

Smn 144-38

Kerner-Marilaun F.

Studien über die Wintertemperaturen im alpinen Gürtelmeer der Keuperzeit

Von

Fritz Kerner-Marilaun

korr. Mitglied d. Akad. d. Wiss.

Aus den Sitzungsberichten der Akademie der Wissenschaften in Wien
Mathem.-naturw. Klasse, Abteilung IIa, 144. Band, 5. und 6. Heft, 1935

Wien 1935

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

Österreichische Staatsdruckerei

Studien über die Wintertemperaturen im alpinen Gürtelmeer der Keuperzeit

Von

Fritz Kerner-Marilaun,

Korr. Mitglied d. Akad. d. Wiss.

(Vorgelegt in der Sitzung am 16. Mai 1935)

Eine weitere Verschärfung des fast schon vernichtenden Urteils M. Sempers¹ über die paläogeographischen Karten, wie sie wegen der Epeirophorese geboten schiene, liefe auf eine Sinnloserklärung aller Rekonstruktionsversuche hinaus. Eine solche wäre nicht als Läuterung der Anschauungen zu werten; die Fragen des Paläoklimas sind zu enge mit den andern der Vorwelt verknüpft, als daß sie sich ausschalten ließen. Man muß sich so mit dem Mißverhältnis zwischen der Wichtigkeit des vorweltlichen Erdbildes für die Behandlung jener Fragen und der Unzulänglichkeit unserer Kenntnis dieses Bildes in geeigneter Weise abfinden.

Dazu bedarf es zunächst der Anerkennung der bloß bedingungsweisen (jeweils auf eine bestimmte Rekonstruktion basierten) Lösungsmöglichkeit der paläothermalen Probleme.² Dann bedarf es der Einsicht, daß bei den über heute vorwiegend landbedeckten Gebieten errichteten Bildern die kartographischen und epeirophoretischen Fehlergrenzen doch enger gesteckt sein mögen als die Abweichungen vom heutigen Bilde. Fällen großer klimatischer Wichtigkeit von Besonderheiten der Küstenformung stehen viele der Abhängigkeit des Klimas von den großen Zügen der Meerräumegestaltung gegenüber. Dann empfiehlt sich die Beschränkung auf Rekonstruktionen, welche nicht als ursprüngliche, sondern als abschließende Zielsetzungen erscheinen. Ist der Plan, eine paläogeographische Karte zu zeichnen, das primäre, droht die Gefahr einer Unterschätzung der Hindernisse. Sie erhöht sich noch, wenn eine Serie von Karten geplant ist. Viel besser, wenn die Zeichnung erst aus dem Gewinne der Vorstellung, daß die Hindernisse überwindbar seien, erwächst. Bei C. Diener³ erstand der Gedanke zum Entwurf einer Karte der norischen Stufe erst im Gefolge der durch viele Fundortsbereisungen, Museumsbesuche und Bearbeitungen zugesandter Fossilsuiten gewonnenen umfassendsten Kenntnis aller bekannt gewordenen

¹ Max Semper, Die Grundlagen paläogeographischer Untersuchungen. Centralbl. f. Min., Geol., Pal., 1908, Nr. 14, p. 435.

² Siehe meine Paläoklimatologie (Berlin, Borntraeger, 1930, p. 461).

³ C. Diener, Die marinen Reiche der Triasperiode. Denkschr. d. Wiener Akad. d. Wiss., 92. Bd., 1915.

Cephalopodenfaunen der Trias.¹ Dies zur richtigen Bewertung des Folgenden vorausgeschickt.

Dem Ausspruche Dieners:² »Eine sehr große Wärmequelle für die Rاندländer der Tethys war offenbar das äthiopische Mittelmeer« ist vom meteorologischen Standpunkte aus zuzustimmen. Wenn sich die für die Untertrias vermutete Verbindung der Tethys mit dem arktischen Ozean zu Beginn der Muschelkalkzeit löste,³ war — weil sich ein Zutritt kalten Bodenwassers durch die Tethys wohl ausschloß — zur karnischen Zeit die Kälte aus den Tiefen des äthiopischen Beckens schon entwichen (durch Wasserauftrieb längs der Westküste Lemurias im Rücken des ablandigen Nordostpassats).

Als konvektionsfreie, mittlere Lufttemperatur im reinen Seeklima am Gleicher hat Christiansen 29·5, Zenker 29·6 gefunden. Dem würde eine mittlere Oberflächentemperatur des Meeres von fast 30 entsprechen. Ein solcher Wärmewert ist auch für ein Meer von der Art des obengenannten vertretbar, weil im engen Roten Meere im Oktober ein von der 31°-Isotherme umgrenztes Gebiet (zwischen $\varphi = 17^\circ$ und 20°) festgestellt wurde.⁴ Die zonale Änderung der Oberflächentemperatur ist in der atlantischen Äquatorialströmung eine sehr geringe. Im November: am Beginne des Gujanastromes (in $\varphi = 0$) und im Floridastrome (in $\varphi = 26$) 27·0, im Caraibischen Meere bis 28·0; ähnlich im Mai; im Februar: am Beginne der Gujanaströmung (in $\varphi = 0$) 26·0, im Floridastrome (in $\varphi = 24$) 25·0. Es spielt da der individuelle Temperaturgang mit: Im Februar passieren Wässer den Mexikogolf, welche im Gujanastrome zur Zeit des Herbstäquinoktiums flossen. Man kann so annehmen, daß auch im äthiopischen Mittelmeere die durch den NO-Passat gegen die afrikanische Küste hin gedrängten und längs derselben nach N geflossenen Wässer bis zu ihrem Eintritt in die Tethys nur 1° an Wärme verloren. Formten diese Wässer eine im Vergleich zum Gujana- und Antillenstrom schwache Strömung, so war diese auch der Gefahr einer Abkühlung durch Wasserauftrieb viel mehr entzogen.

Im Golfstrom dringt im Februar die 22° Isotherme bis $\varphi = 33^\circ 45'$ vor, sonach (siehe oben) eine Wärmeabnahme um 3 auf eine Breitendifferenz von $9^\circ 45'$. Für den Kuro Siwo erhält man eine solche auf ein Intervall von $8^\circ 30'$. Beiden Strömen treten da schon abkühlende Einflüsse entgegen. Im iranischen Becken der Obertrias schlossen sich solche aus. So mochte der äthiopische Strom, auf seinem Wege zur mediterranen Tethys nur 2 bis 2·5 an Wärme verlierend, die breite Pforte zwischen der NO-Ecke Afrikas (Diarbekr)

¹ Mit alleiniger Ausnahme jener von Neu-Caledonien.

² Diener l. c., p. 144.

³ Diener l. c., p. 111 u. 114.

⁴ J. Luksch, Pola-Expedition in das Rote Meer. Wiss. Ergebn. XVIII, Physikalische Untersuchungen. Denkschr. d. Akad. d. Wiss. in Wien, 69. Bd., 1901, Taf. IV.

und dem Westsporn Angariens (Masenderan) mit einer Wintertemperatur von 26 erreicht haben (bei dem heutigen Sonnenklima).

Seine weiteren thermischen Schicksale sind unter dem Gesichtspunkt der Mischung mit den autochthonen Wässern der westlichen Tethys zu prüfen. Da kommen vorerst die Wärmezustände in diesem Meere, wie sie beim Mangel der Verbindung mit einem östlichen Meere erwachsen wären, in Frage. Seinerzeit von mir¹ aufgestellte Formeln gestatten, Lufttemperaturen des Winters im Raume von Mittel- und Südeuropa bis $\lambda = 60^\circ$ E als Funktion einer umgebenden Land- und Wasserverteilung aufzuzeigen. Es empfahl sich, die schon bei Aufstellung der Formeln erwogene² (bei ihrer Anwendung auf das Tertiär jedoch unterbliebene) Anbringung des Potenzexponenten $\frac{1}{2}$ an den Werten der euryperistatischen Landbedeckung durchzuführen. Überdies waren zwecks Einbezug von über $\lambda = 30^\circ$ E. v. G. hinausgreifenden Werten in $\varphi = 35^\circ$ — weil die Formel für diesen Parallel nur bis zu jenem Meridian gilt — dort die Werte der anchiperistatischen Bedeckung zur besseren Darstellung der abkühlenden Einflüsse zu verkleinern: statt f_{10} und f_5 nur $\frac{1}{2}f_{10}$ und $\frac{1}{4}f_5$. Die so erhaltenen stenomorphogenen Wintertemperaturen³ über der mediterranen Tethys der norischen Stufe sind:

$\varphi \backslash \lambda$	15w	10	5	0	5E	10	15	20	25	30	35	40	45	50
55	4.3	2.8	3.0	2.3	2.5	2.8	2.2	0.7	0.2	-0.1	-0.2	-0.4	-0.5	-0.6
50	6.6	3.9	5.4	6.6	6.6	7.8	6.5	6.1	4.6	3.9	4.7	4.7	4.2	4.3
45	8.2	6.1	6.4	8.9	10.5	10.4	10.2	10.3	9.8	10.5	10.8	10.7	10.6	10.6
40	11.2	9.3	11.2	12.9	12.9	12.3	12.2	12.4	11.7	12.9	12.9	12.6	12.9	13.3
35	15.3	14.8	14.6	14.2	14.3	14.4	14.2	14.3	14.4	14.4	13.8	13.4	14.2	15.1

Als Vorsprung der Temperatur der Meeresfläche über die Wärme der auflagernden Luft läßt sich beim Fehlen der Möglichkeit einer besseren Schätzung der heutige Mittelwert für die Wintermitte im Mediterranmeere 1.5 nehmen.* (Jänner: Luft 13.6, Meer 15.1).

Meine Formeln enthalten die heutigen Temperaturen in 20° W als konstantes Glied. Jede Andersgestaltung der Dinge im Nordatlantik erheischt eine Wertänderung dieses Gliedes. Wie diese für die Obertrias zu geschehen hätte, ist sehr schwer zu sagen. Durch die Columbische Straße und durch die Straße von Zacatekas gingen Teile der atlantischen Äquatorialströmung, welche jetzt in den

¹ F. v. Kerner, Synthese der morphogenen Winterklimate Europas zur Tertiärzeit. Diese Sitzber., 122. Bd., Februar 1913.

² Ebenda p. 20.

³ Die Temperaturen aus nur mit den heutigen Werten bis $\lambda = 30$ E. abgeleiteten Formeln für $\varphi = 55, 50, 45$ u. 40 weichen von denen aus den Formeln mit Geltung bis $\lambda = 60$ E. nur um $\pm 0.09, \pm 0.48, \pm 0.16$ und ± 0.19 ab.

⁴ J. Hann, Luft- und Wassertemperaturen im Mittelmeere. Meteorolog. Zeitschrift 1906, Juli, p. 316.

Golfstrom eintreten, als Wärmespender für Europa verloren. Andererseits wurden Teile der Golftrift, welche jetzt schon früh nordostwärts abkurven, für die Erwärmung Europas verfügbar. Diener¹ meinte, daß sich ein großer Teil jener Trift südostwärts gewandt hätte.

Überdies konnte sich die Golftrift der Obertrias nur wenig mit kalten polbürtigen Wässern vermischen. In der mediterranen Tethys wäre durch eine Wärmeerhöhung über dem Atlantischen Ozean zunächst der obenerwähnte Vorsprung der Meerestemperatur über die Luftwärme von der letzteren aufgeholt worden. Eine weitere Zunahme der vom Ozean her zugeführten Luftwärme hätte sich dann aber nur in sehr schwachem Maße der Oberflächentemperatur des Meeres mitgeteilt. Ein solches Geschehen bleibe hier außer Betracht.

Um jene Wintertemperatur, mit der die Wässer von äthiopischer Herkunft bei ihrem Vordringen nach N zur Nordküste der mediterranen Tethys gelangt wären, durch Extrapolation zu bestimmen, kann man die Formeln benützen, die ich aus den Werten des November, Februar und Mai im Raume zwischen 25° und 30° Breite für die polstrebigen Ströme erhielt. Es wurden da für die Konstanten im Ausdruck

$$t\varphi = A \cos \varphi + B \cos^2 \varphi$$

für den Golfstrom	$A = 27.22$	$B = 1.91$
für den Kuro Siwo	$A = 33.23$	$B = 26.84$
für den Brasilstrom	$A = 5.12$	$B = 22.98$
für den Moçambiquestrom	$A = 11.17$	$B = 17.33$

gefunden. Als Temperaturabnahme von $\varphi = 35$ bis $\varphi = 45$ in einem sich mit polbürtigen Wässern nicht mischenden polstrebigen Strom ergibt sich hieraus:

Golfstrom	Kuro Siwo	Brasilstrom	Moçambiquestrom
3.4	4.9	4.5	4.2

Wurden jene Formeln aus den Temperaturen in um 2.5° fortschreitenden Breiten erzielt, so gewann ich folgende aus den Breitenlagen der in dieselbe Zone fallenden Februarisothermen in den beiden Nordströmen. (Für den Golf aus $\varphi = 21$ bis $\varphi = 25$; für den Kuro Siwo aus $\varphi = 18$ bis $\varphi = 21$.)

Golfstrom	$t\varphi = 11.22 \cos \varphi + 18.12 \cos^2 \varphi$
Kuro Siwo	$t\varphi = -30.30 \cos \varphi + 30.12 \cos^2 \varphi$

(Die erstere Formel gibt die gemessenen Werte mit einem mittleren Fehler von ± 0.3 , die letztere mit einem solchen von ± 0.1 wieder.) Aus diesen Gleichungen ergibt sich als Temperaturabnahme von $\varphi = 35^\circ$ bis 45° (in einem sich mit polbürtigen Wässern nicht mischenden Strome) 4.4 und 4.3. Sonach würde (beim heutigen Solarklima) für die Fortsetzung des äthiopischen Stromes in $\varphi = 45^\circ$ eine winterliche Oberflächentemperatur von $26 - 4.5 = 21.5$ erwachsen sein.

¹ L. c., p. 144.

Bei einer äquaturnahen Lage der Grundlinie der Kalmen hätte die durch den Nordostpassat angeregte Strömung im äthiopischen Mittelmeer sich längs einer zum erzeugenden Winde spitzwinklig verlaufenen Küste bewegt und so an Bewegungsenergie eingebüßt. Sie wäre wohl durch die aus der himalajischen Tethys gekommene Strömung zum Eingang in die mediterrane Tethys gelenkt, dann aber, unter dem Einfluß der Erdrotation an einem Umbiegen nach W gehemmt, zur Nordküste dieses Meeres geführt worden. Dies konnte Anlaß zur Entwicklung einer zyklonalen Wasserbewegung sein wie sie — in schwächster Entfaltung — im verkleinerten heutigen Mittelmeer Platz greift. Der Tethysstrom wäre in den Raum zwischen dem vindelizischen Rücken und den mittelmeerischen Inseln gelangt, zwischen der tyrrhenischen und adriatischen Insel nach S umgebogen und dann ostwärts zurückgekehrt.

Als Wahrzeichen einer offenen N—S-Verbindung in der westlichsten Tethys kann die nahe Beziehung des sizilischen zum ostalpinen Karnikum gelten. Nach Diener¹ ist das Bild der tuvalischen Fauna Trinakrias dem der entsprechenden Hallstätter Faunen überaus ähnlich; der gegenteilige Eindruck — nur 12% gemeinsame Formen — wird nur durch die »ungewöhnlich enge Fassung des Artbegriffes« bei Gemmellaro vorgetauscht. Als indirektes Zeichen einer tethyschen Kreisströmung im angenommenen Sinne ist der große Faziesunterschied zwischen der sizilischen und mauretanischen Trias zu werten.

Nach Diener² sind bei Ablehnung einer Landbarre als Ursache des schroffen Gegensatzes zwischen der lagunären Trias Nordafrikas und der marinen Trias Siziliens »topographische Verhältnisse anderer Art« zu erwägen. Die Einmündung sehr viel schlammiges Süßwasser zubringender Flüsse aus dem afrikanischen Hinterland käme da wohl weniger in Betracht als eine Umbiegung der Stromfäden im Raume von Sizilien nach O.

Um für den Erfolg der Mischung des äthiopischen Stromes mit den autochthonen Tethyswässern ein Bild zu gewinnen, sind die zonalen Temperaturprofile beider Konfluenten in ihrem Berührungsmeridiane rechnerisch darzustellen. Die für diesen Meridian ($\lambda = 42^\circ 30' E$) durch Interpolation von $2\frac{1}{2}$ Gradwerten von $37^\circ 30'$ bis $47^\circ 30'$ erhaltene Wärmeänderung in der Tethys läßt sich am einfachsten³ durch die Relation

$$t\varphi = 23 \cdot 81 \cos^2 \varphi$$

wiedergeben (mittlerer Fehler der berechneten Werte ± 0.3).

¹ L. c., p. 30.

² L. c., p. 37.

³ Die Hinzufügung von Gliedern mit den ersten zwei ungeraden Potenzen des Cosinus, welche zu der Gleichung

$$t\varphi = 18 \cdot 75 \cos \varphi - 31 \cdot 28 \cos^2 \varphi + 40 \cdot 05 \cos^3 \varphi$$

führte, ließ die Erwartung einer besseren Wiedergabe unerfüllt.

Die langsamere Wärmeabnahme im äthiopischen Strome von $\varphi = 35$ bis $\varphi = 45$ (siehe oben) wird in einfachster Form durch den Ausdruck

$$t\varphi = 31 \cdot 17 \cos \varphi$$

dargestellt. Für diesen Strom ist die Annahme zu machen, daß sich seine Wärmewirkung längs der Berührungslinie mit den Tethyswässern seinem Stärkeprofil entsprechend verteilte und dieses nach den Verhältnissen in den heutigen Strömen zu beurteilen sei.

Aus den Angaben über die Stromstärke in der alten Krümmel'schen Karte¹ der Meeresströmungen und in der neuen Strömungskarte des Atlantischen Ozeans von H. F. Meyer² (in welcher an den eingetragenen Pfeilen außer der Stärke auch das Maß der Beständigkeit abzulesen ist) kann man das Stärkeprofil in den Nordströmen (Golf und Kuro Siwo) mit der Kurve der vierten Potenz des Sinus, in den anderen Strömen mit der Kurve des Sinusquadrates vergleichen, wobei von der Kurve des zweiten Quadranten noch das Stück von 90° bis 75° hinzuzunehmen ist, um den jenseits des Hauptstromstriches befindlichen Randteil des Stromes abzubilden. Es ist dabei gedacht, daß der Strom (in $47^\circ 30'$) scharf an kühlen Küstengewässern abstieß wie jetzt der Golfstrom am Kalten Wall. Der Einfluß der aus der himalajischen Tethys zugeflossenen Wässer mochte je nach der wechselnden Gestaltung dieses Gürtelmeeres ein verschiedener sein. Es ist darum für die geplante Wärmeschätzung ein Spielraum zu belassen und sie für beide in Erwägung gezogene Stromprofilformen vorzunehmen.

Dem 10 Bogengrade umfassenden Wärmeprofil der Tethyswässer entspricht ein über 105 Bogengrade ausgedehntes Profil des äthiopischen Stromes. Den thermischen Erfolg der Wassermischung bezeugen dann die arithmetischen Mittel der sich für gleiche Teilstücke der Mischungsstrecke ($37 \cdot 5$ bis $47 \cdot 5$) ergebenden Wassertemperaturen.

Für die Tethyswässer erhält man diese Temperaturen genügend genau durch arithmetische Mittelung der die Flächenstücke begrenzenden Ordinaten, sie sind von $\varphi = 37 \cdot 5$ ab für $2 \cdot 5^\circ$ breite Teilstücke: 14·49, 13·46, 12·43 und 11·39.

Auch die Mittelhöhen der entsprechenden Flächenstücke der Kurve für den äthiopischen Strom sind in dieser Weise genügend genau zu erhalten. Man hat für die analogen vier Teilstücke 24·30, 23·43, 22·51, 21·56. Diese Werte sind aber mit Relativwerten der Stromstärke zu multiplizieren, um die zur Mischung mit den

¹ G. v. Boguslawski und O. Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, Bd. II, 1. Aufl., Stuttgart 1887.

² G. Wüst, Der Ursprung der Atlantischen Tiefenwässer, Taf. XXXV. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde, Festband, Berlin 1928.

autochthonen Tethyswässern gelangenden Stromtemperaturen zu bilden. Man hat im steileren Stromprofil

$$\int_{78 \cdot 75}^{105} \sin^4 \psi d\psi = \left(\frac{1}{32} \sin 60 + \frac{1}{8} + \frac{3}{8} \arcsin 105 \right) -$$

$$- \left(-\frac{1}{32} \sin 45 - \frac{1}{4} \sin 22 \frac{1}{2} + \frac{3}{8} \arcsin 78 \frac{3}{4} \right) =$$

$$= 0 \cdot 83928 - 0 \cdot 39765 = 0 \cdot 44163$$

$$\int_{26 \cdot 25}^{52 \cdot 5} \sin^4 \psi d\psi = \left(-\frac{1}{64} - \frac{1}{4} \sin 75 + \frac{3}{8} \arcsin 52 \frac{1}{2} \right) -$$

$$- \left(\frac{1}{32} \sin 75 - \frac{1}{4} \sin 52 \frac{1}{2} + \frac{3}{8} \arcsin 26 \frac{1}{4} \right) =$$

$$= 0 \cdot 08652 - 0 \cdot 00364 = 0 \cdot 08288$$

Es ist ferner $0 \cdot 39765 - 0 \cdot 08652 = 0 \cdot 31113$. Die so erhaltenen vier Differenzwerte (deren Summe $= 0 \cdot 83928$) sind — als Relativwerte — um eins erhöht, als Multiplicatoren verwendbar, wobei die ihnen entsprechenden Bogenlängen sich zu jenen, die den Multiplicanden entsprechen, wie $26^\circ 15'$ zu $2^\circ 30'$, d. i. wie $10 \cdot 5 : 1$ verhalten.

Man bekommt so als bei der Wassermischung wirksame thermische Größen in der früheren Reihenfolge $24 \cdot 39$, $25 \cdot 39$, $29 \cdot 51$ und $31 \cdot 08$ und nach arithmetischer Mittelung mit den Zonentemperaturen in der Tethys folgende Mischungstemperaturen in $\lambda = 42^\circ 30' E$:

$$\varphi = 37^\circ 30' - 40^\circ 19 \cdot 4 \quad \varphi = 42^\circ 30' - 45^\circ 21 \cdot 0$$

$$\varphi = 40^\circ - 42^\circ 30' 19 \cdot 4 \quad \varphi = 45^\circ - 47^\circ 30' 21 \cdot 2$$

Die Wertgestaltung ist so, wie wenn sich die zur Mischung kommenden Mengen der ortseigenen und zugeführten Wasser wie $1 : 1$, $1 : 1 \cdot 5$, $1 : 5 \cdot 6$ und $1 : 30 \cdot 7$ verhielten. Im vierten Teilstück ($45^\circ - 47^\circ 30'$) erscheint so das Tethyswasser vom eindringenden Strome ganz verdrängt und die Mischungstemperatur ($21 \cdot 2$) wird der Stromtemperatur ($21 \cdot 6$) fast gleich.

Ein schwacher Wärmezuwachs nach N (um $1 \cdot 8$) im Thetysmeer ist bei dieser Sachlage verständlich. Selbst im Golfstromgebiete ist heute bei den im Hauptstrom weit vorgebogenen Isothermen rechterseits eine Rückbiegung sichtbar, am stärksten im Frühling: bei der 22° , 21° und 20° Isotherme im Mai (auch bei der 22° Isotherme im November), obschon da das rechts vom Hauptstrom fließende Wasser auch aus den warmen Tropen kommt. Im flacheren Stromprofil hat man

$$\begin{aligned}
 & \int_{78 \cdot 75}^{105} \sin^2 \psi d\psi = \left(\frac{1}{8} + \operatorname{arc} 52 \frac{1}{2} \right) - \\
 & \quad - \left(-\frac{1}{4} \sin 22 \frac{1}{2} + \operatorname{arc} 39 \frac{3}{8} \right) = \\
 & \quad = 1 \cdot 04130 - 0 \cdot 59155 = 0 \cdot 44975 \\
 & \int_{26 \cdot 25}^{52 \cdot 5} \sin^2 \psi d\psi = \left(-\frac{1}{4} \sin 75 + \operatorname{arc} 26 \frac{1}{4} \right) - \\
 & \quad - \left(-\frac{1}{4} \sin 52 \frac{1}{2} + \operatorname{arc} 13 \frac{1}{8} \right) = \\
 & \quad = 0 \cdot 21667 - 0 \cdot 03073 = 0 \cdot 18594
 \end{aligned}$$

Es ist ferner: $0 \cdot 59155 - 0 \cdot 21667 = 0 \cdot 37488$. Die so erhaltenen vier Differenzwerte (deren Summe $= 1 \cdot 04130$) — als Relativwerte — um eins erhöht und mit den früher angeführten Mittelhöhen der Flächenstücke der Stromkurve multipliziert ergeben die Wärmezahlen $25 \cdot 05$, $27 \cdot 79$, $30 \cdot 95$, $31 \cdot 26$. Nach arithmetischer Mittelung derselben mit den autochthonen Tethystemperaturen bekommt man als Mischungstemperaturen in $\lambda = 42^\circ 30' \text{ E}$:

$$\begin{aligned}
 \varphi &= 37^\circ 30' - 40^\circ 19 \cdot 8 & \varphi &= 42^\circ 30' - 45^\circ 21 \cdot 7 \\
 \varphi &= 40^\circ - 42^\circ 30' 20 \cdot 6 & \varphi &= 45^\circ - 47^\circ 30' 21 \cdot 3
 \end{aligned}$$

Da ist die Wertgestaltung so, wie wenn sich die zur Mischung kommenden Mengen der ortseigenen und zugeführten Wässer wie $1 : 1 \cdot 2$, $1 : 2 \cdot 5$, $1 : 11 \cdot 3$ und $1 : 39 \cdot 1$ verhielten. Formell erscheint es als Ungereimtheit, wenn die Temperaturbewegung im äthiopischen Strome nordwärts von $\varphi = 35$ zugleich als eine parallel und eine quer zur Stromrichtung erfolgte (zonale Änderung und Stärkeprofil) beansprucht wird. In Wirklichkeit würde aber gerade eine Verknüpfung beider Bewegungssinne anzunehmen sein, indem das durch die kurdistanische Pforte in die mediterrane Tethys gelangte Wasser zugleich ein Streben nordwärts vorzudringen und westwärts abzukurven bekundet hätte.

Die Temperaturgestaltung im Stromring in der Tethys sei hier für den Hauptstromstrich im steileren Stromprofile untersucht. Der Scheitel des Stromprofils fällt auf $\varphi = 46^\circ 5'$. Es ist zunächst das autochthone Wärmebild im ungefähren Bahnbereich des Hauptstromstriches darzustellen. Die Entnahme von interpolierten Temperaturen aus der früher gegebenen Tabelle für die Schnittpunkte der Meridiane $42 \cdot 5$, 35 , $27 \cdot 5$, 20 und $12 \cdot 5 \text{ E}$ mit den Parallelen $\varphi = (47 \cdot 5 + 45) : 2 = 46 \cdot 25$ und $(37 \cdot 5 + 35) : 2 = 36 \cdot 25$ und für die Schnittpunkte der Meridiane $\lambda = 10$ und 45 E mit dem Parallel $(46 \cdot 25 + 36 \cdot 25) : 2 = 41 \cdot 25$ ergibt bei Erhöhung um $1 \cdot 5$ (siehe oben)

folgende geschlossene Reihe von winterlichen Oberflächentemperaturen in der Tethys (beginnend mit der Temperatur in $\lambda = 42^\circ 30'$ $\varphi = 46^\circ 15'$):

11.3 11.4 10.9 11.1 11.2 13.3 15.3 15.3 15.4 15.2 15.0 13.8

Die Ortsversetzungen, welche an diesen Werten zwecks ihrer Verwendung zur Darstellung eines Temperaturkreislaufes durch Sinusreihen vorzunehmen sind, bedingen — bei der Kleinheit der Differenzen — keine Größenänderungen der Werte. Die Distanzen verhalten sich — in Meridiangraden ausgedrückt — wie $5^\circ 11'$ (Nordstrecke) zu $5^\circ 16'$ und $5^\circ 24'$ (in den Seitenteilen) zu $6^\circ 3'$ (Südstrecke) entsprechend einem mittleren Abstände $5^\circ 31.5'$. Eine Ableitung von Gliedern der Bessel'schen Formel bleibt hier außer Betracht.¹ Bei Beschränkung auf ein Glied muß man eine der starken meridionalen Zusammendrückung des Stromringes entsprechende Funktion wählen. Für die Formel

$$t = M + P \sqrt[4]{\sin (\mu + 210)}$$

ergibt die Ausgleichsrechnung für P den Wert $2 \cdot 196$. M ist $13 \cdot 27$, μ würde in Meridiangraden ausgedrückt dem Werte $5^\circ 31.5':30 = 11 \cdot 05'$ entsprechen. Die mit dieser Formel gewonnenen Werte weichen — mit Ausnahme des letzten — von den der Rechnung zugrunde gelegten nur um $0 \cdot 0$ bis $\pm 0 \cdot 2$ ab. Für die vier Wendepunkte der Kurve (Phasen 210, 330, 30 und 150) erhält man $11 \cdot 4$ und $15 \cdot 1$, für die Scheitelpunkte (Phasen 270 und 90) $11 \cdot 1$ und $15 \cdot 5$. Zur Darstellung der thermischen Wirkung des in die Tethys gelangten Stromes kann die halbe Periode einer Sinusfunktion dienen, wobei die Wahl der Funktion $\sin^{1/2}$ der Vorstellung entspricht, daß der Strom bei seinem Vordringen nach W nur wenig an Wärme verlor, dann bei seiner Drehung nach S und dann nach E rasch in seiner Wirkung erlahmte und endlich bei völliger Erschöpfung seines Wärmevermögens den Kreislauf schloß. Man erhält für den Ausgangspunkt der halben Welle mit dem Phasenwinkel 90° (Schnittpunkt des Hauptstromstriches mit dem Meridian $42^\circ 30' E$) als Temperatur:

$$[(\cos 46^\circ 5' \times 31 \cdot 17 \times 1 \cdot 458) + \cos^2 46^\circ 5' \times 23 \cdot 81]: 2 = 21 \cdot 5$$

(für $\cos 46^\circ 15'$ um $0 \cdot 1$ weniger) und für den Schnittpunkt $\lambda = 42^\circ 30'$ $\varphi = 36^\circ 15'$ (Phasenwinkel 240) als Mischungstemperatur der tropenbürtigen und tethyschen Wässer:

$$(\cos 36^\circ 15' \times 31 \cdot 17 + \cos^2 36^\circ 15' \times 23 \cdot 81): 2 = 20 \cdot 3.$$

¹ Bei der Entwicklung von drei Gliedern würde man mit der Formel

$$\begin{aligned} t = & 13 \cdot 27 + 2 \cdot 556 \sin (x + 268^\circ 24') \\ & + 0 \cdot 164 \sin (2x + 225^\circ 18') \\ & + 0 \cdot 550 \sin (3x + 84^\circ 48') \end{aligned}$$

eine Wiedergabe der gemessenen Werte mit einem mittleren Fehler von $\pm 0 \cdot 2$ erzielen.

Auf Grund der Relationen

$$21 \cdot 5 = 11 \cdot 4 + M' + p' \text{ und } 20 \cdot 3 = 15 \cdot 1 + M' - \sin^{1/2} 60 p'$$

erhält man M' (Mittelwert) = 7·562 und p' (Parameter) = 2·538 und als Ausdruck für die Temperaturbewegung im Hauptstromstrich in der Tethys

$$t = 20 \cdot 83 + 2 \cdot 20 \sqrt{\sin(\mu + 210)} + 2 \cdot 54 \sqrt{\sin\left(\frac{1}{2} \mu + 90\right)}$$

Die mit dieser Formel gewonnene Wertreihe

$$21 \cdot 5 \quad 21 \cdot 2 \quad 21 \cdot 0 \quad 20 \cdot 9 \quad 20 \cdot 8 \quad 22 \cdot 1 \quad 22 \cdot 7 \quad 21 \cdot 7 \quad 21 \cdot 2 \quad 20 \cdot 8 \quad 20 \cdot 3 \quad (18 \cdot 3)$$

läßt auf ein Isothermenbild mit einer flachen NW-SO streichenden Depression zwischen einer schwächeren Erhebung in NO und einer stärkeren in SW schließen. Die Temperaturabnahme des eindringenden Stromes nach W wird bei dessen Umbiegung nach S durch die zonale Temperaturzunahme mehr als wettgemacht, dann aber bei seiner Rückkehr nach O wieder offenbar. Die für die Mitte des östlichen aufsteigenden Stromastes erhaltene Temperatur 18·3 entspricht sehr nahe dem Wert $M + M' - p'$. Die Differenz $M' - p' = 5 \cdot 0$ ist die der gesamten Tethys von SO her mitgeteilte Erwärmung, die allgemeine Wärmeübertragung in der Richtung nach W, über welcher sich die Wärmezufuhr durch einen sich schärfer abgrenzenden Meeresstrom abspielt. Jene Erwärmung ist genau gleich der halben Differenz zwischen der Mitteltemperatur der Tethys und der des äthiopischen Stromes längs deren Berührungslinie (42° 30' E). Man erhält als Mittelhöhe des Flächenstückes zwischen 37° 30' und 47° 30' aus der Temperaturformel für die Tethys und aus jener für den äthiopischen Strom die Werte 12·94 und 22·95. (Durchschnitte der oben angeführten Mittelhöhe 2¹/₂° breiter Flächenstücke.) Im einen Falle erscheint der Vorgang als eine Erhöhung der autochthonen Tethysterperatur um 5°, im andern als eine Mischung der Tethyswässer mit einer um 10° wärmeren Wassermasse.¹

In der von C. E. P. Brooks aufgestellten Relation²

$$T = t' + c(t - t'),$$

in welcher T die einer Wassermasse von der Temperatur t' durch einen Warmstrom von der Temperatur t erteilte Temperatur bedeutet, ist im vorliegenden Falle $c = 0 \cdot 5$. Zu dem mit Bezug auf die Stromstärke sich in unserem Falle ergebenden Werte $T = 20 \cdot 25$ gehört dagegen der Wert $c = 0 \cdot 73$, entsprechend dem Mischungsverhältnis

¹ Erwähnt sei hier, daß ich als winterliche Wärmeerhöhung im Mittelmeere bei dessen Verbindung mit dem Indischen Ozean für das Paläogen auf Grund ganz anderer Erwägungen 5·5 gefunden habe. Die klimatischen Bildungsbedingungen der deutschen Kaoline und Bauxite. Diese Sitzungsber. 1928, S. 575.

² C. E. P. Brooks, Climate through the ages. London, Ernest Benn, 1926. Ch. VIII, p. 160.

1:2·7. Die aus zwölf Stromkreispunkten abgeleitete Mittelwärme der Tethys (13·27) ist höher als die aus der Wärmeverteilung längs 42° 30' E erhaltene (12·94), weil sie sich auf ein Bogenstück von etwas geringerer geographischer Mittelbreite bezieht. (Als Mittelwärme von 36° 15' bis 46° 15' ergibt sich 13·44.)

Das fünfte Glied der vorigen Reihe (20·8) fällt in den ostalpinen Raum. Die heutige untere Temperaturgrenze für Riffkorallen wäre dort (unter den gemachten Annahmen) noch nicht unterschritten worden. Insoweit an der Autochthonie der böhmischen Masse festgehalten wird, können die Lunzer Schichten als küstennahe Bildungen ihrem Ablagerungsraume nicht weit entrückt sein. Es ist anzunehmen, daß sich die vorgenannte Wintertemperatur auf einen Punkt in der Tethys beziehen kann, der von der Südküste Böhmens nicht sehr weit entfernt lag. Will man einen aus Diener's Karte erschlossenen Wärmewert mit einem Klimazeugnis der karnischen Zeit vergleichen, ist wegen des Regressionscharakters dieser Stufe (im alpinen Gebiet) an ihm ein Abstrich zu machen.

Nach Wöhrmann¹ würde das gleichzeitige Fehlen von meerbürtigen und landbürtigen Schichten karnischen Alters in den Zentralalpen auf einen eben noch überspülten Rücken weisen. Erheblich könnte die aus Verlandungen erwachsene Senkung der Wintertemperaturen im ostalpinen Raume nicht gewesen sein. Der vorige Wert ist so um 0·5 (Temperaturabnahme bis zur Küste beziehungsweise von 46° 15' bis 47° 30') + 1·5 (Wärmeabfall vom Meer zum Land) + 0·5 bis 1·0 (Temperatursenkung wegen der Regression) zu verringern, um die Wintertemperatur in den Küstensäumpfen darzustellen, in welchen die Lunzer Flora gedieh. Eine Mittwintertemperatur von 18° findet sich jetzt am Meeresspiegel im wärmsten ozeanischen Gebiete noch jenseits des 30. Parallels: Hamilton, Bermuden (32° 18') 17·8; an den warmen Ostküsten näher zum Wendekreise: Itanhaen bei Santos 24° 11' 18·1, Lourenço Marques 25° 56' 17·9, auch in ungetärfert 1000 *m* Höhe in sehr verschiedenem Abstände vom Gleicher: Cordoba 18° 45' 930 *m* 18·0, Buea 4° 9' 985 *m* 18·1. Thermische Analogieschlüsse mit der Jetztzeit sind bei einer Flora von so großem Zeitabstande wie die von Lunz nur innerhalb sehr weiter Grenzen statthaft. Nur so kann etwa mit Bezug auf die für Lunz charakteristischen Pterophyllen erwähnt sein, daß *Cycas revoluta* auf den Liu-Kiu-Inseln die Polargrenze ihres Wildwachstums findet, wo die Temperatur des kältesten Monats an der Küste in Naha 15·5 und in Oshima 14·0 ist. Daß die Lunzer (und Raibler) Zykadophyten und Pteridophyten eine Mittwintertemperatur von 18° ertrugen, wird man — ohne es paläobiologisch irgendwie begründen zu können — annehmen dürfen.

Der hier angenommene Ringstrom in den peripheren Teilen der Tethys würde auch die Wässer zu seiner Linken mitgeschleppt

¹ S. Freiherr v. Wöhrmann, Die Raibler Schichten nebst kritischer Zusammenstellung ihrer Fauna. Jahrb. d. k. k. geol. Reichs-Anst. 1893. S. 746.

und in Gang gebracht haben. Als Ausdruck einer mehr zentral verlaufenen Zirkulation, deren Umbiegung nach S in der Straße zwischen der adriatischen und balkanischen Insel erfolgt wäre, könnte man die nahe Beziehung der hellenischen zur alpinen Trias betrachten. Erstere zeigt in der Hallstätter Entwicklung von der *Trinodosus*- bis zur *Aonoides*-Zone ein typisch alpines Gepräge. Nach Diener¹ müssen in einem Teile der Trias die klimatischen und Lebensverhältnisse in Griechenland und in den Alpen sehr gleichmäßig gewesen sein.

Bei einer weit nach N verschobenen Grundlinie der Kalmen würde der Nordostpassat noch das iranische Meer überweht und dessen Wässer an die Nordostküste Arabiens hingedrängt haben. Eine vom pazifischen Nordäquatorialstrom genährte Nordostpassatstrift in der himalajischen Tethys hätte nach ihrem Eintritt in das iranische Becken dessen Wässer noch mehr an Arabiens Küste gedrängt und bewirkt, daß die dieser angeschlossene Strömung nach ihrem Eintritt in die europäische Tethys eine westliche Bewegungstendenz behielt. Sie wäre um die Nordostecke Afrikas nach WNW umgebogen, zum größeren Teile in den Raum zwischen dem vindelizischen Rücken und den mittelmeeischen Inseln gelangt und dann weiter nach W vorgedrungen. Es wäre das die Stromgestaltung gewesen, welche Diener mit den Worten erwähnt: »Zeitweilig aber reichte die alpine Tethys durch das westliche Mittelmeer über die betische Kordillere bis zur Straße von Gibraltar und trat durch diese in Verbindung mit dem Poseidon, dem mesozoischen Vorläufer des heutigen Atlantischen Ozeans. Dann zerfiel die Iberisch-nordafrikanische Triasprovinz in zwei durch das offene Triasmeer getrennte Hälften einer Binnenmeerentwicklung.«

Die geologische Begründung für diesen Satz liegt im rein alpinen Charakter der *Trachyceras*-Schichten von Moro del Ebro, im Vorkommen eines ladinischen Ammonitenhorizontes (mit *Protrachyceras*) auf den Balearen und in der Megalodontenführung der Lentegistufe auf der Südseite der Sierra Nevada. Keinesfalls dürfte man die zweimalige Invasion auf das Eintreten je einer besonders großen Exzentrizität im Ladin und Norikum beziehen. Versuche, astronomische Periodizitäten in paläogeographischen Schwankungen wiederzufinden, müssen stets erfolglos bleiben, weil sie den Charakter der letzteren als sehr komplexer Phänomene nicht erfassen. Führen solche Versuche zu Erfolgen, können diese nur vorgetäuschte sein. Nach Spitaler² bedingt die Wertekombination $\epsilon = 23\frac{1}{2}$, $e = 0.06$, $\pi = 270$ eine Lage der Kalmengrundlinie in $\varphi = 16^{\circ} 44' N$.

Das Wärmebild entlang der Mischungsstrecke tropenbürtiger Wässer mit solchen der Tethys bei der eben erwogenen Stromgestaltung wird am einfachsten durch Verschiebung des Scheitels

¹ L. c., p. 40.

² R. Spitaler, Zur Bestrahlung der Erde durch die Sonne. Meteorolog. Zeitschr. 1934, Juniheft, S, 212.

des flacheren Stromprofils in die Mitte jener Strecken erhalten. Beläßt man zwecks Vergleichungsmöglichkeit mit den früher erhaltenen Zahlenwerten dem Profil die ihm zugemessene Bogenlänge, so entspricht es nun dem zwischen $37^{\circ} 30'$ und $142^{\circ} 30'$ gelegenen Stücke der \sin^2 Kurve und man erhält in der früheren Weise (die Inhalte der nun symmetrisch angeordneten vier Flächenstücke der Profilkurve sind 0.42760 und 0.27213) als Mischungstemperaturen

$$\begin{aligned} \varphi &= 37^{\circ} 30' - 40^{\circ} 22.7 & \varphi &= 42^{\circ} 30' - 45^{\circ} 22.3 \\ \varphi &= 40^{\circ} - 42^{\circ} 30' 23.4 & \varphi &= 45^{\circ} - 47^{\circ} 30' 19.4 \end{aligned}$$

Der Wärmeabfall gegen N würde, weil der Strom nach seinem Eintritt in die mediterrane Tethys die NW-Richtung beibehält, weiter westwärts abgeflaut sein. Im ostalpinen Raum hätte der Strom mit einer Temperatur von 22.0 anlangen können. Eine Verschiebung des Stromscheitels bis in die Nähe des Südendes der Mischungsfront, beziehungsweise eine Lagevertauschung der beiden Profilseiten (wie sie wegen der Anlehnung des Stromes an den Südpfeiler des Einganges in die mediterrane Tethys in Frage zu kommen scheint), bleibt doch außer Betracht. Ihr hätte eine starke zonale Temperatursenkung in der Tethys entsprochen; man erhält als Teilzonenmittel: für das flachere Stromprofil $24.8, 22.8, 19.6, 16.8$, für das steilere Profil $24.8, 22.1, 18.4, 16.5$. Das thermische Zeugnis der Marinfraunen spricht ganz gegen eine solche Senkung.

Die Wintertemperatur im reinen Seeklima in niedrigen Breiten würde nach Spitaler bei $e = 0.07775 \pi = 270$ beim Maximum der Ekliptikschiefe um $3-6$ Zehntel tiefer, beim Minimum der Schiefe um 1.2 höher sein als jetzt.

Sonach möchte eine taxigene Erhöhung der winterlichen Wärmezufuhr zur Tethys durch den äthiopischen Strom nur im Winterperihel bei großer Exzentrizität und geringer Ekliptikschiefe in Frage kommen. Als Abweichungen der mit Spitaler's¹ Land- und Seeklimawerten für $\epsilon = \text{Min. } e = \text{Max. } \pi = 270$ nach dem von mir angewandten Verfahren² bestimmten taxigenen Wintertemperaturen von den oben (p. 3) angeführten Temperaturen in der Tethys, welche dem heutigen Solarklima entsprechen würden, erhält man:

$\varphi \backslash \lambda$	15W	10	5	0	5E	10	15	20	25	30	35	40	45	50
55	1.7	1.6	1.7	1.7	1.6	1.7	2.1	2.1	2.3	2.3	2.3	2.4	2.2	2.4
50	1.7	2.5	2.0	1.7	1.7	1.3	1.7	1.8	2.3	2.5	2.3	2.3	2.4	2.4
45	2.5	3.3	3.2	2.3	1.7	1.7	1.8	1.7	1.9	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6
40	2.4	3.4	2.4	1.4	1.4	1.8	1.8	1.7	2.1	1.4	1.4	1.6	1.4	1.2
35	1.6	2.0	2.2	2.5	2.4	2.4	2.5	2.4	2.4	2.4	2.8	3.2	2.5	1.8

¹ R. Spitaler, Das Klima des Eiszeitalters. Prag, 1921 (Selbstverlag), Tab. LII bis LXI, p. 79—88.

² F. v. Kerner, Der Einfluß der variablen Erdbahnelemente auf das morphogene Wärmebild Europas im Tertiär. Diese Sitzber. II a, 134. Bd., 3. u. 4. Hft., 1925.

Schon im thalassokratischen Bilde der Tethys erreicht die Abweichung über Land (in Iberien) mehr als das doppelte jener über dem Meere. Letztere beträgt im Mittel 1·5. Bei hohen Werten der Exzentrizität und geringen der Ekliptikschiefe wäre so im Winterperihel die oben für die heutige Erdstellung abgeleitete winterliche Oberflächentemperatur des Meeres (20·8) noch um ein paar Grade überschritten worden.

Die Stärke 5 der vulkanischen Staubführung in der Obertrias wurde von Brooks¹ bei Einbezug der ladinischen Stufe erhalten. Für die norische Stufe allein würde sich ein kleinerer Wert ergeben, dem nur ein geringer Temperaturabstrich entspräche.

In die Form einer Diophante² gekleidet lautet das Ergebnis der vorstehenden Studie: Wenn das von C. Diener entworfene Erdbild der Obertrias gegeben war, konnte sich das durch die Fossilien bezeugte thermische Winterklima im Ostalpenraume in dem durch die Stellungswechsel der Erde und durch geringe Schwankungen der Solarkonstante und Diathermansie geschaffenen Spielraume des Solarklimas entfalten. Auch das geologische Klimazeugnis als ein nur bedingtes hinzustellen, erscheint insofern nicht nötig, als, falls der ihm zugrunde liegende thermische Analogieschluß ein Fehlschluß ist, er nur eine Überschätzung des Wärmebedarfes der Vorweltorganismen beinhalten kann und dann die Klimaerklärung nur erleichtert wäre. Hingegen ist mit der Möglichkeit weniger günstiger als der hier abgeleiteten ozeanographischen Verhältnisse zu rechnen. Solche (minder günstige) wären zu erwägen, falls die geologische Betrachtung zur Annahme eines weiten Schollenverschubes in S—N-Richtung zwänge, weil sonst eine Überkompensation der thermischen Bedingnisse Platz griffe, da ja die tektonische Herleitung der alpinen Obertriasfaunen aus einem viel weiter südlich gelegenen Gebiete einen ähnlichen Effekt wie die Annahme sehr günstiger geographischer Verhältnisse hätte.

¹ L. c., Ch. XII, p. 233.

² Über die Diophanten, siehe meine Paläoklimatologie, p. 461—464.