallen-Riffe der Nördlichen Kalkalpen im tiefen Lias ab. Während des Mittellias sind nur weiter im Süden Riffkalke oder riffnahe Flachwasser-Kalke gebildet worden, z. B. stellenweise in den Südalpen, im Zentral-Appennin, in Jugoslawien, Griechenland und im Hohen Atlas, und auch diese enden im allgemeinen mit dem Beginn des Oberlias. Dies ist zwar in vielen Fällen zweifellos auch durch tektonische Absenkung in tiefere Meeresbereiche zu erklären, aber die übereinstimmende Entwicklung in einem so großen Gebiet legte doch den Gedanken an eine Klimaverschlechterung nahe (HANDLIRSCH 1910; BRINKMANN 1959; FABRICIUS 1960, 1966). Dazu paßt auch, daß im epikontinentalen Mitteleuropa nach der warm-ariden Periode des mittleren Keupers mit salinaren und Rot-Sedimenten in Rät und Lias graue, kalkfreie oder wenigstens kalkarme Schichten abgesetzt worden sind, während Karbonat-Gesteine erst im höheren Jura häufiger wurden.

Den Verfassern erschien es lohnend, den vermuteten Klimaschwankungen in Obertrias und Lias der Ostalpen mit Paläotemperatur-Bestimmungen nach dem $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Mischungsverhältnis nachzugehen, weil dort während des gesamten Zeitabschnitts marine Karbonat-Gesteine mit zur Untersuchung geeigneten Fossilien abgelagert worden sind. Einzelne Paläotemperatur-Bestimmungen aus Dachstein-Kalk (DEGENS in FLÜGEL & FLÜGEL-KAHLER 1963) und rätischen Zlambach-Schichten (KALTENEGGER 1967) lagen dort bereits vor. Für den Lias hingegen sind solche bisher nur aus den epikontinentalen Bereichen Europas vorgelegt worden (BOWEN 1961 a und b, BOWEN & FRITZ 1963, FRITZ 1965).

Die experimentellen Arbeiten wurden im Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Marburg ausgeführt; wir sind dessen Leiter, Herrn Prof. Dr. E. HELLNER, für die großzügige Förderung sehr zu Dank verbunden. Den Herren Dipl.-Min. R. BERTENRATH und cand. min. U. SIEVERS sei für ihre tatkräftige Mitarbeit im Labor ebenfalls herzlich gedankt. Einen Teil unserer Proben stellten uns die Herren Prof. Dr. R. DEHM und Doz. Dr. K. W. BARTHEL (München), Prof. Dr. F. BACHMAYER und Dr. H. KOLLMANN (Wien); Dr. R. FISCHER und K. H. BÜCHNER (Marburg), Dr. D. HELMCKE und O. OTTE (Berlin) zur Verfügung, wofür wir auch an dieser Stelle unseren Dank aussprechen möchten. Herrn Doz. Dr. W. SCHLAGER (Wien) danken wir für eine Auskunft. Für die experimentellen Arbeiten standen auch Mittel der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Verfügung, für die an dieser Stelle ebenfalls gedankt sei.

Die Proben

Die Herkunftsgebiete unserer insgesamt 172 Proben sind auf Abb. 1 eingetragen; fast alle stammen aus den Nördlichen Kalkalpen. Nähere Angaben über Fundort, Fundschicht und Art des untersuchten Materials sind in Tab. I zusammengestellt. Bei der Auswahl wurden karbonatische Skelett-Elemente von Invertebraten bevorzugt, vor allem solche, die primär bereits aus Calcit bestanden, wie Belemniten und Echinodermen-Reste, um diagenetischen Verschiebungen des ursprünglichen $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnisses möglichst aus dem Wege zu gehen. Aus dem gleichen Grunde wurden auch nur Proben analysiert, die bei starken Lupenvergrößerungen noch keine Rekristallisations-Spuren erkennen ließen. Um darüber hinaus Anhaltspunkte über den Diagenese-Grad zu gewinnen, wurden von allen Proben röntgenographische Phasen-Analysen für die Karbonate angefertigt (Tab. I).

Versuchsweise wurde gelegentlich das Einbettungs-Sediment neben den Fossil-Resten untersucht, außerdem eine größere Zahl von Oolith-Proben bzw. einzelnen Ooiden aus dem Unterlias.

Massenspektrometrische Analyse

Etwa 200 μMol (= 20 mg) des Karbonates einer jeden Probe wurden mit wasserfreier Orthophosphorsäure umgesetzt. Das $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnis wurde am entstandenen Kohlendioxid gegen einen Standard gemessen (McCREA 1950). Ein Teil der Messungen wurde am Zyklidenmassen-

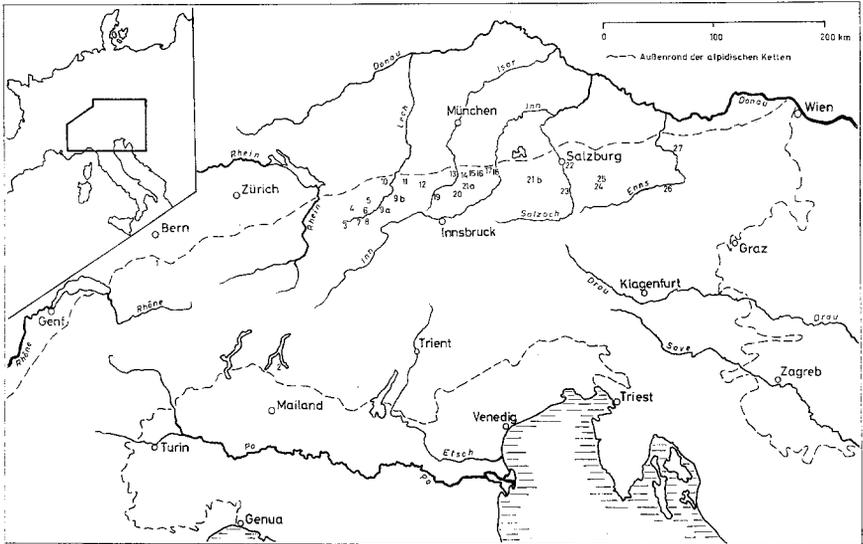


Abb. 1. Herkunftsgebiete der Proben.

- | | | | |
|-----------------------------|------------------------------------|---------|--------|
| Westalpen | 13 Brauneck — | } Ober- | |
| 1 Préalpes romandes | Benediktenwand | | bayern |
| Südalpen | 15 Wallberg — Risserkogel | } Ober- | |
| 2 Arzo, Comer See | 16 Spitzingsee-Gebiet | | bayern |
| Ostalpen | 17 Wendelstein-Gebiet | | |
| 3 Klostertaler Alpen | 18 Oberaudorf/Inn | | |
| 4 Kleines Walsertal | 19 Karwendel-Mulde östl. Mittlen- | | |
| 5 Oberstdorfer Berge | wald | | |
| 6 Allgäuer Hauptkamm | 20 Karwendel-Mulde westl. Achensee | | |
| 7 Umgebung von Lech | 21a Achenkirch/Tirol | | |
| 8 Zentrale Lechtaler Alpen | b Kammerkehr/Tirol | | |
| 9a Bsclabs } östliche Lech- | 22 Salzburger Berge | | |
| b Berwang } taler Alpen | 23 Hoher Göll b. Berchtesgaden | | |
| 10 Vilser Alpen | 24 Hallstatt } Salzkammergut | | |
| 11 Geiselstein-Gebiet | 25 Goisern | | |
| 12 Östl. Ammergauer | 26 Gesäuse/Obersteiermark | | |
| Alpen | 27 Großbraming/Ennstal | | |

spektrometer durchgeführt: das Ionenstrom-Verhältnis der Massen 46/44 wurde direkt gemessen. Der andere Teil wurde am einfach fokussierenden 60°-Instrument (15 cm Radius) vermessen. Dabei wurde das $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnis aus dem Ionenstrom-Verhältnis

$$\frac{\text{Masse 46}}{\text{Masse 44} + 45} \text{ und } \frac{\text{Masse 45}}{\text{Masse 44} + 46}$$

berechnet. Beide Methoden liefern innerhalb der Meßfehler-Grenze von $\pm 0,1\text{‰}$ übereinstimmende Ergebnisse. Der experimentelle Gesamtfehler, d. h. die apparative und die durch den Proben-Aufschluß bedingte Ungenauigkeit der Messungen des Isotopen-Verhältnisses $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, ist

Tabelle 1

Proben-Nr.	Fundschicht	Fundgebiet (vgl. Abb. 1)/Fundort	Art der Probe	Phasen-Analyse *)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}/100$	t [° C]		
Jac 43	Dachstein- kalk, Riffkern	a) „Nor“ 26/Kalbling, 200 m N' HP 2125 26/100 m W' Sparafeld, ca. 400 m über der Basis	Sediment Koralle	—	—0,00 —0,25	16,5 17,5		
Jac 47							Sediment	—
Jac 45			Dachstein- kalk, Riffnahes Achteirriff	26/E-Seite des Lärchkogel HP 2012	Sediment	—	—1,22	22,0
Jac 38			Dachstein- kalk Riffkern	26/Sparafeld, 50 m unter dem Gipfel	Zweischaler	—	—1,28	22,3
Jac 30	Zweischaler	—			—2,07	26,0		
Jac 46	Zweischaler	—			—2,15	26,4		
Jac 41	Sediment	—			—2,25	26,9		
Jac 42	Hallstätter Kalke des Oberen Nor	26/Kalbling, 200 m N' HP 2125 über der Basis	Zweischaler	—	—2,83	29,7		
Jac 9			<i>Halobia</i>	—	—0,05	16,7		
Jac 55			<i>Arcesites</i> sp.	—	—0,12	17,0		
Jac 53			Nautilide	—	—0,25	17,5		
Jac 54 a			<i>Sagenites</i> sp.	—	—1,40	22,8		
Jac 57	Plattenkalk oben	25/Kuchel bei Leisling 24/Steinberg-Kogel 25/Zwerdwand, Hütteneck-Alm	Ammonit	—	—2,00 —2,27	25,7 27,1		
Jac 54			<i>Sagenites princeps</i>	—	—2,75	29,4		
Jac 59			MOJISOVICS	—	—	—	—	
F 2426	Plattenkalk oben	15/Wallberg 16/Rotwand-Haus 15/Wallberg 16/Weg Spitzing-Firstalm	Kalk	—	—1,57	23,6		
F 2197			Kalk	—	—1,77	24,6		
F 4/23			Kalk	—	—2,15	26,5		
F 2186			Resedimentkalk (? Algenkalk)	—	—2,26	26,9		
F 2427		15/N' Risser Kogel	Gebänderter Kalk	—	—2,46	28,0		

*) Ar = Aragonit, Do = Dolomit; Zahlenangabe in %; restliches Karbonat ist stets Calcit.

Tabelle 1 (Fortsetzung 1)

Proben-Nr.	Fundschicht	Fundgebiet (vgl. Abb. 1)/Fundort	Art der Probe	Phasen-Analyse *)	$\delta^{18}O_{PDB}^{0/_{\infty}}$	t [° C]
b) Unteres Rät, Mergel-Fazies						
F 4099	Kössener Schichten	11/Kenzen-Sattel	Mergeliger Kalk	Do < 1	-0,00	16,5
F 2017		15/Plankenstein-Joch	Mergeliger Kalk		-0,85	20,2
Jac 118		12/Steckenberg b. Oberammergau	Muschel		-1,45	23,1
F 395		14/W' Kreut	Brachiopoden-Kalk		-1,63	23,9
F 4101		11/Kenzen-Sattel	Mergeliger Kalk		-1,76	24,5
Jac 110		12/Steckenberg b. Oberammergau	Sediment zu Jac 118		-1,9	25,2
F 4100		11/Kenzen-Sattel	Mergeliger Kalk		-2,23	26,8
F 4/22		19/Alt-Joch			-2,60	28,0
Jac 117		8/Gufle-Sp. bei Kaisers, fast am Gipfel	<i>Anomia fssicostata</i> WINKLER		-2,70	29,2
F 4/24		15/Grubereck			-3,03	30,8
F 2431		15/Rottachtal	Korallenkalk		-3,15	31,4
Jac 112	8/Gufle-Sp. bei Kaisers, fast am Gipfel	Sediment zu Jac 117	-3,30	32,2		
F 2480	18/Luegensteiner See	Mergeliger Kalk	-3,38	32,6		
c) Oberes Rät, Mergel-Fazies						
F 448	Choristo-ceras-Schichten	19/Marmorgraben	Mergeliger Kalk	Do < 1	-0,35	18,0
F 19/448		19/Marmorgraben	<i>Spirigera oxycolpos</i> (SUSS)			
F 4/15	Kössener Schichten	19/Roonberg	Brachiopoden	Ar ca. 40	-0,70	19,6
Jac 61		22/Kendelbach-Graben	Muschel		-1,10	21,4
F 469/c		16/NE' Rotwandhaus	Brachiopoden		-1,20	21,8
F 3/322 a		11/Geiselstein-Joch	Kalk		-1,25	22,1
F 3/322 b	11/Geiselstein-Joch	Kalk	-1,35	22,6		
F 4/20	Choristo-ceras-Schichten	19/Marmorgraben	Brachiopoden	-1,47	23,2	
Jac 114	Kössener Schichten	7/Straße Lech---Warth, N' Bodenbrücke	Auster	-1,90	25,2	
F 4/21	Choristo-ceras-Schichten	19/Karwendelmulde	Mergeliger Kalk	-2,27	27,1	

Tabelle 1 (Fortsetzung 2)

Proben-Nr.	Fundschicht	Fundgebiet (vgl. Abb. 1)/Fundort	Art der Probe	Phasen-Analyse *)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}/_{\text{‰}}$	t [° C]
F 1228	Oxycolpos- Kalk	21/Klambach E' Juifen	Kalk	—	—2,60	28,6
Jac 113	Kössener Schichten	7/Strabe Lech—Warth, N' Bodenbrücke	Sediment zu Jac 114	Do = 5	—2,90	30,2
F 4/14	Choristo- ceras- Schichten	19/Roonberg	Mgl. Kalk m. Foss.	—	—2,90	30,2
F 4/32		15/Auf der Wurz	Mgl. Kalk m. Foss.	—	—3,78	34,8
F 469 b	Kössener Schichten	16/NE' Rotwandhaus	Korallenstöckchen	Do < 1	—4,75	40,1
d) Rät, ungliederte Mergel-Fazies						
Jac 60	Kössener Schichten	27/Großraming/Enns	<i>Plectocidaris</i> -Stachel	Do < 2	—2,63	28,9
Jac 8		9 a/Unterhalb „Sattel“ NE' Bschlabs	Sediment zu Jac 116	—	—3,60	33,0
Jac 116		9 a/Unterhalb „Sattel“ NE' Bschlabs	<i>Pinna</i>	—	—4,45	38,5
e) Oberes Rät in Fazies des Riff-Komplexes						
F 2479	Oberrätalk	18/Luegensteiner See	Kalk	Do = 10	—1,15	21,7
F 2434		21 a/Klambach, E' Juifen	Kalk	Do < 2	—1,18	21,8
F 3/325		11/Geiselstein-Joch	Kalk	—	—1,30	22,3
F 3/323		11/Geiselstein-Joch	Kalk	—	—1,40	22,8
F 4106		11/Kenzen-Sattel	Kalk	—	—1,45	23,1
F 3/330		11/Geiselstein-Joch	Kalk	—	—1,50	23,3
F 4102		11/Kenzen-Sattel	Kalk	—	—1,55	23,5
F 4105		11/Kenzen-Sattel	Kalk	—	—1,58	23,7
F 3/318		11/Geiselstein-Joch	Kalk	—	—1,65	24,0
F 3/324		11/Geiselstein-Joch	Kalk	—	—1,65	24,0
F 3/326 b		11/Geiselstein-Joch	Kalk	—	—2,10	26,1
F 3/329		11/Geiselstein-Joch	Kalk	—	—2,10	26,1
F 4104		11/Kenzen-Sattel	Kalk, oolithisch	Do < 2	—2,25	26,9
F 3/328		11/Geiselstein-Joch	Kalk	—	—2,30	27,2
F 4103		11/Kenzen-Sattel	Kalk	Do = 60	—2,51	28,2
F 2264		13/Garland-Alm	Kalk, oolithisch	—	—2,75	29,4
F 3/432		11/Geiselstein-Joch	Kalk	—	—3,15	31,4

Tabelle 1 (Fortsetzung 3)

Proben-Nr.	Fundschicht	Fundgebiet (vgl. Abb. 1)/Fundort	Art der Probe	Phasen-Analyse *	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PPDB}}/_{\text{‰}}$	t [° C]
f) Rätolias in Fazies des Riff-Komplexes						
F 4115/b Jac 23	Rätolias-Kalk	11/N' Kenzenkopf 8/„Rote Platten“ (Alperschon-Tal)	Kalk Belemnit	Do = 5	— 1,00 — 1,60	20,9 23,8
F 4115		11/N' Kenzenkopf	Kalk	—	— 1,64	23,9
F 4115 a		11/N' Kenzenkopf	Kalk	—	— 1,64	23,9
F 4116		11/N' Kenzenkopf	Kalk	—	— 1,79	24,6
Jac 115		3/Großes Kar südl. d. Roten Wand	Megalodontide Sediment dazu	Do < 5	— 1,90	25,2
Jac 7				—	— 2,00	25,7
F 4115 c				—	— 3,20	31,7
F 2502	16/Ob. Schönfeldalm	„Megalodus“	Do < 1	— 3,95	35,8	
F 2501	16/Ob. Schönfeldalm	„Megalodus“	—	— 4,30	37,6	
g) Hettangium						
F 2053	Grauer Basis- kalk	21 a/Ampelsbad	Mergeliger Kalk	—	— 0,60	19,2
F 1165	Roter Lias- kalk und -mergel (L _{ca2})	16/Bodenschneid	Crinoiden- und Ophiuren-Reste	—	— 0,90	20,5
F 1110	Bunte Mergel im Grenz- bereich Rät/ Lias	19/Fleischbank-Joch	Reste von Ophiuren, Echi- niden und Crinoiden	—	— 1,70	24,2
F 1101 a	Grauer Basiskalk	21 a/Ampelsbad	Echiniden-Stachel	—	— 1,80	24,7
Jac 91	Ältere Allgäu- Schichten	9 b/Satteljoch, 1,5—2 m über Schattwalder Schichten	Brachiopode	—	— 1,97	25,5
F 1135	Bunte Mergel im Grenz- bereich Rät/ Lias	19/Baumgarten-Bach	Crinoiden- und Ophiuren-Reste	—	— 2,80	29,7
F 2281 F 623 F 1101 b	Grauer Basiskalk	19/Marmorgraben 21 a/Säge Waidgries 21 a/Ampelsbad	Mergeliger Kalk Mergeliger Kalk Crinoiden-Reste	— — Do = 1	— 3,17 — 3,25 — 3,50	31,5 32,0 33,3

Tabelle 1 (Fortsetzung 4)

Proben-Nr.	Fundschicht	Fundgebiet (vgl. Abb. 1)/Fundort	Art der Probe	Phasen-Analyse *)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}/_{\text{00}}$	t [° C]
		h) Sinemurium				
Jac 29	Lias-Kalk	1/Blumensteinamend	Belemnit	—	—0,25	17,5
F 1166	Fleckenloser Lias-Kalk	16/Bodenschneid	Crinoiden- und Ophiuren-Reste	—	—0,27	17,7
Jac 10	Unterlias-Rotkalk	5/Sperrbach-Tobel westlich „Witzensprung“	<i>Nannobelus</i> sp.	—	—0,48	18,7
Jac 75	Adnether Kal	21 b/Kammerkehr-Kog (HP 1854 NE' der Steimplatte)	Brachiopode	—	—0,77	19,5
F 1187	Lias-Fleckenmergel	14/Brandkopf	Crinoiden-, Ophiuren- und Asteroiden-Reste	—	—1,05	21,2
Jac 25	Unterlias-Rotkalk	5/Sperrbach-Tobel westlich „Witzensprung“	<i>Nannobelus</i> ex aff. <i>aboolatus</i> (WERNER)	—	—1,30	22,4
F 1162	Fleckenloser Lias-Kalk	16/Bodenschneid	Echinodermen-Reste	—	—1,45	23,0
F 1190	Lias-Fleckenmergel	14/Maria-Eck	Crinoiden-, Ophiuren- und Asteroiden-Reste	—	—1,8	24,7
F 1161	Fleckenloser Lias-Kalk	16/Bodenschneid	Crinoiden-Reste	Do < 2	—2,6	28,7
F 4108 a	Oolith-Mergel	11/Kenzenkopf	Mergelkalk	—	—2,7	29,3
F 1167 a	Lias-Fleckenmergel	16/Bodenschneid	Crinoiden-Reste	—	—3,0	30,7
F 4107	Kieseliger Mergelkalk	11/Kenzenkopf	Gestein	Do < 3	—4,87	40,2
		i) Lias-Oolith (wahrscheinlich vorwiegend Sinemurium)				
F 2270	„Mauerlias“	13/Tennenalm-Wand	Oolithischer Crinoidenkalk	—	—0,89	20,4
F 3/421	Lias-Oolith	11/Geiselstein-Joch	Mergeliger Kalk	—	—1,40	22,8
F 3/316 a		11/Geiselstein-Joch	Kalk-Oolith	—	—1,50	23,2
F 2268	„Mauerlias“	13/Braunack	Kalk-Oolith	—	—1,60	23,8
F 2269		13/Tennenalm-Wand	Kalk-Oolith	—	—1,65	23,9
F 3/316		11/Geiselstein	Ooid-Substanz	—	—2,00	25,6
F 3/332		11/Geiselstein	Kalk-Oolith	—	—2,00	25,6
F 4109 b	Lias-Oolith	11/Kenzenkopf	Kalk-Oolith	Do < 2	—2,05	25,9
F 3/333 a		11/Geiselstein	Mergeliger Kalk	—	—2,10	26,1
F 4119/8		11/Kenzenkopf	Kalk-Oolith	Do = 20	—2,27	27,0
F 4119/1		11/Kenzenkopf	Kalk-Oolith	Do < 10	—2,41	27,7

Aufsätze

Tabelle 1 (Fortsetzung 5)

Proben-Nr.	Fundschicht	Fundgebiet (vgl. Abb. 1)/Fundort	Art der Probe	Phasen-Analyse *)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}^{\circ}/_{\text{00}} \text{ t } [^{\circ}\text{C}]$
F 4119/7	Lias-Oolith	11/Kenzenkopf	Kalk-Oolith	Do < 10	-2,57
F 3/339		11/Geiselstein	Kalk-Oolith	—	-2,60
F 4119/4		11/Kenzenkopf	Kalk-Oolith	Do < 15	-2,58
F 3/422		11/Geiselstein	Kalk-Oolith	—	-2,60
F 4119/6		11/Kenzenkopf	Kalk-Oolith	Do < 10	-2,64
F 3/331		11/Geiselstein-Joch	Mergeliger Kalk	—	-2,70
F 2191		17/Berg	Kalk-Oolith	—	-2,76
F 4118/a	(P Rät-) Lias-Oolith	11/Kenzenkopf	Kalk-Oolith	—	-2,81
F 4119/2		11/Kenzenkopf	Kalk-Oolith	Do < 10	-2,85
F 4112		11/Kenzenkopf	Kalk-Oolith	Do = 20	-2,91
F 3/333 b		11/Geiselstein	Mergeliger Kalk	Do = 10	-3,00
F 3/338 a		11/Geiselstein	Ooid-Substanz	—	-3,15
F 4118/b		11/Kenzenkopf	Kalk-Oolith	Do = 20	-3,21
F 3/338		11/Geiselstein	Kalk-Oolith	—	-3,35
F 2490		17/Berg	Kalk-Oolith	Do = 12	-3,35
F 3/343		11/Geiselstein	Kalk-Oolith	—	-3,40
F 4111/a		11/Kenzenkopf	Kalk-Oolith	—	-3,50
F 3/340	11/Geiselstein	Kalk-Oolith	—	-3,55	
F 4110	11/Kenzenkopf	Kalk-Oolith	—	-3,55	
F 4119/5 b	11/Kenzenkopf	Kalk-Oolith	Do < 2	-3,63	
F 4119/5 a	11/Kenzenkopf	Kalk-Oolith	Do < 2	-3,95	
F 3/411	11/Geiselstein	Mergeliger Kalk	Do = 30	-4,23	
Jac 51	Unterlias-Kalk	2/Steinbruch Arzo, Tessin	Sediment	—	-0,30
F 4117	Crinoidenkalk	11/N' Kenzenkopf	Kalk	—	-1,08
Jac 52	Unterlias-Kalk	2/Steinbruch Arzo, Tessin	Echinodermen-Rest	—	-1,20
F 4113	Lias-Kieselkalk	11/N' Kenzenkopf	Mergeliger Kalk	—	-1,39
F 2270	Crinoidenkalk	13/Tennenalm-Wand	Kalk	—	-1,5

k) Unterlias ungliedert

Tabelle 1 (Fortsetzung 6)

Proben-Nr.	Fundschicht	Fundgebiet (vgl. Abb. 1)/Fundort	Art der Probe	Phasen-Analyse *)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}/_{\infty}$	t [° C]
Jac 31	Unterlias-Rotkalk	8/Block, „Eckhöfe“ bei Madau	Korallenstock	—	— 1,70	24,1
F 2003 a	Homstein-kalk	15/Setzberg-NE-Kar	Kalk	—	— 2,75	29,4
F 1148	Lias-Fleckenmergel	16/Firstgraben	Crinoiden-Reste	Do < 2	— 4,70	39,7
l) Sinemurium — Carixium						
F 1198/b	Fleckenmergel	21 a/Ampelsbad	Crinoiden-Reste	—	— 1,10	21,4
Jac 88	Untere Ältere Allgäu-Schichten	7/Schwabwanne, 1900 m N.N.	Belennit	—	— 1,25	21,7
Jac 27	Unterlias-Rotkalk	8/Straßenkehre am Nordende der Krabach-Schlucht	Belennit	—	— 1,20	21,8
F 1198/a	Fleckenmergel	21 a/Ampelsbad	Echiniden-Stacheln	—	— 1,80	24,7
Jac 19	} Unterlias-Rotkalk	6/Untergumpen, Bernhardtstal	Belennit	—	— 2,00	25,6
Jac 26		5/Westlich Schochen, Nebelhorn-Gebiet	Belennit	—	— 2,07	26,0
Jac 89	Untere Ältere Allgäu-Schichten	7/Schwabwanne, 1900 m N.N.	Crinoiden-Stielglieder	—	— 2,39	27,5
m) Carixium						
Jac 15	Ältere Allgäu-Schichten	7/Grat zwischen Schwabwanne und Schwabtobel	<i>Hastites</i> cf. <i>junceus</i> (PHILLIPS)	—	— 1,05	21,2
Jac 2	} Untere Ältere Allgäu-Schichten	7/Lech-Ufer gegenüber Boden-Alpe	Sediment	Do < 1	— 3,10	31,2
Jac 3			<i>Lima</i> sp.	Do < 1	— 3,50	33,3
Jac 4			<i>Inoceramus ventricosus</i> (SOWERBY)	Do < 1	— 3,70	34,3

Tabelle 1 (Fortsetzung 7)

Proben-Nr.	Fundschicht	Fundgebiet vgl. Abb. 1/Fundort	Art der Probe	Phasen-Analyse *)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}^{\text{‰}}$	t [° C]
		n) Domerium				
Jac 14	Ältere Allgäu-Schichten	3/Eingemauert, Formarin-See	Belemnit	—	— 0,86	20,3
Jac 87	Obere	6/N'Nachtböden, Kemptner Hütte	Belemnit	—	— 1,12	21,2
Jac 11	Ältere Allgäu-Schichten	5/Salakar-Scharte SE' Oberstdorf	Belemnit	—	— 1,20	21,8
Jac 12		6/Märzle bei Oberstdorf	Belemnit	—	— 1,40	22,7
Jac 20		6/Kemptener Hütte	Belemnit	—	— 1,80	24,7
Jac 18		3/Eingemauert, Formarin-See	Belemnit	—	— 2,20	26,6
		o) Mittellias				
Jac 111	Ältere Allgäu-Schichten	3/Schutt nördlich Goppel-Spitze	Nautiliden-Schale	—	— 1,50	23,2
Jac 90		6/Untergumpen, Berhardstal	Belemnit	—	— 1,64	23,7
Jac 21		3/Schutt nördlich Goppel-Spitze	Belemnit	—	— 1,60	23,8
Jac 1		8/SW' „Saurücken“, Kaisertal	Sediment zu Jac 111	—	— 2,00	25,7
Jac 34		6/Untergumpen, Berhardstal	Hornstein-Kalk	—	— 2,05	26,0
Jac 86			<i>Inoceramus ventricosus</i> (SOWERBY)	—	— 2,99	30,7

$\approx \pm 0,2^0/_{00}$. Das bedeutet eine Unsicherheit der Paläotemperatur-Angaben von $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Als Maschinen-Standard diente NBS 20; die gemessenen $\delta_{\text{NBS 20}}$ -Werte wurden in δ_{PDB} umgerechnet. Daraus wurden dann die Bildungstemperaturen der Karbonate nach der von EPSTEIN et al. (1953) angegebenen Formel berechnet.

Paläoklimatische Deutung

Die Paläotemperaturen aus Tab. 1 können nur mit großer Vorsicht und Zurückhaltung paläoklimatologisch ausgedeutet werden.

Einerseits ist festzustellen, daß die aus dem $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnis errechneten Paläotemperaturen mit den ursprünglichen Wasser-Temperaturen im Biotop des Fossils bzw. am Ort der Sedimentation des Gesteins nur dann übereinstimmen können,

1. wenn das Mischungsverhältnis der Sauerstoff-Isotope in Obertrias und Lias demjenigen der heutigen Meere gleich, was nach DEGENS (1959: 183 f.) innerhalb des experimentellen Fehlerbereichs angenommen werden darf;
2. wenn der Salzgehalt am Ursprungsort der Probe normal war [nach EPSTEIN & MAYEDA (1953), steigt der ^{18}O -Gehalt des Meerwassers mit der Salinität. Proben aus Brackwasser müßten demnach überhöhte Paläotemperaturen ergeben, solche aus übersalzenem Milieu zu niedrige; nach EPSTEIN (1959) ergibt sich aus einer Abweichung des Salzgehaltes um $1^0/_{00}$ eine Temperatur-Differenz von 1°C];
3. wenn etwaige diagenetische Veränderungen isochemisch und bei gleicher Temperatur wie zur Lebens- bzw. Sedimentationszeit erfolgt sind.

Die Voraussetzung 2. ist bei der Mehrzahl der untersuchten Proben erfüllt. Brackwasser-Einflüsse sind stets auszuschließen. Mit übersalzenem Milieu wäre zwar bei den Proben aus dem Plattenkalk und bei den Oolithen zu rechnen, doch sprechen deren relativ hohe Paläotemperaturen nicht dafür.

Dagegen sind diagenetisch bedingte Verfälschungen der Paläotemperaturen trotz vorsichtiger Probenauswahl nicht von vornherein auszuschließen. Sie könnten (a) bei allothermer Umwandlung von primärem Aragonit in Calcit oder bei Rekristallisation calcitischer Gefüge entstanden sein, außerdem (b) durch Isotopen-Austausch mit Grund- oder Niederschlagswasser. Der Möglichkeit (b) kommt nach den heutigen Erfahrungen keine große Bedeutung zu. Wieweit mit Verfälschungen nach (a) zu rechnen ist, kann im Einzelfall kaum abgeschätzt werden. Denn obwohl die Gesteinsproben und ein Teil der Fossilien sicherlich primär teilweise oder gänzlich aus Aragonit bestanden haben müssen, konnte Aragonit nur in einem Fall (Jac 61, Muschel-Rest aus Choristoceras-Mergeln des Rät) röntgenographisch nachgewiesen werden. Die Phasen-Analyse ergab für die allermeisten Proben nur Calcit, daneben ausnahmsweise auch Dolomit (Tab. 1).

Ein schönes Beispiel für diagenetische Verschiebungen des primären $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ -Verhältnisses hat KALTENEGGER (1967) anhand von 8 Proben aus mehr oder weniger in Aragonit erhaltenen Dibranchiaten-Resten gegeben, die aus rätischen Zlambach-Mergeln stammen (vgl. auch JELETZKY & ZAPFE 1967). Ihre Paläotemperaturen streuen innerhalb einer Spanne von 9°C , und zwar sind sie am niedrigsten in den Proben mit dem höchsten Aragonit-Anteil, die zugleich im Dünnschliff wenig oder gar keine Rekrystallisations-Spuren aufweisen. Diese Ergebnisse sind von exemplarischer Bedeutung; Diagenetische Veränderungen können die primären Temperaturen nur nach oben verschieben, sei es durch Umkristallisation bei erhöhter Temperatur oder durch Isotopen-Austausch mit dem stets ^{18}O -ärmeren Süßwasser. Prinzipiell kommt somit bei gleichen paläogeographischen Voraussetzungen den niedrigsten Paläotemperaturen die höchste Signifikanz zu.

Obwohl die Fundorte der Proben über ein weites Gebiet verteilt sind und demnach mit jeweils etwas unterschiedlichem Verlauf der Diagenese gerechnet werden muß, zeigen die Paläotemperaturen für die einzelnen Teilabschnitte dennoch recht deutliche Häufungen (Abb. 2). Daraus glauben wir angesichts der relativ großen Probenzahlen schließen zu dürfen, daß diese Maxima mit den tatsächlichen Temperaturen jener Zeiten einigermaßen zusammenfallen. Für das Rät ist diese Annahme durch die Werte von KALTENEGGER (1967) gestützt; sie liegen im Streubereich der von uns ermittelten Paläotemperaturen (Abb. 5).

Darüber hinaus ist andererseits zu bedenken, daß Paläotemperaturen auch im günstigsten Fall nur auf den Entstehungsort der Probe bezogen werden dürfen, daß also auch bei altersgleichem Material primäre Temperatur-Unterschiede bestanden haben müssen, die im großen von der geographischen Breite, im einzelnen von bathymetrischen Differenzen (s. unten), verschieden temperierten Meeresströmungen o. a. herrühren. Gerade die lokale paläogeographische Situation am Entstehungsort der Proben ist bisher bei der Deutung von Paläotemperatur-Messungen kaum berücksichtigt worden; oft ist sie allerdings auch nicht ausreichend bekannt.

Unter diesen Voraussetzungen deuten wir die von uns ermittelten Paläotemperaturen, die in Abb. 2 zur besseren Übersicht nach Alter und Fazies-Gruppen getrennt in Histogrammen dargestellt wurden.

Wenn in Abb. 2 Nor und Rät einander gegenübergestellt wurden, so soll das keine Entscheidung über die derzeit aktuelle Frage bedeuten, ob und wieweit diese beiden Stufen einander zeitlich entsprechen (vgl. z. B. MULLER & FERGUSON 1939; POPOV 1961, TUCHKOV 1964 und ZAPFE 1967), auch nicht darüber, ob nicht einige Plattenkalk- oder Dachsteinkalk-Proben selbst nach herkömmlichen Vorstellungen vielleicht schon ins Rät gehören könnten.

Für das „Nor“ ist bei breiter Streuung eine Häufung dicht über 25° zu erkennen, die durchaus zu erwarten war, da vorwiegend Riff-Gesteine (Dachsteinkalk) und lagunäre Kalke (Plattenkalk) untersucht wurden.

Daß für Hallstätter Kalke auch wesentlich tiefere Paläotemperaturen gefunden wurden (Jac 9, Jac 53, Jac 55), kann zwanglos durch bathymetrische Differenzen der Sedimentationsgebiete erklärt werden. Auffallend sind aber einige niedrige Werte aus dem Kern eines Dachsteinkalk-

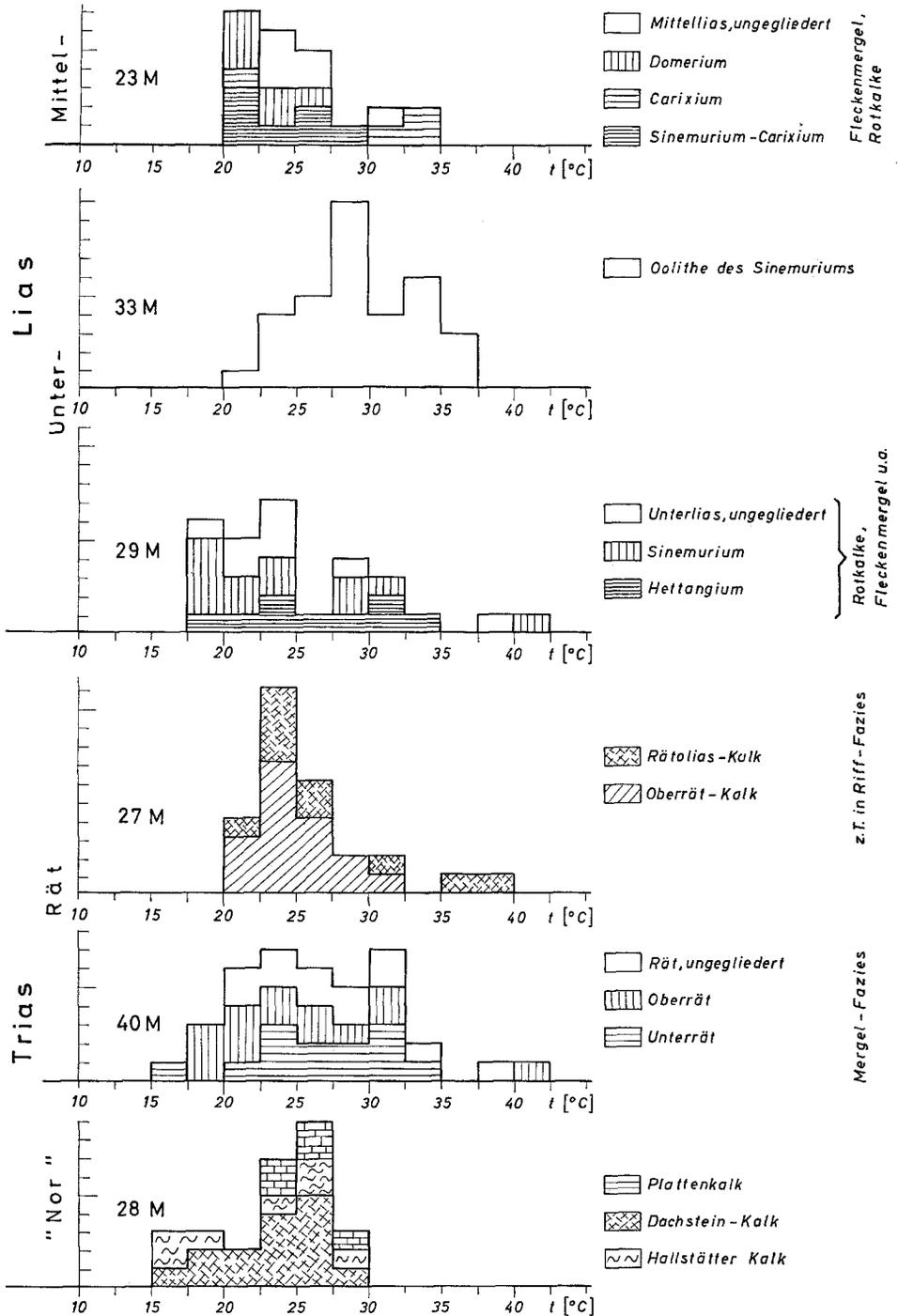


Abb. 2. Paläotemperaturen aus Tab. 1, nach Alter und Fazies getrennt angeordnet, ergänzt durch die Werte von KALTENEGER (1967) und DEGENS in FLÜGEL & FLÜGEL-KÄHLER (1963). Die Fläche eines Feldes der Legende repräsentiert jeweils einen Meßwert (M).

Riffes (Jac 43: 16,5°, Jac 40: 17,5°), die auch bei Berücksichtigung des maximalen experimentellen Fehlers noch unterhalb des Temperatur-Bereichs liegen, in dem heute Korallen-Riffe wachsen können [nach KAESTNER 1954/55 liegt deren Optimum bei Jahres-Temperaturen von 25 bis 29° C, doch halten sie kurzfristig noch 19° aus; nach CLOUD (1952) darf der kälteste Monats-Durchschnitt des Jahres sogar nicht unter 22° liegen, Temperaturen unter 18° sind stets tödlich]. Man könnte zwar in diesem Zusammenhang daran denken, daß DIENER (1915: 139) wegen der Verbreitung der Zlambach-Korallen bis nach Alaska etwas geringere Temperatur-Ansprüche der Obertrias-Korallen für möglich hielt. Nach den Vorstellungen ERSTEM's könnte man aber die wenigen zu niedrigen Paläotemperaturen auch mit geringer Übersalzung einzelner Riff-Partien erklären [nach CLOUD (1952) wachsen Korallen-Riffe heute bei Salzgehalten von 27—38%].

Die Werte aus dem mergeligen Rät sind dagegen für die ganze Spanne von 20° bis 32,5° recht gleichmäßig verteilt. Demgegenüber fällt auf, daß die Riff- und riffnahen Kalke des oberen Rät und des Rätolias ein prägnantes Maximum bei 22,5—25° aufweisen, damit auf der kühleren Seite des Feldes der Mergel-Fazies. Bedenkt man, daß die Mergel des Rät zumeist in etwas größerer Wassertiefe abgelagert worden sein dürften als die Kalke, so sollte dies vielleicht schon als Anzeichen beginnender Klima-Verschlechterung zu werten sein.

Bei der Mergel-Fazies des Unterlias ist das Hauptfeld der Paläotemperaturen (17,5—25°) gegenüber dem Rät zum Kühleren hin verschoben, wenn auch ein schwaches Maximum mit dem rätischen übereinstimmt. Daraus ist auf eine weitere Erniedrigung der Wasser-Temperaturen zu schließen, zumal ja den tieferen Werten stets größere Bedeutung zukommt. Doch muß damit gerechnet werden, daß diese Differenz wenigstens zum Teil durch eine Vertiefung des Meeres bedingt ist.

Die Werte für die Unterlias-Oolithen (Abb. 3) liegen dagegen deutlich höher (Haupt-Maximum bei 27,5—30°). Möchten hier zwar einzelne Werte etwas über den ursprünglichen Wasser-Temperaturen liegen, so ergibt die systematische Untersuchung des Profils Kenzenkopf in den Ammergauer Alpen (vgl. FABRICIUS 1967: Abb. 3 a) doch sehr klar, daß es sich im wesentlichen um eine echte bathymetrische Differenz handelt: In Abb. 4 sind die ermittelten Paläotemperaturen den vermuteten Wassertiefen (vgl. auch FABRICIUS 1966: 39) gegenübergestellt. Die Paläotemperaturen zeigen vom Liegenden zum Hangenden einen deutlichen Gang von tieferen (16,5° C im tieferen Rät bzw. um 25° C im Oberrät) zu höheren Werten (um 30° C) im Unterlias. Im Profil werden dabei vom Liegenden zum Hangenden folgende Faziesbereiche durchlaufen: a) Mergelige und kalklutitische Beckensedimente (Kössener Mergel und Kössener Kalke) — b) Flachwasserkalke des (Achter-) Riffbereiches (Oberrätalk) — c) Unterliassische Übergangsfazies mit oolithischen Mergeln mit reichlich Kiesel-schwamm-Nadel — d) Arenitische Sedimente eines ehemaligen Oolith-Rückens (FABRICIUS 1967, S. 163), die zum Teil mit Sicherheit unmittelbar unter dem ehemaligen Normal-Wasserstand gebildet wurden (Lias-Oolith

in Geiselstein-Ausbildung). Nur der extrem hohe Wert von 40,2° C (Probe F 4107) ist unwahrscheinlich, dagegen können Wassertemperaturen von über 30° C auf Untiefen während des subtropischen bis tropischen Sommers auftreten. Da in den Zeiten mit hoher Wassertemperatur die Kalkfällung aus chemischen und biologischen Gründen intensiver ist als während der Zeit mit niedrigen Wassertemperaturen, dokumentieren die

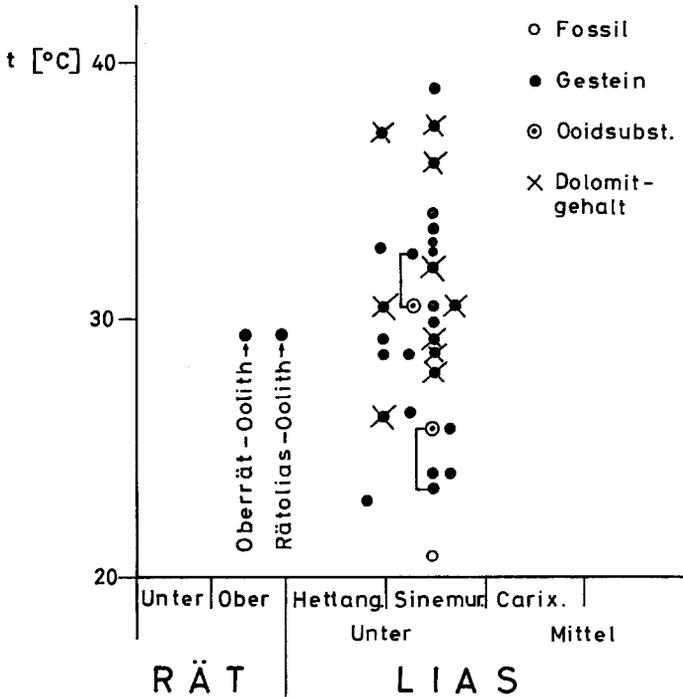


Abb. 3. Paläotemperaturen der Rät- und Lias-Oolithe. Abszisse etwa proportional zur Dauer von Rät und Lias gegliedert. M = Meßwerte.

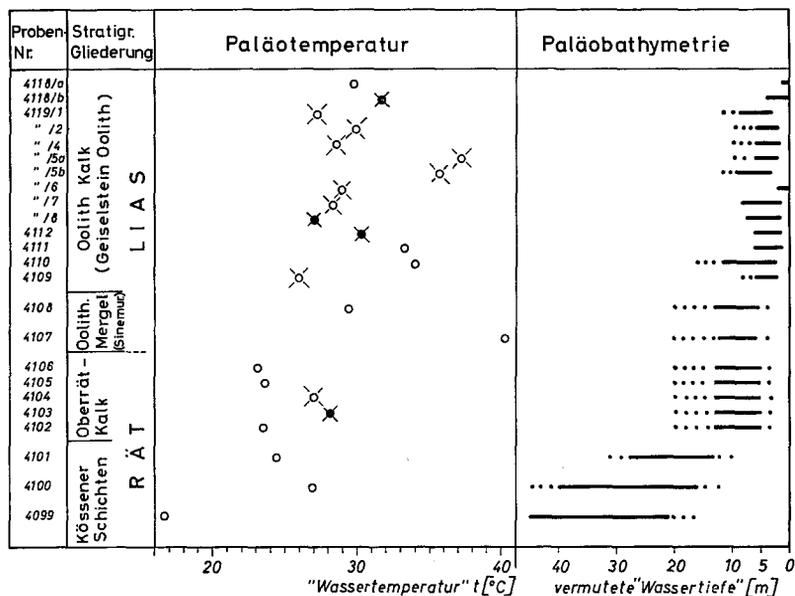
Ooide Werte, die im Bereich der Sommer-Tageswassertemperaturen liegen. Für den klimatisch bedeutsameren Wert der mittleren Jahrestemperatur muß ein tieferer Wert auch für Flachwasserbildungen angenommen werden.

Die Mittellias-Proben (Fleckenmergel und Rotkalke) ergaben überwiegend Temperaturen zwischen 20° und 25°; zu einer genaueren Angabe reichen die bisher gemessenen 23 Proben nicht aus. Auf jeden Fall ist damit ein Temperatur-Anstieg vom Unter- zum Mittel-Lias bewiesen, zumal man mit dem Unterlias innerhalb der gleichen Fazies und damit innerhalb weitestgehend übereinstimmender paläogeographischer Bedingungen vergleichen kann.

Bei den meisten Histogrammen, besonders für die Riff-Fazies des Rät bzw. Rätolias, fällt die Asymmetrie der Temperatur-Maxima auf: Steiler Abfall zum

kühleren, allmählicher zum wärmeren Bereich. Man kann daran denken, daß eine ursprünglich symmetrische Temperatur-Verteilung durch diagenetische Verschiebungen zum Wärmeren verzerrt worden ist.

Abb. 5 zeigt zusammenfassend alle Paläotemperaturen aus Tab. 1 außer denen der Lias-Oolithe (Abb. 3), dazu die aus den Maxima von Abb. 2 ermittelte Paläotemperatur-Kurve. Bei aller Zurückhaltung möchten wir aus unseren Paläotemperatur-Bestimmungen entnehmen, daß sich das



○ Dolomit-Gehalt < 20% × Dolomit-Gehalt > 20%

Abb. 4. Paläotemperaturen und -bathymetrie im Profil Kenzenkopf (Ammergauer Alpen). Nicht erläuterte Signaturen wie in Abb. 3.

Klima vom Rät bis zu einem Tiefpunkt im Unterlias verschlechtert hat, worauf dann eine Erwärmung im Mittellias folgte. Die Riffe des Rät sind bei Wasser-Temperaturen gewachsen, die heute das Minimum für Riff-Korallen darstellen. Die nur geringe Temperatur-Erniedrigung im Unterlias hat offenbar genügt, um die Riffe absterben zu lassen. Dadurch würde auch erklärt, warum in den äußerst flachen Meeresbereichen der Lias-Oolithe dennoch keine Riffe entstanden sind.

Völlig sicher ist diese Annahme allerdings nicht; denn auch nach unseren Daten ist nicht ganz auszuschließen, daß die Riff-Korallen der Obertrias noch etwas tiefere Temperaturen als die rezenten vertragen haben (S. 821). Man müßte dann in den niedrigen Paläotemperaturen des mergelig-kalkigen Unterlias einen rein bathymetrischen Effekt sehen. Unter dieser Annahme bliebe allerdings die Frage zu beantworten, warum im Areal der Lias-Oolithe keine Riff-Kalke vorkommen.

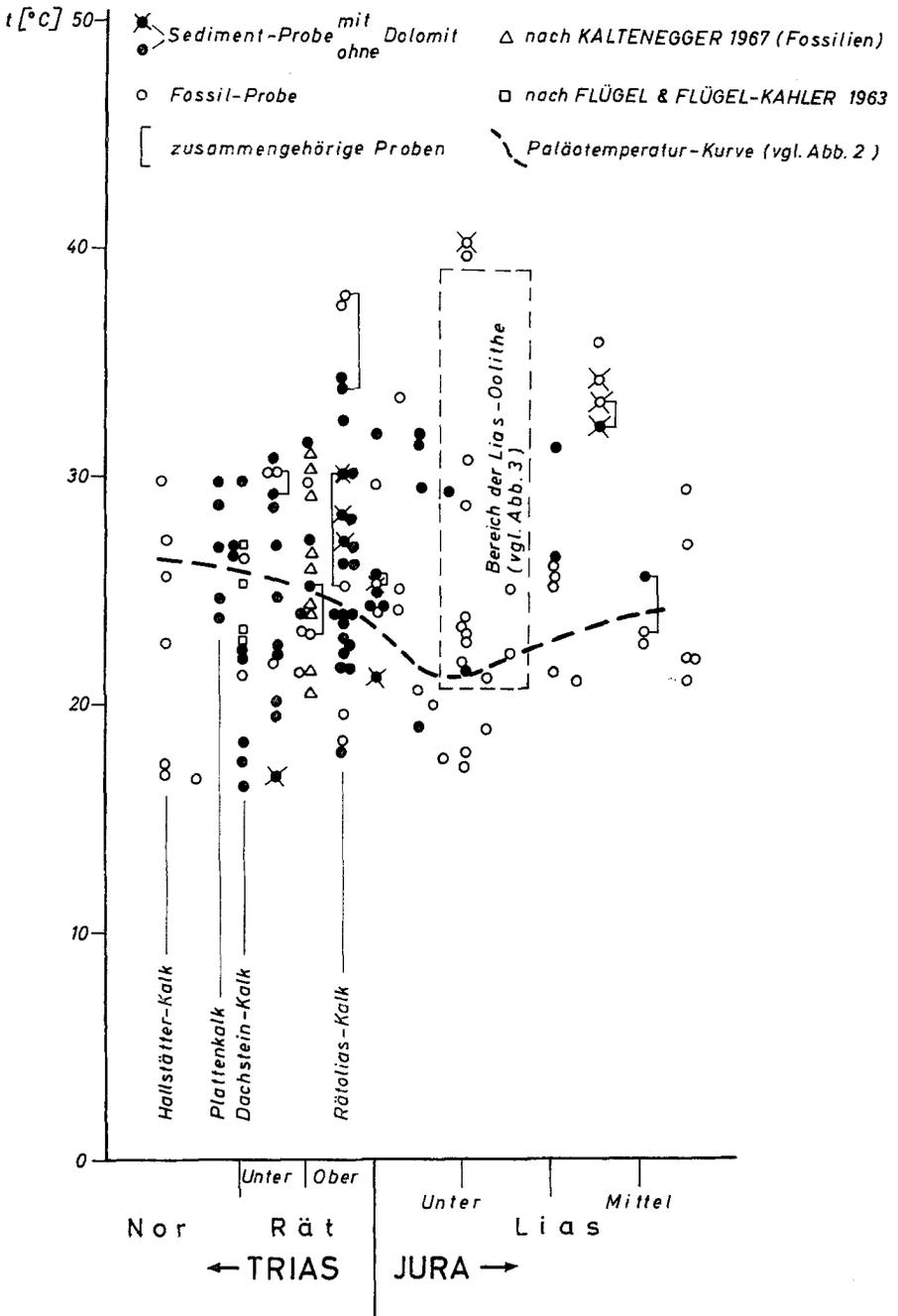


Abb. 5. Paläotemperaturen aus Tab. 1 ohne die Werte der Lias-Oolithe, ergänzt durch die Ergebnisse von KALTENEGER (1967) und DEGENS in FLÜGEL & FLÜGEL-KAHLER (1963). Gliederung der Abszisse etwa proportional zur Dauer der Stufen. Gestrichelte Linie: Paläotemperatur-Verlauf nach Abb. 2.

Es bleibt unsicher, ob während des Mittellias im Ablagerungsgebiet der Nördlichen Kalkalpen die Minimal-Temperaturen für Riff-Korallen wieder erreicht wurden. Daß wir dort nirgends Riffe aus dieser Zeit kennen, könnte auch daran liegen, daß die notwendigen Flachwasser-Bereiche nicht vorhanden waren.

Ein Temperatur-Minimum im Unterlias hat auch FRITZ (1965) an Belemniten des oberen Sinemuriums aus dem Schwäbischen Jura festgestellt. Zu einer wesentlichen Erwärmung scheint es dort aber erst im Oberlias gekommen sein. Ein näherer Vergleich mit der Paläotemperatur-Kurve von FRITZ wird erst möglich sein, wenn Paläotemperaturen für den gesamten alpinen Jura in ausreichender Zahl vorliegen. Dies ist das Ziel noch nicht abgeschlossener Untersuchungen der Verfasser.

Literaturverzeichnis

- BOWEN, R.: Paleotemperature analyses of Mesozoic Belemnoida from Germany and Poland. — *J. Geol.*, **69**, 75—83, 2 Abb., Chicago 1961 a.
—: Paleotemperature analyses of Belemnoida and Jurassic Paleoclimatology. — *J. Geol.*, **69**, 309—320, 2 Abb., Chicago 1961 b.
- BOWEN, R., & FRITZ, P.: Oxygen isotope paleotemperature analysis of Lower and Middle Jurassic fossils from Pliensbach, Württ. — *Experientia*, **19** (9), 461—465, 1963.
- BRINKMANN, R.: Abriß der Geologie, 2. Band: Historische Geologie. — 8. Aufl., 360 S., 70 Abb., 58 Taf., Stuttgart (Enke) 1959.
- CLOUD, P. E. jr.: Facies relationships of organic reefs. — *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, **36**, 2125—2149, 4 Abb., Tulsa 1952.
- DEGENS, E. T.: Das O^{18}/O^{16} -Verhältnis im Urozean und der geochemische Stoffumsatz. — *N. Jb. Geol. Paläont., Mh.* **1959**, 180—186, 1 Abb., Stuttgart 1951.
- DIENER, C.: Die marinen Reiche der Triasperiode. — *Denkschr. kais. Akad. Wiss. Wien, math.-naturw. Kl.*, **92**, 404—549, 1 Beil., Wien 1915.
- EPSTEIN, S.: The variation of the O^{18}/O^{16} ratio in nature and some geologic implications. — In: ABELSON, P., *Researches in geochemistry*, S. 217—240, New York (Wiley) 1959.
- EPSTEIN, S., & MAYEDA, T.: Variation of O^{18} content of waters from natural sources. — *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **4**, 213—224, London (Pergamon) 1953.
- EPSTEIN, S., BUCHSBAUM, R., LOWENSTAM, H. A., & UREY, H. C.: Revised carbonate — water isotopic temperature scale. — *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **64**, 1315—1326, 1953.
- FABRICIUS, F. H.: Sedimentation und Fazies des Rät und der Lias-Überdeckung in den Bayrisch-Tiroler Kalkalpen. — *Diss.-Auszug*, 16 S., München (TH) 1960.
- : Beckensedimentation und Riffbildung an der Wende Trias/Jura in den Bayerisch-Tiroler Kalkalpen. — *Intern. Sediment. Petrogr. Ser.*, **9**, 143 S., 27 Taf., 24 Abb., 7 Tab., Leiden (Brill) 1966.
- : Die Rät- und Lias-Oolithe der nordwestlichen Kalkalpen. — *Geol. Rdsch.*, **56**, 140—170, 10 Abb., 2 Taf., 2 Tab., Stuttgart 1967.
- FLÜGEL, E., & FLÜGEL-KAHLER, E.: Mikrofazielle und geochemische Gliederung eines obertriadischen Rifffes der nördlichen Kalkalpen (Sauwand bei Gußwerk, Steiermark, Österreich). — *Mitt. Mus. Bergbau, Geol. Technik Lan-*

Aufsätze

- desmus. „Joanneum“ Graz, **24**, 1962, 129 S., 10 Taf., 11 Abb., 19 Tab., Graz 1963.
- FRITZ, P.: O¹⁸/O¹⁶-Isotopenanalysen und Paleotemperaturbestimmungen an Belemniten aus dem Schwäb. Jura. — Geol. Rdsch., **54**, 261—269, 1 Abb., Stuttgart 1965.
- HANLIRSCH, A.: Die Bedeutung der fossilen Insekten für die Geologie. — Mitt. geol. Ges. Wien, **3**, 503—522, 11 Abb., 1 Taf., Wien 1910.
- JELETZKY, J. A., & ZAPPE, H.: Coleoid and Orthocerid cephalopods of the Rhaetian Zlambach Marl from the Fischerwiese near Aussee, Styria (Austria). — Ann. naturhistor. Mus. Wien, **71**, 69—106, 4 Taf., 1 Abb., Wien 1967.
- KAESTNER, A.: Lehrbuch der Speziellen Zoologie, Teil I: Wirbellose, 1. Halbband. — 483 S., 491 Abb., Stuttgart (Gustav Fischer) 1954/55.
- KALTENEGGER, W.: Paläotemperaturbestimmungen an aragonitischen Dibranchiatenrosten der Trias. — „Die Naturwissenschaften“, **54** (19), 515, Heidelberg 1967.
- MCCREA, J. M.: On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale. — J. chem. Phys., **18**, 849—857, 1950.
- MIGATCHEVA, E.: La limite inférieure du Système Jurassique (problème du Rhétien) d'après les données de la paléobotanique. — Colloque du Jurassique Luxembourg 1962, 113—118, Luxemburg 1964.
- MULLER, S. W., & FERGUSON, H. G.: Mesozoic stratigraphy of the Hawthorne and Tonopah quadrangles, Nevada. — Bull. geol. Soc. Amer., **50**, 1573—1624, 1939.
- v. PIA, J.: Die Siphoneae verticillatae vom Karbon bis zur Kreide. — Abh. zool.-botan. Ges. Wien, **11** (2), 263 S., 8 Taf., Wien 1920.
- : Übersicht über die fossilen Kalkalgen und die geologischen Ergebnisse ihrer Untersuchung. — Mitt. alpenländ. geol. Ver., **33**, 11—34, 5 Tab., Wien 1942.
- POPOV, J. N.: (Das Problem des Räts in Nordost-Asien.) — Russisch., engl. Zusammenfassung, Sowjets. Geol., **1961** (3), 79—87, 1961.
- TUCHKOV, J. J.: Rhaetian stage problem and the lower boundary of the Jurassic system. — Colloque du Jurassique Luxembourg 1962, 101—112, Luxemburg 1964.
- ZAPPE, H.: Fragen und Befunde von allgemeiner Bedeutung für die Biostratigraphie der alpinen Obertrias. — Verh. geol. Bundesanst., **1967**, 13—27, Wien 1967.