

Synthese der morphogenen Winterklimate Europas zur Tertiärzeit

von

Dr. med. **Fritz Kerner v. Marilaun.**

(Mit 2 Tafeln und 2 Textfiguren.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 23. Jänner 1913.)

Im Hinblick darauf, daß der Golfstrom jetzt im Winter die Luftwärme an der Westküste von Frankreich um 4° über jene im südlichen Mitteleuropa steigert, nahm Oswald Heer an, daß in der älteren Molassezeit unter dem Einflusse der lauen indischen Trift die Wintertemperatur der Schweiz (im Meeresniveau) um ebensoviel höher als jetzt gewesen sei.¹ Semper schloß auf Grund einer Rechnung über die Wärmeabnahme der Golftrift mit Ausschluß ihrer Abkühlung durch den Labradorstrom, daß zur Eocänzeit an der Westküste Europas unter dem Schutze der nordatlantischen Landbrücke die Wassertemperatur im Winter 21° betragen habe.²

Zu einer vollständigen Beantwortung der Frage, inwieweit das Wachstum der europäischen Tertiärfloren auf geographischem Wege erklärt werden könne, waren diese beiden Annahmen nicht ausreichend. Um zu erfahren, um wieviel die Winter in den verschiedenen Teilen von Europa zur Tertiärzeit infolge größerer Ausdehnung der Meere milder als jetzt gewesen sind, muß man die morphogene Komponente des thermischen Winterklimas für beliebige Punkte unseres Kontinents feststellen können.

¹ O. Heer, Flora tertiaria Helvetiae, p. 342.

² Semper, Das paläothermale Problem, p. 317.

Im Rahmen einer Lösung des Gesamtproblems, die Luftwärme ganz allgemein als Funktion der geographischen Koordinaten und der Festlandsverteilung darzustellen, ist die vorige Forderung nicht erfüllbar, da dieses Problem derzeit noch unlösbar erscheint.¹ Man kann es aber versuchen, die obige Aufgabe für sich zu lösen. Diese Abhandlung enthält die Resultate eines von mir durchgeführten diesbezüglichen Versuches und eine Anwendung derselben auf Matthew's Rekonstruktionen der verschiedenen Abschnitte des Tertiärs.

Klimatologischer Teil.

Aufstellung thermo-geographischer Formeln.

Sowie man an eine Analyse der Beziehungen zwischen der Luftwärme und Festlandsverteilung herantritt, ersieht man sogleich, daß zwischen einer Abhängigkeit im engeren und weiteren Sinne zu unterscheiden ist. Erstere entsteht aus der horizontalen Gliederung jener Erdregion, in deren Bereich der zu betrachtende Punkt liegt, letztere aus der Land- und Wasserverteilung auf dem übrigen Erdballe, insofern sie jene allgemeine Luft- und Wasserzirkulation bedingt, durch welche das Klima jener Erdregion beeinflußt wird. Bei jeder dieser zwei Abhängigkeiten, die man als steno- und eury-morphogene Klimakomponente bezeichnen kann, sind noch mehrere Grade oder Stufen unterscheidbar.

Die auf den Meeresspiegel reduzierte Wintertemperatur eines Ortes in Europa hängt zunächst von dem Maße der Landbedeckung in der näheren Umgebung dieses Ortes ab. Am 40. Parallel ist die Jännertemperatur im westlichen Mittelmeerbecken höher als (die reduzierte) im Innern der iberischen Halbinsel, auf der Kaspisee höher als in Kaukasien. In zweiter Linie ist die reduzierte Wintertemperatur eines europäischen Ortes von seiner Entfernung vom Westrande des Kontinents

¹ Die Formeln von Forbes und Spitaler stellen die Luftwärme nur als Funktion der geographischen Breite und Festlandsverteilung, die Formeln von Schoch und Fritsche nur als Funktion der geographischen Breite und Länge dar. Die Formeln von Madsen berücksichtigen zwar auch die Kontinentalität und Seehöhe, sind aber nicht allgemein gültig und bilden zudem keine Problemlösung in dem hier gedachten Sinne.

abhängig. Am 50. Parallel, wo alle Orte in Europa in ihrem näheren Umkreise völlig landumringt sind, nimmt die Winterkälte fast gleichmäßig gegen Osten zu.

Der ganze Westabschnitt Eurasiens steht unter dem übertragenen erwärmenden Einflusse der Golftrift. Darum ist die Wintertemperatur jedes einzelnen europäischen Ortes durch alle jene geographischen Momente, von welchen die Wärmeleistung dieser Trift abhängt, mitbedingt. Es sind dies zunächst die Formverhältnisse des nordatlantischen Beckens, insbesondere der mexikanische Golf und die Floridastraße, durch deren Bestand die durch die allgemeine atmosphärische Zirkulation erzeugte warme Strömung, der Antillenstrom, noch etwas verstärkt wird, dann die Verlaufsrichtung der nordamerikanischen Ostküste, ferner die Davisstraße, welche dem kalten Labradorstrome seinen Weg gegen Süden weist. Fiele die Halbinsel Florida weg und würde so das durch den Nordostpassat in den mexikanischen Golf hineingedrängte warme Wasser durch eine breite Öffnung mit viel geringerer Geschwindigkeit als jetzt hinausgepreßt, so hätte dies für Europa eine allerdings sehr geringe Wärmeabnahme zur Folge. Wären dagegen Labrador und Südgrönland durch eine Landbrücke verbunden, wie dies manche Rekonstruktionen der Tertiärzeit zeigen, so daß die Golftrift nur aus der Dänemarkstraße eiskaltes Wasser zugemischt bekäme, so zöge dies ein starkes Ansteigen der Temperaturen in Westeuropa nach sich.

Die Wärmewirkung der Golftrift hängt aber auch noch von weitab gelegenen geographischen Momenten ab. Sie ist bekanntlich mitveranlaßt durch die im Vergleiche zum Nordostpassat größere Stärke und Stetigkeit des Südostpassat, die in der größeren Meeresbedeckung der niedrigen und mittleren Südbreiten ihre Ursache hat. Wären diese Breiten großenteils landbedeckt, würden insbesondere Südamerika und Afrika in breiter Front zusammenhängen, wie man dies auf Rekonstruktionen mesozoischer Zeitabschnitte sieht, so hätte dies für Europa auch ein Sinken der Luftwärme im Gefolge. Von sehr nachteiliger Wirkung auf das thermische Winterklima Westeuropas wäre aber eine vorwiegende Landbedeckung des jetzt vom Nordatlantik eingenommenen Gebietes, wie sie für lange

Abschnitte des älteren Paläozoikums wahrscheinlich ist. Sie würde der jetzt thermisch meistbegünstigten Region der mittleren Nordbreiten die klimatischen Verhältnisse des Ochotskischen Meeres bringen.

Als eine für das europäische Klima günstige Gestaltung hat man bekanntlich schon seit langem den für die ältere Tertiärzeit nachgewiesenen Verlauf einer Meeresstraße längs der Ostseite unseres Erdteiles erkannt. Es würde sich da um den direkten erwärmenden Einfluß einer lauen Trift auf die von ihr umspülten Küsten Südeuropas handeln; die durch Luftwirbel vermittelte thermische Fernwirkung einer solchen Trift käme nicht Osteuropa, sondern Zentralasien zugute.

Man sieht so, daß das thermische Klima eines Ortes in Europa in vielfältiger Weise von der in diesem Erdteile selbst und von der in dessen näherem und weiterem Umkreise vorhandenen Landverteilung abhängt. Man kann die ganze morphogene Klimakomponente als Summe von Teilkomponenten betrachten. Es ist dann die Möglichkeit gegeben, einzelne oder mehrere Glieder dieser Reihe für sich zu untersuchen, was wegen der Kompliziertheit des Problems der geographischen Temperaturanalyse erwünscht oder notwendig erscheint. Als nächste Aufgabe ergibt sich eine analytische Untersuchung der stenomorphogenen Klimakomponente, das ist mit Bezug auf Europa eine Darstellung der Temperaturen als Funktion der in diesem Erdteile selbst vorhandenen Land- und Wasserverteilung. Der ganze solarklimatische Temperaturanteil und die eury-morphogene Komponente, das ist in unserem Falle die Wärme des Golfstromes, soweit sie von geographischen Momenten abhängt, treten als konstantes Glied in die Formel ein. Als Variable hat man die Entfernung des zu betrachtenden Punktes von der vorgenannten Wärmequelle und die Landbedeckungen im Umkreise des Punktes.

Eine die Wintertemperaturen in Europa darstellende thermo-geographische Formel erheischt nach dem oben Gesagten wenigstens zwei veränderliche Glieder, ein Glied mit dem Produkt aus der prozentualen Landbedeckung im weiteren Umkreise des betrachteten Ortes in seinen Abstand von der Golftrift und ein Glied mit der prozentischen Landentwicklung in seiner näheren

Umgebung. Letztere Relativzahl sei als anchiperistatische, erstere als euryperistatische Landbedeckung eingeführt, wogegen der Abstand von der Golftrift die lineare Kontinentalität genannt sein mag. Bezeichnet man diese Größe mit d , die beiden anderen Variablen mit L und l , so ist die Gleichung

$$t = T - A \cdot L \cdot d - B \cdot l,$$

in welcher t die Wintertemperatur eines europäischen Ortes, T die Wintertemperatur der Golftrift am Parallel des Ortes und A und B zwei konstante Faktoren sind, der einfachste analytische Ausdruck für die stenomorphogene Klimakomponente in unserem Erdteile.

Um diese aus allgemeinen klimatologischen Erwägungen und aus dem Anblicke der Karte der Winterisothermen Europas sich ergebende Relation in eine greifbare Form zu bringen, muß man zunächst den Begriffen der anchi- und euryperistischen Landbedeckung eine bestimmte räumliche Umgrenzung geben. Durch Auflösung der aus den so gewonnenen Bedeckungswerten und den dazugehörigen Temperaturen erhaltenen Gleichungen erfährt man dann den Geltungsbereich der Formel und die Annäherung, mit welcher sie innerhalb dieses Bereiches die Beobachtungen wiedergibt. Von der so gewonnenen Erfahrung hängt es alsdann ab, ob die gewählte Umgrenzung der Landbedeckungen als passend beibehalten werden kann oder zu ändern ist und ob sich mit zwei Gliedern, in welchen die Veränderlichen in einfachster Form erscheinen, ein Auslangen finden läßt, oder ob eine Vermehrung der Variablen und eine Einführung derselben mit Potenzexponenten platzgreifen muß. Die Untersuchung ist für die verschiedenen Breiten getrennt und wenigstens für jeden fünften Parallel durchzuführen, und zwar auf Grund einer Ermittlung der Variablen für jeden fünften Meridian.

Annähernd läßt sich der Geltungsbereich der entwickelten Formel schon aus dem Isothermenbilde erkennen und die hier schöpfbare Erkenntnis bestimmt die Grenzen, bis zu welchen die Untersuchung auszudehnen ist. Als Ostgrenze ergibt sich in den mittleren Breiten etwa der 60. Meridian E v. G., da jenseits desselben trotz der zunehmenden linearen Kontinentalität

und noch wachsenden euryperistatischen Landbedeckung die Wintertemperatur bis etwa zum 80. Meridian teils gleich bleibt, teils einen vorübergehenden Anstieg erfährt. Am 35. Parallel erlischt die in der Formel ausgedrückte thermo-geographische Beziehung schon am 30. Längengrade, da sich, während den Atlasländern noch eine Kälteinsel entspricht, die Isothermen am Ostrande des Mittelmeeres gegen Norden ausbuchten und weiterhin, etwa bis zum 70. Grad östlicher Länge, den Parallelkreisen folgen. Man tritt hier in die Region ein, in welcher das Land auch im Winter nicht mehr allgemein temperaturerniedrigend wirkt. In der in Transkaspien zu sehenden Verzögerung des südwestlichen Vordringens der asiatischen Winterisothermen ist eine Gegenwirkung des arabisch-iranischen Wärmeherdes zu erkennen. Gegen Norden zu ergibt sich der 50. Parallel insofern als Grenze für die Untersuchung, als bis dorthin das Wärmemaximum im Nordatlantischen Ozean in ungefähr derselben geographischen Länge verharret (zwischen 20 und 15° W v. G.) und so bis in diese Breite hinauf die lineare Kontinentalität für denselben Meridian konstant bleibt. Doch konnte der 55. Parallel, da auf ihm nur eine geringe Ostwärtsverschiebung des Nullmeridians dieser Kontinentalität vorhanden ist, noch einbezogen werden.

Die so abgesteckten Grenzen umschließen ein Gebiet, das sich ungefähr mit jenem deckt, welches ob seiner reichen horizontalen Gliederung das für thermo-geographische Studien geeignetste der mittleren Nordbreiten ist. Zugleich fällt es mit jenem räumlich zusammen, in welchem sich die großen Trans- und Regressionen des tertiären Mittelmeeres abgespielt haben.

Bestimmung der Temperaturen.

Die für die Wintermitte geltenden Temperaturen auf den Schnittpunkten jedes fünften Meridians mit jedem fünften Parallel zwischen $\varphi = 55^\circ$ und 35° N und $\lambda = 20^\circ$ W und 70° E v. G. wurden (abzüglich der östlichsten Werte) dem Kärtchen der Jännerisothermen Europas auf Taf. IV in v. Hann's Atlas der Meteorologie entnommen. Die an der Westküste Frankreichs beobachtete Verfrühung des Wärmeminimums auf den Winteranfang war bei dieser Entnahme ohne Belang und scheint sich

zudem in den jetzt vorliegenden langjährigen Mitteln auf eine Gleichheit der Dezember- und Jännertemperatur zu reduzieren. Die gefundenen Temperaturen sind:

Tabelle I.
Jännertemperaturen auf den Schnittpunkten der geographischen Koordinaten.

	55°	50°	45°	40°	35°
20° W v. G.	4·4	10·0	12·5	13·8	15·8
15	6·2	10·0	12·0	13·3	15·2
10	5·6	8·4	11·2	11·3	14·2
5	4·1	6·7	9·5	8·3	11·6
0	2·8	4·0	4·8	9·0	10·0
5° E v. G.	2·2	2·6	3·3	11·1	9·4
10	— 0·1	0·6	2·3	9·4	10·2
15	0·1	— 1·2	3·5	8·4	12·2
20	— 0·2	— 2·5	— 0·4	8·2	12·0
25	— 5·6	— 4·0	— 1·8	5·0	11·0
30	— 8·3	— 5·3	— 1·0	5·2	9·8
35	—10·0	— 7·3	1·7	3·8	12·0
40	—11·0	— 9·3	— 2·7	2·0	10·8
45	—12·0	—10·6	— 5·0	0·0	8·4
50	—13·2	—11·4	— 4·5	2·8	8·4
55	—14·4	—13·3	— 6·0	1·6	9·0
60	—15·7	—15·7	— 9·0	— 1·0	8·0
65	—17·3	—16·6	— 9·6	0·2	8·0
70	—18·9	—16·7	— 8·0	1·5	8·0

Die von mir gefundenen Temperaturen weichen zum Teil von den von Spitaler mitgeteilten¹ etwas ab. Es ist dies vorzugsweise daraus zu erklären, daß Spitaler seine Werte aus der Karte der Jännerisothermen der Erdoberfläche auf Taf. II in v. Hann's Atlas entnahm, welche in viel kleinerem Maßstabe

¹ Spitaler, Die Wärmeverteilung auf der Erdoberfläche. Denkschr. der kaiserl. Akad. d. Wiss., LI. Bd., 1885, Schlußtablelle.

als das oben genannte Kärtchen gezeichnet ist. Zum Teil mögen die Differenzen auch daher rühren, daß in den Fällen, wo die Isothermen sehr unregelmäßig verlaufen, für die zu interpolierenden Werte ein kleiner Spielraum bleibt.

In den vorgenannten Isothermenkarten ist wegen der in den Erläuterungen zu ihnen von ihrem Autor eingehend motivierten Anwendung eines einheitlichen Maßstabes für die Höhenreduktion der Einfluß der Seehöhe auf die Lufttemperatur nicht völlig eliminiert. Bei den meiner Untersuchung zugrunde gelegten Werten sollte dies aber der Fall sein. Die hieraus erwachsenen Unstimmigkeiten schienen mir aber nur in einer Gegend, in Hocharmenien, so groß zu sein, daß sie eine Beseitigung erheischten. Der 55. und 50. Breitenkreis durchschneiden in Europa vorwiegend Gebiete von geringer Seehöhe. Am 45. Parallel kommen wenigstens die Schnittpunkte mit den fünften Meridianen in Niederungen zu liegen. Die Wintertemperatur auf der Meseta und auf den algerischen Plateaus erscheint, da hier die für Kontinentalgebiete geltende Wärmeabnahme platzgreift, genügend reduziert. Für Hocharmenien habe ich aber höhere, der rascheren für Gebirge geltenden Wärmezunahme nach unten entsprechende Temperaturen eingesetzt.

Die armenische Kälteinsel zählt übrigens zu jenen thermogeographischen Phänomenen, bei welchen auch nach vollständiger Höhenreduktion noch eine deutliche orographische Bedingtheit zu erkennen ist (Behinderung des Abfließens der durch Ausstrahlung erkalteten Luftmassen). Auch die Temperaturen an gebirgigen Küsten sind bekanntlich, obschon einer Höhenreduktion nicht mehr bedürftig, doch noch in sichtlicher Abhängigkeit von dem benachbarten Gebirge und weichen von jenen ab, die unter sonst gleichen Umständen an Flachküsten herrschen würden.

Sofern die Klarstellung der Beziehungen zwischen der Luftwärme und den geographischen Verhältnissen das Endziel einer Arbeit bildet, ist kein Anlaß dazu vorhanden, die Behaftung der (auf den Meeresspiegel reduzierten) Temperaturen mit einer orographischen Komponente zu beklagen. Wenn nur in einem Teile der betrachteten Fälle die aufgestellte Formel die gemessenen Werte gut wiedergibt, erscheinen größere positive und negative

Differenzen zwischen Beobachtung und Rechnung nicht als Fehler, sondern als Ausdruck für den Einfluß des Reliefs auf den Verlauf der Isothermen und geben vielleicht Anhaltspunkte für eine rechnerische Behandlung auch dieses Einflusses. Sofern aber eine thermo-geographische Analyse die Vorarbeit für eine Synthese der thermischen Klimate früherer Perioden bilden soll, ist es unerwünscht, daß auch ausreichend reduzierte und auch manche im Meeresniveau beobachtete Temperaturen noch kein reiner Ausdruck für den Einfluß der horizontalen Gliederung auf die Luftwärme sind. Denn wenn auch der Bestand von Gebirgen in früheren Perioden für die Lösung der Klimarätsel der Vorzeit von größter Bedeutung ist und in dieser Hinsicht schätzungsweise auch schon sehr gewürdigt wurde (hat man es doch versucht, die Eiszeit Europas allein durch eine frühere größere Höhe dieses Kontinents zu erklären), bringen die paläogeographischen Karten doch fast nur die für frühere Perioden vermutete horizontale Gliederung zum Ausdruck und es wäre auch ganz unstatthaft, das Problem der Konstruktion von Paläoisothermen schon jetzt mit der Frage einer orographischen Bedingtheit derselben zu verquicken. Die Bedeutung der vertikalen Gliederung für die Luftwärme wird man in der Paläoklimatologie bis auf weiteres in Zahlenform höchstens in der Art würdigen können, daß man, wie dies schon Oswald Heer tat, in Fällen, wo eine frühere geringere Seehöhe eines Fundortes fossiler Pflanzen zu vermuten ist, bei Abschätzung seiner Paläotemperatur eine aus der jetzt beobachteten Wärmeabnahme mit der Höhe abgeleitete Korrektur in Rechnung zieht. Da ein Großteil der Fundstellen tertiärer und älterer Floren ohnedies in tiefen Tälern des Hochgebirges und im Mittelgebirge liegt, so werden hier im allgemeinen keine großen Irrungen möglich sein.

Man könnte wohl darangehen, die auf den Meeresspiegel reduzierten Temperaturen noch auf ihre orographische Beeinflussung hin zu untersuchen und das Bild der Isothermen durch ein solches der auf eine erhebungslose Erdoberfläche bezogenen Wärmeverteilung zu ersetzen. Würde man zur Konstruktion derartiger zweifach reduzierter Isothermen nur Orte mit orographisch unbeeinflussten Temperaturen verwenden, so reichte man mit diesen wohl nicht aus. Wollte man aber die orographisch

beeinflußten Temperaturen auf nur durch die horizontale Gliederung bedingte zurückführen, so ließe sich das nicht ohne große Willkürakte machen. Darum sah ich auch davon ab, von den oben mitgeteilten Temperaturen etwa nur jene, die sich auf Punkte inmitten von Flachland oder inmitten von Meeresteilen beziehen, zur Aufstellung der Bedingungsgleichungen zu benutzen oder gar an den auf Punkte in Gebirgsnähe bezüglichen Temperaturen willkürliche Korrekturen anzubringen, die eine Eliminierung der orographischen Komponente bezweckten.

Die Wintertemperaturen der in Zentral- und Südrußland gelegenen Koordinatenschnittpunkte bringen (gleichwie jene auf den Westeuropa umspülenden Meeren) den Einfluß der horizontalen Gliederung wohl rein zum Ausdrucke. Orographisch stärker beeinflußt mögen außer den schon genannten noch die Temperaturen auf jenen Schnittpunkten sein, welche in das Rhonetal, in die Poebene, an die Südküste der Krym, an den Ostabfall der Meseta und an die Ostküste der Adria zu liegen kommen.

Die erste Horizontalzeile der vorigen Tabelle I enthält die Temperaturen, welche in die für die verschiedenen Parallelkreise getrennt zu berechnende Formel als konstantes Glied eintreten. Die Differenzen zwischen diesen Anfangswerten und den folgenden Werten bilden die Äquivalente der Summen der variablen Glieder und kommen so auf die linke Seite der aufzustellenden Bedingungsgleichungen zu stehen. Sie sind in folgender Tabelle II angeführt.

Tabelle II.

Differenzen zwischen den Jännertemperaturen in Europa und den Jännertemperaturen auf dem wärmsten nordatlantischen Meridian.

	55°	50°	45°	40°	35°
20° W v. G.	(-1·8)	0·0	0·0	0·0	0·0
15	0·0	0·0	0·5	0·5	0·6
10	0·6	1·6	1·3	2·5	1·6
5	2·1	3·3	3·0	5·5	4·2
0	3·4	6·0	7·7	4·8	5·8

	55°	50°	45°	40°	35°
5° E v. G.	4·0	7·4	9·2	2·7	6·4
10	6·3	9·4	10·2	4·4	5·6
15	6·1	11·2	9·0	5·4	3·6
20	8·2	12·5	12·0	5·6	3·8
25	11·8	14·0	14·3	8·8	4·8
30	14·5	15·3	13·5	8·6	6·0
35	16·2	17·3	10·8	10·0	3·8
40	17·2	19·3	15·2	11·8	5·0
45	18·2	20·6	17·5	13·8	7·4
50	19·4	21·4	17·0	11·0	7·4
55	20·6	23·3	18·5	12·2	6·8
60	21·0	25·7	21·5	14·8	7·8
65	23·5	26·6	22·1	13·6	7·8
70	25·1	26·7	20·5	12·3	7·8

Ermittlung der Landbedeckungen.

Zur Gewinnung von Zahlenwerten für die Landbedeckung in der Umgebung der Punkte, für welche die Wintertemperaturen bestimmt waren, wurden für die um diese Punkte als Diagonalenschnittpunkte herumgelegten 5°-Felder (intermediäre 5°-Felder) und für die zwischen diesen Punkten als Eckpunkten gelegenen 5°-Felder (5°-Felder im gebräuchlichen Sinne) die landbedeckten halben 1°-Felder ausgezählt. Dann wurde durch Summierung der hierbei für die gewöhnlichen 5°-Felder erhaltenen Werte die Anzahl der landbedeckten halben 1°-Felder in den um die Punkte herumgelegten 10°-, 20°- und 30°-Feldern bestimmt und schließlich wurden diese und die für die intermediären 5°-Felder erhaltenen Zahlen in Prozente verwandelt. Dieses Verfahren hatte den Vorzug der Einfachheit; es ist aber insofern zu beanstanden, als bei ihm die das thermische Klima beeinflussenden Umgebungen als sphärische Trapeze angenommen werden und etwa auch deshalb, weil die Breite dieser Trapeze mit wachsender Äquatorferne sukzessive mehr abnimmt. Ein besseres Verfahren wäre hier, um die zu betrachtenden Punkte auf einer flächentreuen Karte Kreise mit im Verhältnisse der Quadratwurzeln der natürlichen Zahlen

wachsenden Radien zu ziehen und die Landbedeckungen innerhalb dieser Kreise planimetrisch zu bestimmen. Durch Eintragung dieser in Promille der Kreisflächen umgewandelten Flächenmaße als Ordinaten und der in arithmetischer Progression wachsenden Maßzahlen der Kreisflächen als Abszissen erhielt man eine plethographische Kurve, die eine sehr gute Grundlage für thermogeographische Untersuchungen abgeben würde. Ihre Gewinnung wäre aber ziemlich umständlich, da die Flächenwerte für jeden Punkt gesondert bestimmt werden müßten, während die oben genannten Werte durch Abzug und Zuschlag sukzessiver 5° -Streifen ineinander übergeführt werden können. Der dem ersten Verfahren anhaftende Nachteil der Verschmälerung der peristatischen Flächen mit wachsender Äquatorferne verbindet sich allerdings mit dem vielleicht günstigen Umstande, daß das Verhältnis der Längenerstreckung dieser Flächenstücke zum Erdumfang von der geographischen Breite unabhängig bleibt.

Falls es sich um eine möglichst exakte analytische Darstellung der jetzigen Lufttemperaturen in ihrer Abhängigkeit von der Land- und Wasserverteilung handeln würde, wäre es wohl am Platze, die Landbedeckung für die vier Quadranten der Windrose getrennt zu bestimmen und diese Werte mit den für die Quadranten sich ergebenden Produkten aus der Windstärke in die Windhäufigkeit zu multiplizieren. Für eine Formel, welche nur klimatologisches Mittel zu einem paläoklimatologischen Zweck sein soll, kommt diese Ausgestaltung der Bestimmungsmethode peristatischer Flächen nicht in Betracht. Man könnte höchstens versuchen, bei Analyse der Wintertemperaturen die Landverteilung in den Osthälften dieser Flächen mit größerem Gewichte einzuführen, wobei aber die zu wählende Relativzahl entweder eine willkürliche sein müßte oder als Unbekannte in die Gleichung eintreten würde.

Die Tabelle III enthält die nach dem angegebenen Verfahren gewonnenen Werte der prozentualen Landbedeckung der 5° -, 10° -, 20° - und 30° -Felder in der Umgebung der Punkte, für welche die Temperaturen bestimmt wurden. Volle Landbedeckung ist mit *h* bezeichnet. Der Abstand vom Wärmemaximum im Atlantischen Ozean, die lineare Kontinentalität,

Tabelle III.

Prozentische Landbedeckungen der um die Koordinatenschnittpunkte
herumgelegten 5°-, 10°-, 20°- und 30°-Felder.

	55°	50°	45°	40°	35°	55°	50°	45°	40°	35°
	5°-Felder					10°-Felder				
20° W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	12	16	6	26	6	14	11	14	28	33
5	60	34	24	h	76	40	39	45	64	74
0	28	74	86	64	76	35	62	71	60	75
5° E	8	94	88	2	86	41	79	75	44	69
10	70	h	84	20	60	67	90	71	35	53
15	66	h	70	44	6	68	94	76	33	26
20	66	h	h	56	6	70	98	89	49	27
25	98	h	h	56	6	87	99	90	61	39
30	h	h	50	76	20	99	95	71	56	45
35	h	h	36	84	62	h	91	58	59	72
40	h	h	82	76	h	h	95	76	79	97
45	h	h	96	h	h	h	96	84	85	96
50	h	h	26	28	92	h	88	67	63	84
55	h	h	88	78	96	h	91	76	73	88
60	h	h	72	h	h	h	96	93	96	h
65	h	h	h	h	h	h	98	97	99	h
70	h	h	h	h	h	h	98	99	h	h
	20°-Felder					30°-Felder				
20° W	2	0	0	0	4	5	5	7	11	16
15	6	7	10	12	22	12	14	18	24	30
10	14	21	26	30	44	17	20	27	36	43
5	22	33	30	48	62	25	30	38	48	57
0	39	50	56	66	75	35	40	48	60	67
5° E	56	61	62	67	71	47	50	57	68	74
10	65	65	62	61	62	58	58	62	72	76
15	76	74	68	60	60	67	63	63	72	75
20	83	80	72	58	58	75	71	65	71	72
25	86	82	75	58	58	79	75	68	72	71
30	90	84	78	65	65	83	80	75	77	76
35	96	86	82	72	72	84	85	81	81	79
40	96	85	83	78	78	84	86	82	80	78
45	95	86	82	81	80	85	88	86	83	80
50	97	90	86	86	84	87	91	91	88	82
55	96	90	86	86	84	90	93	93	91	84
60	97	93	90	90	88	92	94	94	91	84
65	99	98	98	98	97	94	95	95	93	86
70	99	98	98	98	99	97	99	99	98	91

wurde in 5° -Längen ausgedrückt, so daß sich für sie die Relation $d = 4 + \frac{1}{5} \lambda$ E v. G. ergibt.

Berechnung der Konstanten.

Ein Vergleich der Temperaturdiagramme mit jenen der Landbedeckungen in Fig. 1 gewährt ein klares Bild der aus der Isothermenkarte in rohem Umriss ersichtlichen thermogeographischen Beziehungen. Die Zacken des Diagrammes der Wärmeabnahme fallen mit jenen der Diagramme der Landbedeckung der 5° - und 10° -Felder zusammen, von denen die letztere ein abgeschwächtes Bild der ersteren bietet. Diese Relativwerte entsprechen so dem früher aufgestellten Begriffe der anchiperistischen Bedeckung. Wo die Zacken der Bedeckung der 5° - und 10° -Felder nicht auf denselben Meridian zu liegen kommen, fallen die Temperaturzacken öfter mit jenen der 5° -Felderbedeckung zusammen (45° N, 15° E; 40° N, 5° E; 35° N, 5° E). Nur in einem Falle (45° N, 50° E) entspricht einer stark entwickelten Zacke des Diagrammes der 5° -Felderbedeckung nur eine schwache und in einem Falle (55° N, 5° E) gar keine Zacke im Verlaufe der Lufttemperatur.

Die Diagramme der Landbedeckung der 20° - und 30° -Felder zeigen dagegen — und zwar letztere noch mehr als erstere — einen ziemlich ausgeglichenen Verlauf und entsprechen so dem der euryperistischen Bedeckung. Ihr Verlauf nähert sich dem einer gegen die Abszissenachse stark konvexen Kurve, wogegen der von allen Oszillationen befreite gedachte Verlauf der Temperaturabnahme am $45.$ und $40.$ Parallel und der schon ziemlich stetige Verlauf der Wärmeabnahme am $50.$ Breitenkreise sich einem geradlinigen nähert. Es ergibt sich hieraus die schon betonte Notwendigkeit, die euryperistische Landbedeckung mit einem von der linearen Kontinentalität abhängigen Faktor zu versehen.

Es fragte sich nun, wie bei Beschränkung auf zwei variable Glieder von den vier bereitgestellten Werten der peristischen Landbedeckung Gebrauch zu machen sei, ob von den je zwei für die nähere und weitere Umgebung geltenden Bedeckungswerten je einer zu nehmen sei und welcher oder ob je zwei von ihnen in je einem Mittelwerte mit gleichem oder ungleichem

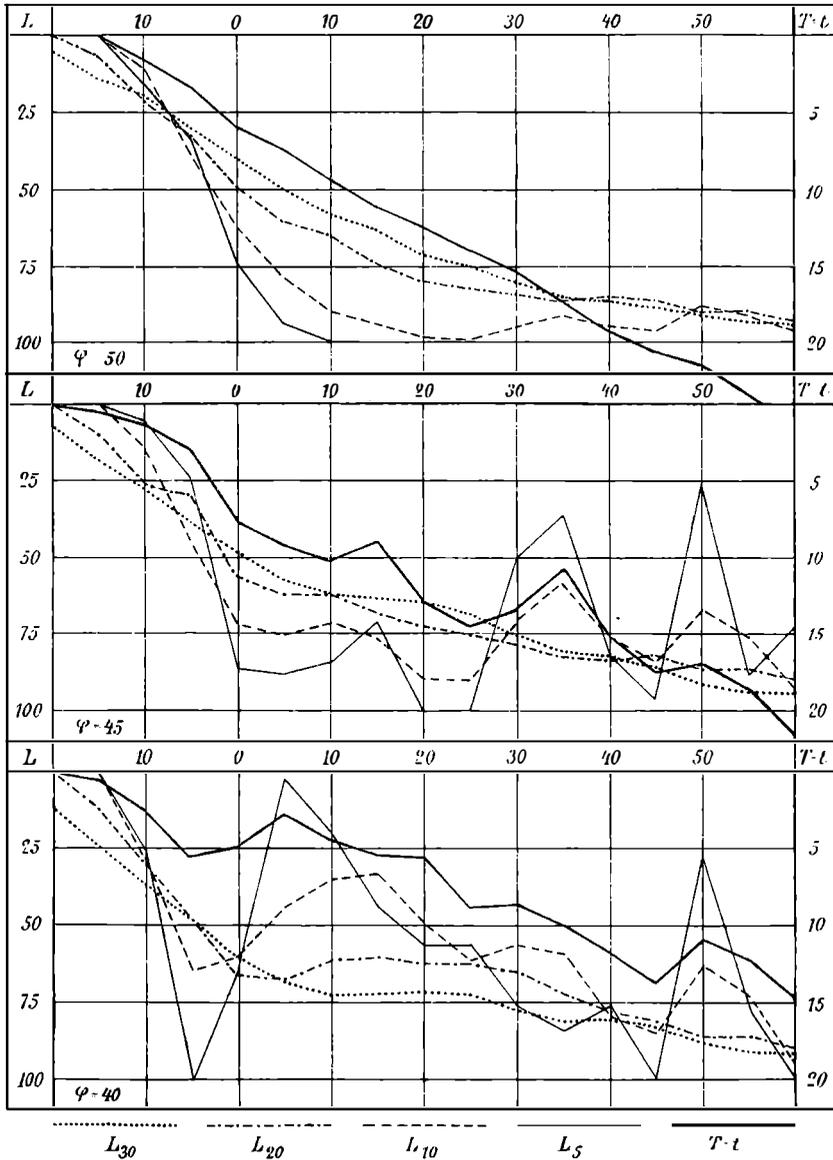


Fig. 1.

Beziehungen zwischen der Jännertemperatur und den peristatischen Landbedeckungen.

Gewichte in die Formel eintreten sollen. Mehrfach durchgeführte Proberechnungen ließen mich erkennen, daß es genüge, als euryperistische Landbedeckung den Wert für die 20°-Felder einzusetzen und daß es sich im Interesse der Gleichheit des Formelbaues empfahl, für die anchiperistische Bedeckung das arithmetische Mittel aus den Werten für die 5°- und 10°-Felder zu wählen. Es würde dieses ungefähr der Landbedeckung der 8°-Felder entsprechen. Für die einzelnen Parallelkreise ließen sich durch Einführung der zwei Werte mit wechselndem ungleichen Gewichte wohl auch bessere Ergebnisse erzielen.

Die Einsetzung der Bedeckungszahlen der 20°-Felder in das erste variable Formelglied empfahl sich auch insofern, als dann diese Größe für 20° W v. G. in der Mehrzahl der betrachteten Breiten den Wert 0 annahm und dann das konstante Formelglied nicht berechnet zu werden brauchte. Würden die auf diesem Meridian gelegenen Punkte schon einen von 0 abweichenden Betrag der euryperistischen Landbedeckung haben, so müßte man — sofern sie nicht zu vernachlässigen wäre — auch das konstante Glied durch Rechnung finden. Dieser Berechnung würde die Annahme entsprechen, daß die Golfstromtemperatur in 20° Westlänge schon eine durch das benachbarte Land etwas erniedrigte sei. Diese Annahme wäre aber bei der großen Wärmekapazität des Golfstromes kaum begründbar. Die Frage, ob im Falle, daß ein großer Teil Westeuropas überflutet würde, die Temperatur in 20° W aus diesem Grunde höher wäre als jetzt, läßt sich überhaupt nicht stellen, da ja die Golftrift dann einen östlicheren Verlauf einschläge. Die Temperatur in 20° W würde dann aus letzterer Ursache eher niedriger sein als jetzt.

Der Wert der Landbedeckung im zweiten variablen Gliede wurde, um ihn dem mit der linearen Kontinentalität multiplizierten Werte im anderen Gliede in seiner Größe ähnlicher zu machen, verzehnfacht. Bezeichnet man die Landbedeckungen der verschiedenen Gradfelder mit f_{20} , f_{10} und f_5 , so lautet meine Formel folgendermaßen:

$$t = T - A \left(4 + \frac{1}{5} \lambda E \right) f_{20} - B \cdot 5 (f_{10} + f_5).$$

Es wurden nun für die vier Breiten 55° , 50° , 45° und 40° aus je 16 Bedingungsgleichungen (bis $\lambda = 60^\circ$ E) und für dieselben Breiten und für $\varphi = 35^\circ$ aus je 10 Bedingungsgleichungen (bis $\lambda = 30^\circ$ E) die Werte der Konstanten A und B gerechnet. Für den 55° Parallel war für d ein um eine Einheit niedrigerer Wert einzusetzen. Die erhaltenen Werte sind:

Bis $\lambda = 60^\circ$	55°	50°	45°	40°	35°
A	1·312	1·448	1·043	0·658	—
B	0·297	0·381	0·703	0·629	—

Bis $\lambda = 30^\circ$	55°	50°	45°	40°	35°
A	1·230	1·138	1·203	0·764	0·702
B	0·328	0·537	0·629	0·553	0·469

Bei Annahme dieser Werte für die Konstanten A und B ergeben sich durch Einsetzung der in den vorigen Tabellen enthaltenen Bedeckungswerte nachstehende Temperaturen.

Tabelle IV.

Berechnete Jännertemperaturen auf den Koordinatenschnittpunkten.

Bis $\lambda = 60^\circ$ E	55°	50°	45°	40°
20° W v. G.	4·4	10·0	12·5	13·8
15	6·2	9·9	12·4	13·7
10	5·6	8·9	11·3	11·7
5	4·1	7·1	9·1	7·8
0	3·7	4·5	4·6	8·2
5° E v. G.	2·5	2·2	3·5	10·2
10	— 0·1	0·7	3·1	9·6
15	— 1·8	— 1·2	2·4	8·6
20	— 3·5	— 3·0	— 0·2	7·4
25	— 5·6	— 4·5	— 1·2	6·6
30	— 7·4	— 5·9	0·1	5·4
35	— 9·4	— 7·3	— 0·2	4·0
40	— 10·6	— 8·5	— 3·4	2·7
45	— 11·7	— 10·0	— 4·9	1·0
50	— 13·3	— 11·8	— 3·4	2·9
55	— 14·4	— 13·2	— 6·7	0·5
60	— 15·9	— 15·3	— 8·4	— 1·9

Bis $\lambda = 30^\circ$ E	55°	50°	45°	40°	35°
20° W v. G.	4·4	10·0	12·5	13·8	15·8
15	6·2	9·9	12·4	13·7	15·6
10	5·6	8·8	11·2	11·8	14·3
5	4·0	6·9	9·2	8·2	11·0
0	3·7	4·1	4·8	8·4	10·1
5	2·6	1·9	3·6	10·0	9·6
10	— 0·1	0·5	3·1	9·5	10·5
15	1·6	— 1·1	2·2	8·4	12·1
20	3·2	— 2·6	— 0·4	7·3	11·8
25	— 5·3	— 3·8	— 1·6	6·5	11·1
30	— 7·0	— 4·8	— 0·7	5·2	9·7

Vergleicht man diese berechneten Temperaturen mit den beobachteten, so zeigt sich, daß das Ergebnis der durchgeführten thermogeographischen Analyse als ein zufriedenstellendes bezeichnet werden kann. Gleichwohl lag die Frage nahe, ob nicht durch eine Ausgestaltung der Formel ein noch besseres Resultat zu erzielen wäre. Natürlich sollte die erreichbare Verbesserung zu der aus ihr erwachsenden rechnerischen Mehrarbeit in einem genügend günstigen Verhältnisse stehen.

Es kam zunächst eine Vermehrung der Formelglieder in Betracht. Es war die Einsetzung der vier gewonnenen Landbedeckungswerte in vier veränderliche Glieder oder die Einführung eines Mittelgliedes mit Wahl dreier Variabler, etwa von der Form $\frac{1}{2}(f_5 + f_{10})$, $\frac{1}{2}(f_{10} + f_{20})$, $\frac{1}{2}(f_{20} + f_{30})$, zu erwägen.

Die bisher festgehaltene Trennung der Begriffe der anchi- und euryperistischen Landbedeckung entspricht naturgemäß nur einem Schema; in Wirklichkeit geht erstere allmählich in letztere über und es erscheint ganz passend, daß dieser Umstand auch beim Aufbau der Formel berücksichtigt wird. Es liegt jedoch im Wesen der Methode der kleinsten Quadrate, daß sie, wenn man sich ihrer zur Ausgleichung sehr unregelmäßig veränderlicher Größen bedient, bei größerer Zahl der Unbekannten für einzelne derselben sehr kleine oder mit entgegengesetztem Vorzeichen behaftete Werte liefert. Letzterem

Falle entspräche in meiner Formel der Widersinn, daß Land im Winter in mittleren Breiten temperaturerhöhend wirkt. Die Formel würde dann sehr das Aussehen einer bloßen Interpolationsformel erhalten, während sie mit nur zwei negativen variablen Gliedern ein einfacher, aber klarer Ausdruck thermogeographischer Beziehungen ist. Da zudem, wie mehrere Probe-rechnungen ergaben, einzelne Temperaturwerte auch durch mehrgliedrige Formeln mit einem 1° übersteigenden Fehler dargestellt werden, wurde auf eine Vermehrung der Formelglieder verzichtet.

In zweiter Linie war die Anbringung eines Potenzexponenten an der Größe d zu erwägen. Die Annahme, daß die winterliche Kältesteigerung infolge wachsender Entfernung vom wärmsten nordatlantischen Meridian dieser Entfernung proportional sei, ist willkürlich und hat nur den Vorzug der Einfachheit für sich. Diese Steigerung vollzieht sich in langsamerer Weise und es sollte die lineare Kontinentalität mit einem echten Bruche als Potenzexponenten versehen werden. Für den 50. Parallel kann man den Wert dieses Exponenten näher untersuchen. Die Wärmeabnahme erfolgt hier ostwärts von dem Meridian, in welchem die anchiperistische Landbedeckung ihren Höchstwert erreicht, um dann konstant zu bleiben, fast in gerader Linie. Die Ausgleichsrechnung ergibt für die Konstante a in der Formel $t = 10 \cdot 0 - a d$ den Wert 1·55 (genau 1·549) und die durch Einsetzung dieser Zahl berechneten Werte der Differenz $10 \cdot 0 - t$, verglichen mit den beobachteten, sind:

	15° W	10	5	0	5° E	10	15	20
Berechnet ..	1·6	3·1	4·7	6·2	7·8	9·3	10·9	12·4
Beobachtet..	0·0	1·6	3·3	6·0	7·4	9·4	11·2	12·5
Differenz ...	+1·6	+1·5	+1·4	+0·2	+0·4	-0·1	-0·3	-0·1

	25° E	30	35	40	45	50	55	60
Berechnet...	14·0	15·5	17·1	18·6	20·2	21·7	23·2	24·8
Beobachtet..	14·0	15·3	17·3	19·3	20·6	21·4	23·3	25·7
Differenz ...	0·0	+0·2	-0·2	-0·7	-0·4	+0·3	0·0	-0·9

Vom Nullmeridian angefangen bis zum 55. E hält sich die Differenz zwischen Beobachtung und Rechnung mit einer Ausnahme unter 0.4° und beträgt im Durchschnitte nur 0.24° . Die Verlaufslinie der euryperistatischen Landbedeckung am 50. Parallel nähert sich dagegen einer gegen die Abszissenachse konvexen Kurve. Für die Landbedeckung der 30° -Felder scheint in erster Annäherung die Relation $L = A\sqrt{d}$ zu bestehen, da hier für $d = 5$ (5° E) die Größe L den Wert 50, für $d = 20$ (80° E) den Wert 100 erreicht. Die Verlaufslinie dieser Landbedeckung ist aber westwärts von 5° E schwächer, ostwärts von diesem Meridian stärker gebogen, als der vorigen Exponentiallinie entspricht.

Als Differenzen zwischen den gemessenen und den nach der Relation $L = \sqrt{5d}$ berechneten Werten erhält man:

15° W	10	5	0	5° E	10	15	20	25	30
+ 8	+ 11	+ 9	+ 5	0	- 3	- 4	- 8	- 8	- 9
35° E	40	45	50	55	60	65	70	75	80
- 11	- 8	- 7	- 7	- 8	- 4	- 3	- 4	- 1	0

Bestimmt man den Exponenten aus allen verfügbaren Bedingungsgleichungen von der Form

$$\log L = \log A + \log d \cdot x,$$

so erhält man für die Landbedeckung der 30° -Felder $x = 0.747$ und für jene der 20° -Felder $x = 0.752$. Läßt man die Gleichungen für 15° W und 10° W weg, so wird für die Bedeckung der 30° -Felder $x = 0.398$, für jene der 20° -Felder $x = 0.326$. Da nun

$$ad = Ad^x \cdot \frac{a}{A} d^{1-x}$$

gesetzt werden kann und $Ad^x = L$ ist, so ergibt sich, daß d im ersten variablen Formelgliede mit einem sich dem Werte 0.5 nähernden Exponenten zu versehen wäre.

Für den 55. und 45. Parallel käme man zu analogen Schlüssen, da auch dort der von seinen Oszillationen befreit gedachte Temperaturabfall fast geradlinig erfolgt und der Verlauf der euryperistatischen Landbedeckung dem eben beschriebenen sehr ähnlich ist. Am 40. und 35. Parallel läßt sich keine einfache Relation zwischen L und d aufzeigen, doch wächst dort im Gesamtdurchschnitte L langsamer als d .

Daß die Formeln, obwohl die Wahl des Potenzexponenten 1 für d demnach zu hoch gegriffen ist, doch ein befriedigendes Resultat ergeben, weist darauf hin, daß das zweite variable Formelglied zu klein genommen ist. Es dünkt sehr wahrscheinlich, daß auch der kältemildernde Einfluß der anchiperistatischen Wasserbedeckung mit wachsender Kontinentalität abnimmt, daß sich z. B. über dem Nordbecken der Kaspisee, wenn es in Westeuropa läge, die Winterisothermen stärker nach Nord ausbuchten würden als dies jetzt der Fall ist, und daß sie selbst über dem Aralsee, den sie jetzt fast geradlinig überqueren, wenn er westlicher läge, in gegen Nord konvexen Bogen hinwegzögen. Es ist auch anzunehmen, daß diese temperaturerhöhende Wirkung anchiperistatischer Wasserflächen südwärts wächst, da die Winterisothermen über dem nördlich von Mangischlak gelegenen Teile des Kaspi nur eine schwache, über dem südlich von Apscheron gelegenen Teile dieses Binnenmeeres aber eine starke nördliche Ausbuchtung erfahren.

Die Auswertung einer Formel, in welcher in beiden variablen Gliedern die Größe d , mit verschiedenen Potenzexponenten versehen, als Faktor vorkäme, stieße auf große Schwierigkeiten. Nach der Methode der kleinsten Quadrate könnten dann die Exponenten nur durch Einführung von Näherungswerten und Verbesserung derselben berechnet werden; die direkte Wahl bestimmter Exponenten auf dem Wege der Ausprobung wäre aber auch sehr umständlich. So schien es für einen ersten Versuch empfehlenswerter, sich mit einer Formel zu begnügen, in welcher sich mit der ungefähren Kompensation der beiden Fehler, daß das erste variable Glied zu groß, das zweite zu klein genommen war, zugleich eine bedeutende Verminderung der Rechenarbeit verband.

Es wurde darum an der anfänglich 'gewählten einfachsten Form der Gleichung festgehalten. Mit auf zwei Dezimalen abgekürzten Konstanten sind die Gleichungen, wenn man $f_{20} = L$ und $5 (f_{10} + f_5) = l$ setzt, folgendermaßen zu schreiben:

‡ bis $\lambda = 60^\circ$ E v. G.

$$55^\circ t = 6 \cdot 2 - 1 \cdot 31 L \cdot d - 0 \cdot 30 l$$

$$50^\circ t = 10 \cdot 0 - 1 \cdot 45 L \cdot d - 0 \cdot 38 l$$

$$45^\circ t = 12 \cdot 5 - 1 \cdot 04 L \cdot d - 0 \cdot 70 l$$

$$40^\circ t = 13 \cdot 8 - 0 \cdot 66 L \cdot d - 0 \cdot 63 l$$

‡ bis $\lambda = 30^\circ$ E v. G.

$$55^\circ t = 6 \cdot 2 - 1 \cdot 23 L \cdot d - 0 \cdot 33 l$$

$$50^\circ t = 10 \cdot 0 - 1 \cdot 14 L \cdot d - 0 \cdot 54 l$$

$$45^\circ t = 12 \cdot 5 - 1 \cdot 20 L \cdot d - 0 \cdot 63 l$$

$$40^\circ t = 13 \cdot 8 - 0 \cdot 76 L \cdot d - 0 \cdot 55 l$$

$$35^\circ t = 15 \cdot 8 - 0 \cdot 70 L \cdot d - 0 \cdot 47 l$$

Vergleicht man die Werte der denselben Gliedern zugehörigen Konstanten dieser Formeln, so lassen sich die Werte des ersten Gliedes als Bestandteile einer einfachen Reihe erkennen. In erster Annäherung ergibt sich hier die Relation

$$t = 6 \cdot 2 + 3 \cdot 82 b - 0 \cdot 35 b^2,$$

wenn vom 55. Parallel ausgegangen wird und b ein Breitenintervall von 5° bezeichnet. Die Temperatur am 40. Parallel ist hiernach gegenüber jener auf den benachbarten Parallelkreisen um $0 \cdot 6^\circ$ zu niedrig. Schwierig ist es, in dem Verhalten der konstanten Faktoren der variablen Glieder eine Gesetzmäßigkeit zu erkennen.

Der Umstand, daß die erkaltende Wirkung des Landes im Winter in abnehmendem Maße wenigstens bis an die Südgrenze der in Betracht gezogenen Zone reicht, soll sich in einer Größenabnahme dieser Faktoren gegen Süden kundtun. Daß eine solche Abnahme aber nur teilweise und verschwommen sichtbar wird, muß im Bestande eines diese Faktoren in anderem Sinne beeinflussenden Momentes seinen Grund haben. Als

solches Moment könnte die mittlere Landbedeckung der ganzen in Betracht gezogenen Zonenstücke in Frage kommen. Es ergeben sich für sie folgende Werte:

	Bis $\lambda = 60^\circ$ E v. G.			Bis $\lambda = 30^\circ$ E v. G.		
	5° F.	10° F.	20° F.	5° F.	10° F.	20° F.
55°.....	65	67	67	46	47	49
50°.....	78	74	65	65	62	52
45°.....	59	63	63	55	57	51
40°.....	54	52	61	40	40	49
35°.....	52	58	64	31	42	55

Die mittlere Landbedeckung der von den einzelnen Parallelkreisen halbierten 5 und 10° breiten Zonenstreifen erreicht für das längere Bogenstück am 50. und 55., für das kürzere am 50. und 45. Parallel ihre größten Werte. Man findet so, daß sich in der ersten Formelreihe mit größerer mittlerer Landbedeckung ein höherer Wert des ersten und ein niedrigerer Wert des zweiten konstanten Faktors verbindet, in der zweiten Reihe dagegen auch der zweite Faktor bei geringerer Landbedeckung kleiner ist. Es erscheint dies einigermaßen widersprechend, betrachtet man aber die Summe beider Faktoren, so ergibt sich, daß diese in der ersten Reihe am 50. und in der zweiten am 45. Parallel ihren Höchstwert erreicht. Die Werte dieser Summe sind:

	55°	50°	45°	40°	35°
Bis $\lambda = 60$ E	1·61	1·83	1·74	1·29	—
Bis $\lambda = 30$ E	1·56	1·68	1·83	1·31	1·17

Daß im ersten Formelgliede eine Beziehung zur mittleren anchiperistischen Landbedeckung platzgreift, muß insofern nicht befremden, als diese Größe ja auch einen Bestandteil der euryperistischen Bedeckung bildet.

Es scheint so, daß dort, wo die mittlere Landbedeckung größer ist, auch bei der Analyse ein größerer thermischer Gesamteinfluß des Landes resultiert. Man sieht, daß auch die hier aufgestellte Formel wie andere thermogeographische Formeln — obschon sie zur Feststellung eines allgemeinen Gesetzes führen sollte — doch noch von der jetzigen Festlandsverteilung beeinflußt ist. Es ist dies bei paläoklimatologischen Anwendungen der Formel wichtig, indem es in Fällen, wo eine von der heutigen sehr abweichende Landverteilung vorliegt, bei Beurteilung der gewonnenen Resultate zur Vorsicht mahnt. Bestimmt man nach meiner Formel die stenomorphogenen Temperaturen für einen größtenteils wasserbedeckten Parallelkreisbogen, so wird man vielleicht etwas zu niedrige Werte erhalten, denn wäre die Landbedeckung auf diesem Parallel auch jetzt eine sehr geringe, so würde die Rechnung vermutlich schon kleinere Konstantenwerte ergeben haben.

Bestimmung der Fehler.

Die Differenzen zwischen den nach den vorigen Formeln berechneten und den beobachteten Temperaturen enthält die folgende Tabelle.

Tabelle V.

Differenzen zwischen den berechneten und den beobachteten Jännertemperaturen.

	55°	50°	45°	40°
20° W v. G.	0·0	0·0	0·0	0·0
15	0·0	— 0·1	+ 0·4	+ 0·4
10	0·0	+ 0·5	+ 0·1	+ 0·4
5	0·0	+ 0·4	— 0·4	— 0·5
0	+ 0·9	+ 0·5	— 0·2	— 0·8
5° E v. G.	+ 0·3	— 0·4	+ 0·2	— 0·9
10	0·0	+ 0·1	+ 0·8	+ 0·2
15	— 1·9	0·0	— 1·1	+ 0·2
20	— 1·5	— 0·5	+ 0·2	— 0·8
25	0·0	— 0·5	+ 0·6	+ 1·6
30	+ 0·9	— 0·6	+ 1·1	+ 0·2
35	+ 0·6	0·0	— 1·9	+ 0·2
40	+ 0·4	+ 0·8	— 0·7	+ 0·7
45	+ 0·3	+ 0·6	+ 0·1	+ 1·0
50	— 0·1	— 0·4	+ 1·1	+ 0·1
55	0·0	+ 0·1	— 0·7	— 1·1
60	— 0·2	+ 0·4	+ 0·6	— 0·9

	55°	50°	45°	40°	35°
20° W v. G.	0·0	0·0	0·0	0·0	0·0
15	0·0	— 0·1	+ 0·4	+ 0·4	+ 0·4
10	0·0	+ 0·4	0·0	+ 0·5	+ 0·1
5	— 0·1	+ 0·2	— 0·3	— 0·1	— 0·6
0	+ 0·9	+ 0·1	0·0	— 0·6	+ 0·1
5° E v. G.	+ 0·4	— 0·7	+ 0·3	— 1·1	+ 0·2
10	0·0	— 0·1	+ 0·8	+ 0·1	+ 0·3
15	— 1·7	+ 0·1	— 1·3	0·0	— 0·1
20	— 1·2	— 0·1	0·0	— 0·9	— 0·2
25	+ 0·3	+ 0·2	+ 0·2	+ 1·5	+ 0·1
30	+ 1·3	+ 0·5	+ 0·3	0·0	— 0·1

Als mittlerer Fehler (m), als Wurzel aus dem mittleren Fehlerquadrat (q) und als wahrscheinlicher Fehler (w) ergeben sich hieraus folgende Werte, denen noch der Wert des größten Fehlers (Δ) und die Häufigkeit der $0\cdot5^\circ$ nicht übersteigenden Fehler (H) angefügt seien.

	55°	50°	45°	40°
m	0·44	0·37	0·64	0·62
q	0·72	0·44	0·78	0·75
w	0·48	0·30	0·53	0·51
Δ	1·9	0·8	1·9	1·6
H	0·69	0·81	0·44	0·50

	55°	50°	45°	40°	35°
m	0·59	0·25	0·36	0·52	0·22
q	0·84	0·32	0·50	0·71	0·27
w	0·56	0·22	0·34	0·48	0·18
Δ	1·7	0·7	1·3	1·5	0·6
H	0·60	0·90	0·80	0·60	0·90

Als Durchschnittswerte der drei charakteristischen Fehler erhält man:

	m	q	w
Bis $\lambda = 60^\circ$	0·52	0·67	0·46
Bis $\lambda = 30^\circ$	0·39	0·53	0·36

Natüremäßig darf man an eine thermogeographische Analyse betreffs der Fehlergrößen nicht jene Anforderungen stellen, die man bei der harmonischen Analyse des jährlichen und

täglichen Wärmeganges erfüllt zu sehen gewohnt ist. Bei Anwendung der Bessel'schen Formel mag man wohl verlangen, daß die Differenzen zwischen Beobachtung und Rechnung 0.5° nicht übersteigen, obwohl ja einzelne größere Fehler charakteristischen Knicken im Temperaturverlaufe entsprechen, denen zufolge selbst eine aus mehrhundertjährigen Monatsmitteln gewonnene Wärmekurve sich mit dem aus einer zwei- bis dreigliedrigen Sinusformel erhaltenen Temperaturgange noch nicht vollständig decken würde.

Bei geophysikalischen Formeln, in denen geomorphologische Größen als Veränderliche vorkommen, wird man sich im allgemeinen damit zufriedengeben, wenn der mittlere Fehler unter 0.5° bleibt und der größte 1.5° nicht übersteigt. Daß das Ergebnis meiner Analyse ein befriedigendes ist, zeigt sich, wenn man es betreffs der Fehlergrößen mit der Forbes'schen Formel vergleicht, was innerhalb gewisser Grenzen statthaft ist. Meine Formel zieht allerdings nur einen Quadranten des Erdumfanges und nur eine 20° breite Zone in Betracht und es mag leichter dünken, eine für ein Bogenstück als wie eine für den ganzen Umfang geltende Relation zu finden; die rechnerisch behandelte Beziehung ist aber bei mir eine kompliziertere als bei Forbes. Für die von Spitaler gefundenen verbesserten Gestalten der Forbes'schen Wärmegleichung ergeben sich nachstehende Fehler:

	Gleichung I		Gleichung III	
	N	S	N	S
<i>m</i>	0.74	0.87	0.85	0.67
<i>w</i>	0.59	0.80	0.81	0.56
Δ	1.8	1.9	3.3	1.9

Die mittleren und wahrscheinlichen Fehler sind demnach in den Gleichungen Spitaler's größer. Auch der absolut größte Fehler erreicht dort einen höheren Wert.

Die getrennte Berechnung der Temperaturen auf Grund der Einzelrelationen bis zum 60. und 30. Meridian E. L. ermöglicht eine vergleichende Prüfung der Ergebnisse. Am 55. Parallel

ist bei der zweiten Formel der mittlere Fehler größer, indem sich dort die berechneten Temperaturen weiter im Osten gut den beobachteten anschließen. Im übrigen ergeben sich für die kürzeren Bogenstücke auch kleinere Fehler. Die zweifache Temperaturberechnung erscheint besonders für die Erkenntnis der Bedeutung der Fehler verwertbar. Wo die berechneten Temperaturen in beiden Reihen im gleichen Sinne um mehr als einen halben Grad von den beobachteten abweichen, mögen letztere vielleicht als klimatische Anomalien zu betrachten sein. Wo die Abweichungen mit entgegengesetztem Vorzeichen stärker differieren, dürfte es sich um durch die rechnerische Ausgleichung bedingte Kompensationsfehler handeln.

Als relativ zu warme Gebiete erscheinen in beiden Differenztabellen der Osten Spaniens und das anschließende iberische und balearische Meer, die Ostküste der Adria und die Ostsee; hierzu kommen in der ersten Tabelle noch die Krym nebst der Kubangegend und die transkaspische Wüste. Relativ zu kalte Regionen wären die Ostküste Englands, die Poebene, die Balkanhalbinsel nebst der nördlichen Ägeis, ferner — zufolge der ersten Tabelle — Hocharmenien und das Gebiet des nördlichen Kaspi und des Aralsees. Einige dieser Anomalien lassen ihre orographische Bedingtheit deutlich erkennen, so die tiefen Temperaturen der Poebene und Hocharmeniens und die hohen an der Ostküste des Jonischen Meeres und an der Südküste der Krym.

Durch die Ausgleichsrechnung bedingt sind wohl die verschiedenen Differenzen zwischen den beobachteten und berechneten Temperaturen in Rußland. So finden sich in der ersteren Tabelle zu beiden Seiten der Normaltemperatur in 50° N, 35° E einen halben Grad übersteigende entgegengesetzte Differenzen, obschon sich die Werte auf klimatisch einförmiges Flachland beziehen, und für den westlichen Nachbarpunkt (50° N, 30° E) weichen die Resultate der beiden Berechnungen in entgegengesetztem Sinne um einen halben Grad von der Beobachtung ab. Hier besagen die Abweichungen nur, daß die Zunahme der Winterkälte gegen Osten im kontinentalen Flachlandsklima durch meine Formel noch nicht genau dargestellt wird. Die positiven Fehler der Temperaturberechnung

für das Gebiet des nördlichen Kaspi- und des Aralsees könnte man dahin deuten, daß im zweiten variablen Formelgliede eine Verringerung der temperaturmildernden Wirkung von Wasserflächen mit zunehmender Ozeanferne derselben nicht berücksichtigt ist.

Daß meine Formel der einfachste klare Ausdruck für die durch sie darzustellende thermogeographische Beziehung ist, scheint mir aber, obschon es die Wiedergabe von Details ausschließt, doch auch für ihre Bewertung günstig zu sein.

Im Sinne von Fritsche,¹ welcher die Ergebnisse von Madsen's² bedeutsamen thermogeographischen Studien Stückwerk nannte, würde meiner Arbeit wohl noch mehr diese Bezeichnung beizulegen sein. Der Klimatologe wird aber doch in Fritsche's schon als rechnerische Leistung hervorragenden Reihenentwicklungen noch nicht die Erfüllung seiner letzten Wünsche in Bezug auf Analyse der Wärmeverteilung auf der Erdoberfläche sehen. Er wünscht auch eine Klarstellung der Relationen zwischen der Temperatur und Festlandsverteilung.

Die Forbes'sche³ Formel und die neue, sehr wertvolle Formel von Spitaler,⁴ welche es gestattet, außer der mittleren Jahrestemperatur auch die Monatstemperaturen der Parallelkreise, und zwar für verschiedene Werte der Ekliptik zu berechnen, sind beide aber auch noch keine vollständigen und ganz befriedigenden Lösungen des Problems der geographischen Temperaturanalyse. Ein Blick auf die Karten der Jahres-, Jänner- und Juliisothermen der Erdoberfläche zeigt, daß sich Untersuchungen von ähnlicher Art wie die meinigen auch noch für andere Erdgebiete würden durchführen lassen. Durch Vergleich der Ergebnisse solcher Einzelstudien könnte man dann

¹ Fritsche, Die Wärmeverteilung auf der Erdoberfläche im Meeresniveau. Riga 1909.

² G. J. Madsen, Thermogeographical Studies. General exposition of the analytical method applied to researches on temperature and climate. Copenhagen 1897.

³ J. D. Forbes, Inquiries about terrestrial temperature. Trans. R. S. Edinburgh, XXII.

⁴ J. Spitaler, Die jährlichen und periodischen Änderungen der Wärmeverteilung auf der Erdoberfläche und die Eiszeiten. Gerland's Beiträge, VIII.

betreffs der Darstellbarkeit der Lufttemperatur als Funktion der geographischen Länge, der geographischen Breite und der Land- und Wasserverteilung doch wohl zu einigen allgemein gültigen Erkenntnissen gelangen und es wäre dies von hohem Werte, wenn auch Fritsche dann von einem aus Stückwerk zusammengesetzten Flickwerk sprechen würde.

Paläoklimatologischer Teil.

Thermogeographische Synthese.

Die von mir gefundene Formel stellt die Wintertemperaturen in Europa als Funktion der Land- und Wasserverteilung in diesem Kontinent dar. Der Anteil, den am Aufbau dieser Temperaturen das solare Klima und die außerhalb unseres Erdteiles herrschenden geographischen Verhältnisse nehmen, ist in dieser Formel durch ein konstantes Glied vertreten. Die Formel ermöglicht es so, mit Bezug auf die jetzige Gestalt Europas jene Wärmeänderungen festzustellen, welche durch bestimmte positive oder negative Strandverschiebungen daselbst erzeugt würden. Ein Untertauchen der Niederungen müßte das Winterklima besonders in Osteuropa merklich mildern, ein Emporsteigen des Kontinents, durch das die Nord- und Ostsee trockengelegt würden, zöge eine winterliche Temperaturabnahme in Nordwesteuropa nach sich (abgesehen von der hier außer Betracht bleibenden Verschärfung der Winterkälte wegen der Zunahme der Seehöhe).

In ihrer Anwendung auf paläogeographische Rekonstruktionen gestattet es die Formel — mit der diesen Darstellungen anhaftenden Unsicherheit — jene Abweichungen von der jetzigen winterlichen Temperaturverteilung (im Meeresniveau) abzuschätzen, welche in früheren Perioden allein infolge einer anderen Konfiguration Europas daselbst vorhanden waren. Für die jüngsten Abschnitte der Erdgeschichte, in welchen die Umrisse der anderen Kontinente in ihren Hauptzügen schon den heutigen glichen, läßt sich mit der Formel für Europa die ganze morphogene Temperaturabweichung von der Jetztzeit beurteilen. Es gilt dies für das mittlere und jüngere Tertiär und für die Diluvialperiode. Für das Paläogen und für die früheren

Epochen führt meine Formel nur zur Kenntnis der stenomorphogenen Klimakomponente.

Eurymorphogene Abweichungen von den heutigen Wintertemperaturen in Europa können in meiner Formel nur soweit zum Ausdruck kommen, als sie auf einer Wärmeänderung des Golfstromes beruhen. Sie ließen sich durch Hinzufügung einer positiven oder negativen Größe zum konstanten Formelgliede aber nur für einzelne bestimmt umschriebene Umrißänderungen des atlantischen Beckens darstellen. Für das ältere Tertiär reicht dies aus, sofern man die Rekonstruktionen von Matthew zugrunde legt, da es sich dann nur um die Annahme kleiner, klimatologisch allerdings bedeutsamer Formänderungen handelt.

Um für jene Weltbilder des Alttertiärs, die eine von der heutigen sehr abweichende Gestalt des nordatlantischen Ozeans zeigen, und für die Rekonstruktionen der früheren Epochen, in denen überdies die im Paläogen der heutigen fast gleichende Gestalt der südhemisphärischen Kontinente eine andere war, die thermische Beeinflussung Europas durch seine westliche Nachbarschaft zu ermitteln, müßte man die Golftriftwärme westlich von Europa als Funktion der nordatlantischen und der allgemeinen Land- und Wasserverteilung darstellen können. Es wäre dies ein innerhalb gewisser Grenzen vielleicht lösbares, wohl aber schwieriges Problem. Es würde aber nicht genügen, das erste Formelglied zu ändern; bei einer von der heutigen sehr abweichenden Temperatur auf den ostatlantischen Meridianen fände auch die in den konstanten Faktoren der variablen Formelglieder zum Ausdruck kommende thermische Fernwirkung auf das benachbarte Europa in anderer Weise statt.

Für das Protocän gelangte man durch Einführung eines Zusatzwertes zum konstanten Formelgliede zur Kenntnis der gesamten morphogenen Klimakomponente. Für das Europa des Eocäns und Oligocäns schuf die Verbindung des östlichen Mittelmeeres mit dem Indischen Ozean aber noch eine östliche Wärmequelle. Der Einfluß der alttertiären indischen Meeresströmung auf das thermische Klima von Europa war unabhängig von der Wärmewirkung der Golftrift und bleibt noch eine unbekannte Größe. Man müßte ihn erst durch eine eigene Formel finden, die auf ähnlichen Annahmen wie meine Golf-

trifftformel fußend, doch wegen der sehr abweichenden klimatischen Sachlage einen anderen Bau erheischen würde. Bei der eingangs betonten Unzulänglichkeit der bisherigen bezüglichen Erfahrungen darf es aber auch in der Klimatologie des Alttertiärs als Fortschritt angesehen werden, wenn sich nun wenigstens ein Teil der morphogenen Klimakomponente ziffermäßig schätzen läßt.

Stets muß man im Auge behalten, daß man nicht die Temperaturen in vergangenen Zeiträumen, sondern nur die den hypothetischen Kartenbildern der Vorzeit entsprechenden Wärmewerte ermitteln kann. Doch scheint es nicht am Platze, diesen Umstand besonders zu betonen. Wohl gibt es geothermische Werte, die ganz unabhängig davon, ob die ihnen entsprechende Land- und Wasserverteilung jemals auf der Erde geherrscht hat, von großem Interesse sind; so die Temperaturen auf einer Land- und Wasserholosphäre, die Temperaturen auf einer bis zum 45. Parallel mit Land und darüber hinaus mit Wasser, beziehungsweise umgekehrt bedeckten Erdoberfläche. Hier handelt es sich aber um einfachste Oberflächenbilder. Die aus regelloser Umgestaltung eines einzelnen Erdgebietes sich ergebende Wärmeänderung wird man aber doch nur dann genauer zu bestimmen versucht sein, wenn diese Umgestaltung nicht bloß der zurzeit bestmöglichen Rekonstruktion entspricht, sondern einem tatsächlich vorhanden gewesenen Erdbilde sich einigermaßen nähert.

Wenn es Fälle gibt, in denen diese Voraussetzung zutrifft, so sind es wohl aus den jedem Geologen bekannten Gründen die Rekonstruktionen Europas für das Tertiär. Doch dürfte selbst bei diesen die im Wesen aller Vorzeitkarten gelegene Unsicherheit noch größer oder wenigstens so groß sein, als die aus der Divergenz der Auffassungen der Paläogeographen entspringende Ungleichheit der Darstellung. Die Wahl der Rekonstruktion als Grundlage für die thermogeographische Synthese dürfte so für den Paläoklimatologen von untergeordneter Bedeutung sein. Wenn meine Wahl auf Matthew's Karten¹ fiel,

¹ W. D. Matthew, *Hypothetical Outlines of the Continents in tertiary times* (Bull. Am. Mus. of Nat. Hist., XXII, New York 1906).

obschon es ja zahlreiche, von europäischen Gelehrten stammende Darstellungen der Umriss unseres Kontinents zur Tertiärzeit gibt,¹ so spielte hier der Umstand mit, daß Matthew eine nach einheitlichen Gesichtspunkten entworfene Reihe von Kartenbildern für alle Hauptabschnitte der Tertiärzeit brachte. Auch lag es für mich nahe, mich auf die Karten von Matthew zu stützen, da ich sie schon wegen ihrer diesfälligen Eignung zur Grundlage für meine Studien über die arktischen Tertiärklimate² gewählt hatte.

Die einmal gewählte Grundlage muß man aber dann bei der thermogeographischen Synthese mit verhältnismäßiger Genauigkeit benutzen, indem man ihr die Landbedeckungen in Prozenten entnimmt. Es wäre wohl ein müßiges Beginnen, die Flächeninhalte vorweltlicher Länder in Quadratmeilen auszumessen; man würde aber auch sein Ziel verfehlen, wollte man im Hinblick auf die Unsicherheit selbst der besten Rekonstruktionen schon stark abgerundete Werte der Landbedeckung der Rechnung zugrunde legen. Die paläogeographischen Darstellungen als sehr unsicher bezeichnen und eine relativ genaue Anlehnung an dieselben bei der Temperatursynthese fordern, würde nur dann ein Widerspruch sein, wenn man schon bestimmte Schlüsse auf die Vorzeittemperaturen ziehen wollte.

Es handelt sich aber jetzt bei Studien über vorweltliche Wärmeverteilung nicht um rohe Annäherung an die historische Wirklichkeit, sondern um die Feststellung bestimmter möglicher Fälle der Vergangenheit. Dieses Forschungsziel erheischt es, bei Verwendung einer Formel zur paläothermalen Synthese sich betreffs der einzusetzenden Werte der Landbedeckung innerhalb jener Genauigkeitsgrenzen zu halten, welche bei der Analyse festgesetzt waren. Ebenso ist es am Platze, die durch die Formel gewinnbaren Paläotemperaturen mit jener Genauigkeit zu bestimmen und anzugeben, mit welcher die Jetztzeitemperaturen in die Bedingungsgleichungen eingesetzt wurden. Es hieße

¹ Neuere stammen von A. de Lapparent (1906), Th. Arldt (1907) und F. Kossmat (1908). Ältere von E. Koken, K. v. Zittel, Neumayr (Unteres Pliocän), Heer (Obere und untere Molasse), Saporta (mer nummulitique) u. a. m.

² Klimatogenetische Betrachtungen zu W. D. Matthews: Hypothetical outlines of the continents in tertiary times. Verh. d. Geolog. Reichsanstalt, 1910.

den mit der Synthese verfolgten Zweck verkennen, wollte man diese Temperaturen schon abgerundet mitteilen.

Aus Rekonstruktionen, welche nur andeuten sollen, wo Kontinente und wo Ozeane lagen, durch Abmessung der prozentischen Landbedeckung Schlüsse auf das Klima der betreffenden Epoche zu ziehen, habe ich jüngst selbst als ein kindliches Unterfangen bezeichnet.¹ Im vorliegenden Falle liegen die Dinge anders. Zunächst sind die Umrißzeichnungen des tertiären Europa doch anders zu bewerten als jene Vorzeitkarten, von denen Koken treffend sagte, daß sie mehr einen Gedankenkreis als ein Forschungsergebnis verkünden. Die Art, wie sich in unserem Erdteile die marinen Tertiärgebilde um ein älteres Festlandsgerüste schmiegen, ermöglicht es, hier über die Verteilung von Land und Meer zu bestimmteren Vorstellungen zu gelangen, obschon es auch für das Tertiär nicht statthaft ist, die Küstenlinien der Rand- und Binnenmeere den heutigen Verbreitungsgrenzen der marinen Sedimente genau nachzuziehen und die neueren Ideen über große Schichtenwanderungen auch dort, wo man alte Strandlinien erkennt, zur Fragestellung zwingen, ob nicht das Meeresufer in der Vorzeit in meilenweisem Abstände von jener Linie verlaufen sei und eine tektonische Strandverschiebung stattgefunden habe.

Dann handelt es sich, um dies nochmals zu betonen, darum, den Einfluß bestimmter möglicher Landgruppierungen der Vorzeit auf die Temperaturverteilung festzustellen und bei dieser Absteckung des Forschungszieles ergibt es sich von selbst, daß man diese Feststellung mit demselben Maße von Annäherung vornimmt, mit welchem man die Wärmeverteilung der Gegenwart als Funktion der jetzigen Landgruppierung darstellen konnte.

Aus diesem Grunde machte ich mich auch keines kindlichen Vorgehens in dem obigen Sinne schuldig, als ich bei der Bestimmung der der Neumayr'schen Jurakarte und den Weltkarten Frech's für das Silur und Devon entsprechenden Hemisphärentemperaturen die Landbedeckungen der Breitenkreise

¹ Das paläoklimatische Problem. Mitteil. der Geol. Ges. in Wien, II, 1911, p. 303.

in Prozenten ausmaß,¹ obschon es sich hier um Darstellungen handelte, auf die wohl Koken's Wort zutrifft. Würden wir das noch gesuchte Solarklima der Tertiärzeit schon kennen und so in der Lage sein, an die Bestimmung der in jener Zeit wirklich vorhanden gewesenen Temperaturen zu schreiten, so wäre es am Platze, die Landbedeckungen für Europa etwa auf Zehner von Prozenten und die Temperaturen auf ganze Grade abzurunden und dann würde die von mir befolgte Arbeitsweise allerdings nichts anderes bedeuten als wie nicht vorhandene Genauigkeit sich vortäuschen.

Die von Matthew gezeichneten Verteilungen von Land und Meer beziehen sich nicht auf gleich lange Zeitspannen und den Zeiträumen, innerhalb welcher sich die Umwandlung je eines dieser Kartenbilder in das nächstfolgende vollzog, kommt eine verschiedene Dauer zu. Die älteren Glieder der Reihe liegen zeitlich weiter auseinander als die jüngeren. Es ist wichtig, daran zu erinnern, falls jemand versucht wäre, den kombinierten Einfluß der hier nachzuweisenden morphogenen Wärmewechsel und supponierter solarklimatischer Rhythmen zu untersuchen.

Synthese der stenomorphogenen Winterklimate Europas zur Tertiärzeit.

Die folgende Tabelle VI enthält die aus sehr vergrößerten Nachzeichnungen der auf Europa bezüglichen Teile der Matthew'schen Weltkarten nach dem oben angegebenen Verfahren gewonnenen Werte der Landbedeckungen der 5°-, 10°- und 20°-Felder. Einer mißverständlichen Auffassung dieser Tabelle glaube ich durch das vorhin Gesagte vorgebeugt zu haben. Aus jedem Zusammenhang gerissen betrachtet, mag sie manchem, der die Linienziehungen der Paläogeographen für sehr unsicher hält, ein Lächeln abringen. Im Rahmen meiner Darlegungen hat sie volle Berechtigung.

¹ Eine paläoklimatologische Studie. Diese Sitzungsber., April 1895, und: Die theoretische Temperaturverteilung auf Prof. Frech's Weltkarten der altpaläozoischen Zeit. Diese Sitzungsber., März 1899.

Die nächstfolgende Tabelle VII bringt die durch Einsetzung der Werte der vorigen sich aus meiner Formel ergebenden morphogenen Wintertemperaturen Europas zur Tertiärzeit und zur älteren Quartärzeit. Für die drei ersten Zeitabschnitte: Postcretaceous, Mitteleocän und Mitteloligocän, sind es nur stenomorphogene, für die drei letzten Abschnitte: Miocän, Pliocän und Frühpleistocän, zugleich auch eurymorphogene Temperaturen.

Die an dritter Stelle kommende Tabelle VIII enthält die Differenzen zwischen diesen paläothermalen Werten und den heutigen Wintertemperaturen. Diese Differenzen stellen für das Mio-, Plio- und Pleistocän die gesamte winterliche Temperaturabweichung von der Gegenwart dar, welche aus der geänderten Festlandsverteilung resultiert. Für die paläogenen Zeitabschnitte repräsentieren sie jenes Maß von Temperaturunterschied gegen die Jetztzeit, welches auf Rechnung der geänderten Festlandsverteilung in Europa kommt.

Tafel I stellt die auf Grund der berechneten Temperaturen gezeichneten stenomorphogenen und eurymorphogenen Winterisothermen Europas zur Tertiärzeit dar.

Tafel II zeigt die räumliche Verteilung der morphogenen Wärmedifferenzen zwischen den einzelnen Abschnitten der Tertiärzeit und der Gegenwart. Da die jetzigen Temperaturen in Europa keineswegs dem Begriffe von Normaltemperaturen entsprechen, schiebt es sich wohl nicht, diese Differenzen als thermische Anomalien und die Linien gleich großen Wertes derselben als Isanomalien zu bezeichnen. Ich möchte diese Differenzen zwischen den Paläotemperaturen und den Wärmegraden der Jetztzeit als morphogene Diakrinen (Abweichungen) und die Linien gleich hohen Betrages derselben als morphogene Isodiakrinen einführen.

Statt Postcretaceous wurde der sprachlichen Gleichmäßigkeit halber der von Stache gewählte Name Protocän gebraucht. Als Ergänzung zu Tafel I bringt Fig. 2 noch eine Darstellung der Lage der 0°-Isotherme des Jänner in den verschiedenen Abschnitten des Tertiärs.

Tabelle VI.

Schluß.

Pliocän	5°-Felder					10°-Felder					20°-Felder					
	55°	50°	45°	40°	35°	55°	50°	45°	40°	35°	55°	50°	45°	40°	35°	
20° W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3	2	0	4	
15	0	0	0	0	0	10	6	1	1	0	19	20	17	14	23	
10	84	28	16	48	6	57	32	23	35	34	37	41	36	34	45	
5	h	78	28	98	70	95	67	58	71	76	43	52	51	53	66	
0	58	88	76	94	70	58	69	71	69	84	60	68	65	71	80	
5° E	8	88	48	26	78	46	67	73	56	77	70	71	64	71	77	
10	88	90	52	38	74	86	81	68	40	62	76	73	62	65	69	
15	h	h	60	28	28	h	93	73	32	39	93	86	69	63	65	
20	h	h	h	66	4	h	h	92	57	30	98	93	78	63	65	
25	h	h	h	h	h	36	h	h	h	88	41	h	98	89	70	69
30	h	h	h	h	h	52	h	h	h	h	98	57	h	97	80	78
35	h	h	h	h	h	66	h	h	h	h	79	h	h	h	88	86
40	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	95	h	h	h	95	93
45	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	99	98
50	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h
55	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	99
60	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	99
65	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	99
70	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	99

Pleistocän	5°-Felder					10°-Felder					20°-Felder					
	55°	50°	45°	40°	35°	55°	50°	45°	40°	35°	55°	50°	45°	40°	35°	
20° W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	5	5	0	4	
15	0	0	0	0	0	21	20	0	0	0	16	18	18	13	23	
10	60	12	8	30	2	57	41	17	32	36	34	39	36	31	44	
5	h	56	26	h	68	85	57	50	67	75	57	62	55	50	63	
0	h	96	16	70	68	98	86	77	62	72	76	80	70	70	80	
5° E	h	h	96	6	88	h	h	88	57	70	92	91	78	78	81	
10	h	h	h	42	98	h	h	89	65	75	99	96	82	78	78	
15	h	h	h	h	68	56	h	h	96	70	58	h	97	86	79	79
20	h	h	h	h	86	6	h	h	h	79	51	h	97	89	77	77
25	h	h	h	h	44	h	99	93	86	60	99	92	86	70	71	
30	h	h	40	80	32	h	94	70	71	59	96	86	83	71	74	
35	h	h	h	20	82	76	h	86	50	61	80	95	83	82	73	78
40	h	82	64	78	h	h	85	63	79	h	90	78	77	74	83	
45	h	56	96	h	h	97	72	66	90	99	78	66	62	69	84	
50	72	16	8	42	94	70	29	30	57	84	75	63	59	69	83	
55	40	20	60	26	98	61	30	29	43	80	75	64	59	69	83	
60	h	92	30	66	h	88	76	68	75	95	81	70	66	75	84	
65	h	h	h	h	h	h	97	92	96	h	94	89	88	91	93	
70	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	99	98	98	98	99	

Tabelle VII.

Stenomorphogene Jännertemperaturen in Europa im Tertiär
und Altquartär.

Protocän	55°	50°	45°	40°	35°
15° W	6·1	9·6	12·3	13·7	15·6
10	4·3	7·7	11·8	11·0	14·2
5	2·7	5·2	9·7	7·4	11·8
0	2·8	3·1	6·7	8·5	11·1
5° E	2·2	2·6	3·9	11·4	11·3
10	— 0·8	1·7	5·8	11·8	12·1
15	— 3·2	0·2	6·4	11·5	13·8
20	— 4·1	— 2·0	7·4	11·6	14·2
25	— 4·2	1·4	6·3	8·5	13·9
30	— 4·4	2·0	8·1	8·4	13·0
35	— 5·2	1·5	8·1	10·3	13·3
40	— 6·9	— 0·1	6·1	12·4	13·7
45	— 9·0	— 3·4	5·1	11·7	12·7
50	—10·6	— 6·4	4·1	9·5	10·6
55	—12·0	— 7·7	2·3	6·1	8·5
60	—14·3	—10·9	0·4	4·3	5·0

Eocän	55°	50°	45°	40°	35°
15° W	6·1	9·7	12·3	13·7	15·7
10	4·4	8·4	10·7	11·3	15·2
5	2·6	5·9	8·5	9·3	13·8
0	2·4	4·0	4·9	9·9	13·2
5° E	0·4	2·7	4·7	9·0	14·1
10	— 1·4	2·0	8·2	11·2	14·7
15	— 3·0	1·6	9·3	13·0	14·9
20	— 3·6	1·6	7·5	11·6	14·8
25	— 4·1	0·9	7·0	8·7	14·0
30	— 4·4	0·6	8·9	10·4	13·7
35	— 4·1	2·1	10·5	13·1	14·5
40	— 4·8	2·2	11·2	13·7	14·9
45	— 6·0	0·1	10·2	13·3	15·0
50	— 8·4	— 1·8	7·7	12·8	15·6
55	— 7·2	— 2·7	5·2	12·7	15·8
60	— 2·7	0·8	7·4	12·6	15·8

Tabelle VII.

Fortsetzung.

Oligocän	55°	50°	45°	40°	35°
15° W	6·1	9·6	12·3	13·7	15·7
10	4·2	7·5	10·4	11·4	14·3
5	2·4	5·3	7·6	7·5	11·5
0	1·5	3·4	4·5	7·6	10·3
5° E	1·4	3·3	4·5	9·8	10·0
10	0·9	4·4	7·8	10·4	12·1
15	0·2	4·3	9·3	12·5	14·2
20	— 0·7	4·0	8·5	12·2	14·7
25	— 1·3	2·6	6·8	9·7	14·7
30	— 2·1	3·1	8·0	11·6	14·5
35	— 2·6	4·0	10·6	12·8	14·6
40	— 2·7	4·2	10·6	12·9	14·8
45	— 4·8	2·8	9·3	10·9	14·6
50	— 7·4	— 0·1	9·1	12·2	14·8
55	— 9·6	— 2·8	7·9	12·8	14·9
60	— 7·6	— 1·0	7·5	11·7	14·6

Miocän	55°	50°	45°	40°	35°
15° W	6·2	9·8	12·3	13·7	15·3
10	4·8	8·4	11·4	11·2	12·6
5	2·7	5·9	8·7	8·2	10·8
0	2·6	4·1	5·6	9·7	11·4
5° E	2·4	3·2	7·5	11·6	11·1
10	— 0·1	2·9	7·3	11·9	11·3
15	— 2·6	1·8	6·6	11·3	12·5
20	— 4·0	0·3	5·0	8·9	12·5
25	— 4·7	— 0·8	4·5	6·8	11·6
30	— 5·7	— 2·0	3·9	6·1	11·3
35	— 6·6	— 3·0	2·4	6·4	10·7
40	— 8·0	— 4·7	1·0	7·1	9·1
45	— 10·1	— 6·5	1·0	6·2	7·6
50	— 12·1	— 9·9	— 0·2	3·7	6·7
55	— 14·4	— 12·7	— 4·7	1·5	—
60	— 16·3	— 15·4	— 9·1	— 1·3	—

Tabelle VII.

Schluß.

Pliocän .	55°	50°	45°	40°	35°
15° W	6·0	9·6	12·3	13·7	15·6
10	3·6	7·7	10·4	10·8	14·2
5	2·1	5·0	7·9	7·5	11·0
0	2·1	3·1	4·6	6·8	9·9
5° E	1·7	1·9	4·9	8·9	9·5
10	— 1·4	0·4	4·4	8·8	9·7
15	— 4·1	— 2·4	2·8	9·0	11·0
20	— 5·8	— 4·6	— 0·7	6·1	11·3
25	— 7·3	— 6·6	— 2·9	3·8	9·6
30	— 8·6	— 8·3	— 4·6	2·3	7·8
35	— 9·9	— 9·8	— 6·0	1·1	5·8
40	—11·2	—11·2	— 7·1	0·0	3·4
45	—12·5	—12·7	— 8·1	— 1·0	2·2
50	—13·8	—14·1	— 9·1	— 1·8	1·3
55	—14·1	—15·6	—10·2	— 2·5	—
60	—16·5	—17·0	—11·2	— 3·1	—

Pleistocän	55°	50°	45°	40°	35°
15° W	5·9	9·4	12·3	13·7	15·6
10	4·0	7·9	10·9	11·5	14·3
5	1·9	5·2	8·1	7·6	11·1
0	0·2	1·9	6·3	7·8	10·3
5° E	— 1·6	— 0·4	2·0	9·2	9·2
10	— 3·3	— 2·2	0·7	7·3	8·4
15	— 4·7	— 3·6	— 0·7	5·8	9·2
20	— 6·0	— 5·1	— 1·9	4·6	10·1
25	— 7·2	— 5·8	— 2·4	3·8	8·9
30	— 8·1	— 6·2	0·0	4·4	8·5
35	— 9·2	— 6·8	0·6	4·0	6·1
40	— 9·8	— 6·7	— 1·6	3·0	4·1
45	— 9·0	— 4·0	— 1·6	1·9	3·5
50	— 8·7	— 3·6	2·6	4·3	3·5
55	— 9·1	— 4·9	0·2	4·7	—
60	—12·5	— 9·4	— 2·0	1·4	—

Tabelle VIII.

Stenomorphogene Diakrinen des Jänner in Europa im Tertiär
und Altquartär.

Protocän	55°	50°	45°	40°	35°
15° W	— 0·1	— 0·4	+ 0·3	+ 0·4	+ 0·4
10	— 1·3	— 0·7	+ 0·6	— 0·3	0·0
5	— 1·4	— 1·5	+ 0·2	— 0·9	+ 0·2
0	0·0	— 0·9	+ 1·9	— 0·5	+ 1·1
5° E	0·0	0·0	+ 0·6	+ 0·3	+ 1·9
10	— 0·7	+ 1·1	+ 3·3	+ 2·4	+ 1·9
15	— 3·3	+ 1·4	+ 2·9	+ 3·1	+ 1·6
20	— 2·1	+ 2·3	+ 7·8	+ 3·4	+ 2·2
25	+ 1·4	+ 5·4	+ 8·1	+ 3·5	+ 2·9
30	+ 3·9	+ 7·3	+ 9·1	+ 3·2	+ 3·2
35	+ 4·8	+ 8·8	+ 6·4	+ 6·5	+ 1·3
40	+ 4·1	+ 9·2	+ 8·8	+ 10·4	+ 2·9
45	+ 3·0	+ 7·2	+ 10·1	+ 11·7	+ 4·3
50	+ 2·6	+ 5·0	+ 8·6	+ 6·7	+ 2·2
55	+ 2·4	+ 5·6	+ 8·3	+ 4·5	— 0·5
60	+ 1·4	+ 4·8	+ 9·4	+ 5·3	— 3·0

Eocän	55°	50°	45°	40°	35°
15° W	— 0·1	— 0·3	+ 0·3	+ 0·4	+ 0·5
10	— 1·2	0·0	— 0·5	0·0	+ 1·0
5	— 1·5	— 0·8	— 1·0	+ 1·0	+ 2·2
0	— 0·4	0·0	+ 0·1	+ 0·9	+ 3·2
5° E	— 1·8	+ 0·1	+ 1·4	— 2·1	+ 4·7
10	— 1·3	+ 1·4	+ 5·7	+ 1·8	+ 4·5
15	— 3·1	+ 2·8	+ 5·8	+ 4·6	+ 2·7
20	— 1·6	+ 4·1	+ 7·9	+ 3·4	+ 2·8
25	+ 1·5	+ 4·9	+ 8·8	+ 3·7	+ 3·0
30	+ 3·9	+ 5·9	+ 9·9	+ 5·2	+ 3·9
35	+ 5·9	+ 9·4	+ 8·8	+ 9·3	+ 2·5
40	+ 6·2	+ 11·5	+ 13·9	+ 11·7	+ 4·1
45	+ 6·0	+ 10·7	+ 15·2	+ 13·3	+ 6·6
50	+ 4·8	+ 9·6	+ 12·2	+ 10·0	+ 7·2
55	+ 7·2	+ 10·6	+ 11·2	+ 11·1	+ 6·8
60	+ 13·0	+ 16·5	+ 16·4	+ 13·6	+ 7·8

Tabelle VIII.

Fortsetzung.

Oligocän	55°	50°	45°	40°	35°
15° W	— 0·1	— 0·4	+ 0·3	+ 0·4	+ 0·5
10	— 1·4	— 0·9	— 0·8	+ 0·1	+ 0·1
5	— 1·7	— 1·4	— 1·9	— 0·8	— 0·1
0	— 1·3	— 0·6	— 0·3	— 1·4	+ 0·3
5° E	— 0·8	+ 0·7	+ 1·2	— 1·3	+ 0·6
10	+ 1·0	+ 3·8	+ 5·3	+ 1·0	+ 1·9
15	+ 0·1	+ 5·5	+ 5·8	+ 4·1	+ 2·0
20	+ 1·3	+ 6·5	+ 8·9	+ 4·0	+ 2·7
25	+ 4·3	+ 6·6	+ 8·6	+ 4·7	+ 3·7
30	+ 6·2	+ 8·4	+ 9·0	+ 6·4	+ 4·7
35	+ 7·4	+11·3	+12·3	+ 9·0	+ 2·6
40	+ 8·3	+13·5	+13·3	+10·9	+ 4·0
45	+ 7·2	+13·4	+14·3	+10·9	+ 6·2
50	+ 5·8	+11·3	+13·6	+ 9·4	+ 6·4
55	+ 4·8	+10·5	+13·9	+11·2	+ 5·9
60	+ 8·1	+14·7	+16·5	+12·7	+ 6·6

Miocän	55°	50°	45°	40°	35°
15° W	0·0	— 0·2	+ 0·3	+ 0·4	+ 0·1
10	— 0·8	0·0	+ 0·2	— 0·1	— 1·6
5	— 1·4	— 0·8	— 0·8	— 0·1	— 0·8
0	— 0·2	+ 0·1	+ 0·8	+ 0·7	+ 1·4
5° E	+ 0·2	+ 0·6	+ 4·2	+ 0·5	+ 1·7
10	0·0	+ 2·3	+ 4·8	+ 2·5	+ 1·1
15	— 2·7	+ 3·0	+ 3·1	+ 2·9	+ 0·3
20	— 2·0	+ 2·8	+ 5·4	+ 0·7	+ 0·5
25	+ 0·9	+ 3·2	+ 6·3	+ 1·8	+ 0·6
30	+ 2·6	+ 3·3	+ 4·9	+ 0·9	+ 1·5
35	+ 3·4	+ 4·3	+ 0·7	+ 2·6	— 1·3
40	+ 3·0	+ 4·6	+ 3·7	+ 5·1	— 1·7
45	+ 1·9	+ 4·1	+ 6·0	+ 6·2	— 0·8
50	+ 1·1	+ 1·5	+ 4·3	+ 0·9	— 1·7
55	0·0	+ 0·6	+ 1·3	— 0·1	—
60	— 0·6	+ 0·3	— 0·1	— 0·3	—

Tabelle VIII.

Schluß.

Pliocän	55°	50°	45°	40°	35°
15° W	— 0·2	— 0·4	+ 0·3	+ 0·4	+ 0·4
10	— 2·0	— 0·7	— 0·8	— 0·5	0·0
5	— 2·0	— 1·7	— 1·6	— 0·8	— 0·6
0	— 0·7	— 0·9	— 0·2	— 2·2	— 0·1
5° E	— 0·5	— 0·7	+ 1·6	— 2·2	+ 0·1
10	— 1·3	— 0·2	+ 1·9	— 0·6	— 0·5
15	— 4·2	— 1·2	— 0·7	+ 0·6	— 1·2
20	— 3·8	— 2·1	— 0·3	— 2·1	— 0·7
25	— 1·7	— 2·6	— 1·1	— 1·2	— 1·4
30	— 0·3	— 3·0	— 3·6	— 2·9	— 2·0
35	+ 0·1	— 2·5	— 7·7	— 2·7	— 6·2
40	— 0·2	— 1·9	— 4·4	— 2·0	— 7·4
45	— 0·5	— 2·1	— 3·1	— 1·0	— 6·2
50	— 0·6	— 2·7	— 4·6	— 4·6	— 7·1
55	+ 0·3	— 2·3	— 4·2	— 4·1	—
60	— 0·8	— 1·3	— 2·2	— 2·1	—

Pleistocän	55°	50°	45°	40°	35°
15° W	— 0·3	— 0·6	+ 0·3	+ 0·4	+ 0·4
10	— 1·6	— 0·5	— 0·3	+ 0·2	+ 0·1
5	— 2·2	— 1·5	— 1·4	— 0·7	— 0·5
0	— 2·6	— 2·1	+ 1·5	— 1·2	+ 0·3
5° E	— 3·8	— 3·0	— 1·3	— 1·9	— 0·2
10	— 3·2	— 2·8	— 1·8	— 2·1	— 1·8
15	— 4·8	— 2·4	— 4·2	— 2·6	— 3·0
20	— 4·0	— 2·6	— 1·5	— 3·6	— 1·9
25	— 1·6	— 1·8	— 0·6	— 1·2	— 2·1
30	+ 0·2	— 0·9	+ 1·0	— 0·8	— 1·3
35	+ 0·8	+ 0·5	— 1·1	+ 0·2	— 5·9
40	+ 1·2	+ 2·6	+ 1·1	+ 1·0	— 6·7
45	+ 3·0	+ 5·7	+ 3·4	+ 1·9	— 4·9
50	+ 4·5	+ 7·8	+ 7·1	+ 1·5	— 4·9
55	+ 5·3	+ 8·4	+ 6·2	+ 3·1	—
60	+ 3·2	+ 6·3	+ 7·0	+ 2·4	—

Die Mitteilung der Rechnungsergebnisse in Form von Tabellen und Kurven enthebt von der Notwendigkeit einer Darlegung durch Worte. Von einer solchen kann um so mehr Umgang genommen werden, als ja die Resultate in jener unbestimmten Fassung, welche durch die Wahl des Wortes als Ausdrucksmittel bedingt ist, gar nicht der rechnerischen Feststellung bedurften und schon aus der Betrachtung der Kartenbilder zu gewinnen waren, so das Resultat, daß sich für das

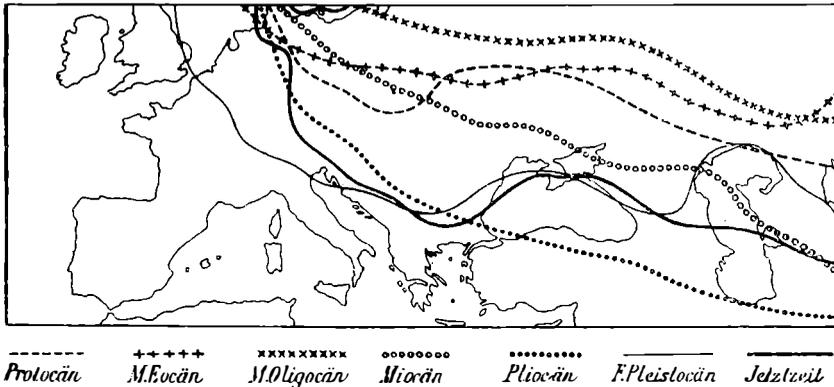


Fig. 2.

Lage der stenomorphogenen 0°-Isotherme des Jänner in der Tertiär- und Quartärzeit, bezogen auf die jetzige Landverteilung.

Gestrichelte Linie	0°-Isotherme im Protocän.
Linie aus aufrecht stehenden Kreuzchen	0°- » » Mitteleocän.
Linie aus diagonal gestellten Kreuzchen	0°- » » Mitteloligocän.
Linie aus Ringelchen	0°- » » Miocän.
Punktierte Linie	0°- » » Pliocän.
Dünn ausgezogene Linie	0°- » » Frühpleistocän.
Dick ausgezogene Linie	0°- » in der Jetztzeit.

Paläogen für Westeuropa wegen der relativ bedeutenden Landentwicklung den heutigen ganz ähnliche, für Osteuropa infolge der weiten Ausdehnung des Meeres bedeutend höhere, für das Pliocän dagegen wegen der großen Einengung des Mittelmeeres niedrigere stenomorphogene Wintertemperaturen als für die Jetztzeit ergeben.

Dagegen erscheint es am Platze, noch eine Zusammenstellung jener Zahlenwerte zu geben, welche man, wenn eine

größere Anzahl differenter Temperaturen mitgeteilt wird, stets zu wissen wünscht, die Extreme, die Amplituden und den Mittelwert. In der folgenden Tabelle sind für das Bogenstück von 15° W bis 60° E für die einzelnen Breitengrade die niedrigste Temperatur (m), ihre Differenz gegen die Anfangstemperatur in 20° W (D), die mittlere Temperatur (M) und deren Abweichung von der jetzigen (A) angeführt. Die Anfügung der berechneten und beobachteten Werte für die Jetztzeit läßt erkennen, daß die Unterschiede zwischen den paläoklimatischen und den jetzigen Werten durchschnittlich viel größer als die Fehler der Berechnung sind. Im Anschlusse folgt noch eine Zusammenstellung der größten positiven (d) und negativen (d') Abweichungen der paläothermalen Werte von den heutigen. Für das Eocän ist am 35. Parallel auch die niedrigste Temperatur noch etwas höher, für das Pliocän am 50. Breitenkreis auch die höchste Temperatur noch ein wenig niedriger als die jetzige in dem betreffenden Meridian. Endlich sind noch jene extremen und mittleren Temperaturen angeführt, welche sich für das gesamte in Betracht gezogene Flächenstück ergeben; die tiefste Temperatur (m), ihre Differenz gegen die höchste Anfangstemperatur in 20° W und 35° N (D), das Gesamtmittel (M), dessen Abweichung vom heutigen (A) und die extremen Abweichungen von den heutigen Temperaturen (d) und (d').

m	55°	50°	45°	40°	35°
Protocän	— 14·3	— 10·9	0·4	4·3	5·0
Eocän	— 8·4	— 2·7	4·7	8·7	13·2
Oligocän	— 9·6	— 2·8	4·5	7·5	10·0
Miocän	— 16·3	— 15·4	— 9·1	— 1·3	6·7
Pliocän	— 16·5	— 17·0	— 11·2	— 3·1	1·3
Pleistocän	— 12·5	— 9·4	— 2·4	1·4	3·5
Jetztzeit ber.	— 15·9	— 15·3	— 8·4	— 1·9	—
Jetztzeit beob.	— 15·7	— 15·7	— 9·0	— 1·0	—

<i>D</i>	55°	50°	45°	40°	35°
Protocän	20·5	20·9	12·9	18·1	10·8
Eocän	14·6	12·7	7·8	5·1	2·6
Oligocän	15·8	12·8	8·0	6·3	5·8
Miocän	22·5	25·4	21·6	15·1	9·1
Pliocän	22·7	27·0	23·7	16·9	14·5
Pleistocän	18·7	19·4	14·9	12·4	12·3
Jetztzeit ber.	22·1	25·3	20·9	15·7	—
Jetztzeit beob.	21·9	25·7	21·5	14·8	—

<i>M</i>	55°	50°	45°	40°	35°
Protocän	— 3·5	0·3	6·5	9·9	12·3
Eocän	— 2·4	2·2	8·3	11·5	14·7
Oligocän	— 1·4	3·4	8·3	11·1	13·7
Miocän	— 4·1	— 1·1	4·1	7·8	(10·5)
Pliocän	— 5·6	— 4·7	— 0·9	4·3	(7·6)
Pleistocän	— 4·9	— 2·4	1·9	5·8	(7·0)
Jetztzeit ber.	— 4·5	— 3·0	1·1	6·2	—
Jetztzeit beob.	— 4·4	— 3·0	1·2	6·1	—

<i>A</i>	55°	50°	45°	40°	35°
Protocän	+ 0·9	+ 3·3	+ 5·3	+ 3·8	—
Eocän	+ 2·0	+ 5·2	+ 7·1	+ 5·4	—
Oligocän	+ 3·0	+ 6·4	+ 7·1	+ 5·0	—
Miocän	+ 0·3	+ 1·9	+ 2·9	+ 1·7	—
Pliocän	— 1·2	— 1·7	— 2·1	— 1·8	—
Pleistocän	— 0·3	+ 0·6	+ 0·7	— 0·3	—
Jetztzeit ber.	— 0·1	0·0	— 0·1	+ 0·1	—
Jetztzeit beob.	0·0	0·0	0·0	0·0	—

	55°	50°	45°	40°	35°	
Protocän	d	+ 4·8	+ 9·2	+10·1	+11·7	+ 4·3
	d'	- 3·3	- 1·5	+ 0·2	- 0·9	- 3·0
Eocän	d	+13·0	+16·5	+16·4	+13·6	+ 7·8
	d'	- 3·1	- 0·8	- 1·0	- 2·1	+ 1·0
Oligocän	d	+ 8·3	+14·7	+16·5	+12·7	+ 6·6
	d'	- 1·7	- 1·4	- 1·9	- 1·4	- 0·1
Miocän	d	+ 3·4	+ 4·6	+ 6·0	+ 6·2	+ 1·5
	d'	- 2·7	- 0·8	- 0·8	- 0·3	- 1·7
Pliocän	d	+ 0·3	- 0·2	+ 1·9	+ 0·6	+ 0·4
	d'	- 4·2	- 3·0	- 7·7	- 4·6	- 7·4
Pleistocän	d	+ 5·3	+ 8·4	+ 7·1	+ 3·1	+ 0·4
	d'	- 4·8	- 3·0	- 1·5	- 3·6	- 6·7
Jetztzeit berechnet	d	+ 0·9	+ 0·8	+ 1·1	+ 1·6	—
	d'	- 1·9	- 0·6	- 1·9	- 1·1	—

	(m)	(D)	(M)	(A)	(d)	(d')
Protocän	-14·3	30·1	3·6	+ 3·7	+11·7	- 3·3
Eocän	- 8·4	24·2	5·4	+ 5·5	+16·5	- 3·1
Oligocän	- 9·6	25·4	5·8	+ 5·9	+16·5	- 1·9
Miocän	-16·3	32·1	1·9	+ 2·0	+ 6·2	- 2·7
Pliocän	-17·0	32·8	- 1·9	- 1·8	+ 1·9	- 7·7
Pleistocän	-12·5	28·3	0·2	+ 0·3	+ 8·4	- 6·7
Jetztzeit ber.	-15·9	31·7	- 0·1	0·0	+ 1·6	- 1·9
Jetztzeit beob.	-15·7	31·5	- 0·1	0·0	0·0	0·0

Das große Mißverhältnis zwischen den hier angeführten Minimis und Amplituden und den gewohnten Vorstellungen von einem gleichmäßig milden europäischen Winterklima im Tertiär sei Anlaß, nochmals zu betonen, daß es sich hier nicht

um eine Schätzung der Wärmezustände im Tertiär, sondern um eine genaue Bestimmung jener Wintertemperaturen handelte, welche bei Konstanz aller übrigen terrestrischen und solar-klimatischen Faktoren allein aus der geänderten Konfiguration Europas resultieren konnten. Die Grenzwerte und die Gesamtschwankung der Wintertemperatur beziehen sich auf das zwischen 15° W und 60° E gelegene Bogenstück der Zone von 55° N bis 35° N, die unter Bedachtnahme auf die polwärts stattfindende Verjüngung der Breitenkreise berechneten Mittelwerte auf das gleiche Bogenstück der Zone zwischen 55° N und 40° N.

Die eurymorphogene Komponente der europäischen Tertiärklimate.

Es kann nur versucht werden, den Einfluß einzelner, bestimmt umschriebener Änderungen der Küstenlinien außerhalb Europas auf das Klima dieses Erdteiles abzuschätzen. Zunächst kommt hier eine Umgestaltung der Ursprungsregion des Golfstromes, und zwar besonders der Nichtbestand der Halbinsel Florida in Betracht. Auf Matthew's Karten erscheint das jetzt von dieser Halbinsel eingenommene Gebiet im Protocän und im Mitteleocän ganz, im Mitteloligocän bis auf ein kleines Stück überflutet. Im Miocän war die für den Austritt der in den Golf von Mexiko hineingepreßten Wassermassen verfügbare Lücke an die Wurzel der Halbinsel versetzt. Nach einer von Krümmel angestellten einfachen Rechnung verhalten sich die im Floridastrome und die im Antillenstrome in der Zeiteinheit durchfließenden Wassermengen zueinander wie $1 : 2^{3/4}$, wenn man für erstere Größe einen Maximalwert, für letztere einen Minimalwert annimmt. Die thermische Folge einer Überflutung Floridas für Europa bestünde so darin, daß sich die Wärmeleistung des vierten oder fünften Teiles der Golftrift um einen der Geschwindigkeitsabnahme des verbreiterten Floridastromes entsprechenden Teilbetrag vermindern würde. Die Abnahme der dem europäischen Kontinent von Westen her zufließenden Gesamtwärme wäre sonach wohl eine geringe.

Zentralamerika erscheint auf Matthew's Karten im Mittel-eocän in den Landengen von Tehuantepec und Nicaragua, im Oligocän und Miocän in der Landenge von Panama überflutet. Die Wassermengen, welche dem mexikanischen Golfe und dem Caraibischen Meere durch diese Lücken entzogen und den die pazifische Küste in den beiden Jahreshälften in entgegengesetzter Richtung begleitenden Strömungen zugeführt würden, wären voraussichtlich gering. Von der Notwendigkeit, sich mit dem Einflusse einer Verlaufsänderung der nordamerikanischen Ostküste auf die Golftrift zu befassen, sieht man sich bei Zugrundelegung von Matthew's Karten betreffs des Paläogens enthoben, da dort der Küstenverlauf konform dem heutigen gezeichnet ist. Die für das Plio- und Pleistocän angenommene Emersion der Neufundlandbank würde die Vermischung des Golfstromes mit dem Labradorstrom weiter nach Osten verlegen, im übrigen aber nicht viel ändern.

Die unter dem Schutze einer nordatlantischen Landbrücke sich entwickelnde Wintertemperatur des Meerwassers vor der Westküste Frankreichs wäre nach der von Semper angestellten einfachen Rechnung $21\cdot0^{\circ}$. Als Jännertemperatur des Wassers in 45° N, 20° W v. G. ergibt sich aus den November- und Februarisothermen der Meeresoberfläche im Atlas des Atlantischen Ozeans durch Interpolation $13\cdot5^{\circ}$, d. i. um $1\cdot0^{\circ}$ mehr, als die dortige gleichzeitige Luftwärme beträgt. Hiernach wäre bei einer geschlossenen Landbrücke die Jännertemperatur der Luft an jenem Punkte $20\cdot0^{\circ}$. Bei einer zwischen Norwegen und Island unterbrochenen Landbrücke käme auch die vorige Temperatur zur Geltung, da der in diesem Falle kräftige kalte Strom auf der Ostseite Islands unter Führung der Nordmeerzyklone schon bald südlich von dieser Insel gegen Ost umbiegen und in die verlängerte Golftrift eindringen würde. Auch eine Öffnung der Dänemarkstraße zöge noch keine wesentliche Verringerung des von Semper für den 45. Parallel berechneten Temperaturzuwachses nach sich, da bei unwegsamer Davisstraße der Ostgrönlandstrom unter der Herrschaft des nordatlantischen Luftwirbels schon östlich von Labrador umböge und den Europa erst nordwärts vom 50. oder 55. Parallel erreichenden westlichen Teil des Golfstromfächers abkühlen würde.

Für die Frage, inwieweit sich auch ein Offensein der Davisstraße im Alttertiär für die Golftrifttemperatur weniger nachteilig als jetzt gestaltet hätte — da ja die Pflanzenfunde von Grinelland annehmen lassen, daß damals eine aus der Baffinsbay gekommene Meeresströmung nicht so viel Eisberge wie der heutige Labradorstrom gebracht hätte — ist hier aber kein Platz, denn diese Frage setzte schon ein erst zu erklärendes mildes arktisches Klima voraus.

Vielleicht liegt betreffs der Gestalt des nordatlantischen Beckens im Tertiär die Wahrheit zwischen der älteren Darstellung und der neuen Rekonstruktion von Matthew in der Mitte. Gegenüber Semper's Vorschlag, nur die Tertiärfloren Europas durch Warmwasserheizung, die arktischen Tertiärfloren aber durch ein kontinentales Polarklima mit warmen Sommern zu erklären, erscheinen Zweifel statthaft. Läßt man Änderungen des Solarklimas außer Spiel, so könnte es sonderbar dünken, warum Heer gerade das Wärmebedürfnis jener Pflanzen beträchtlich überschätzt haben sollte, bezüglich welcher eine solche Überschätzung zugunsten der späteren Semper'schen Annahme sprechen würde. Zieht man zur Erklärung der arktischen Tertiärfloren ein günstigeres Solarklima in Betracht, so würde man für Europa, dessen tropische und subtropische Paläogenfloren sich schon durch Warmwasserheizung erklären ließen, übermäßig hohe Temperaturen bekommen. Vielleicht streben die Rätsel der europäischen und arktischen Tertiärfloren (trotz der wohlbekanntem, zugunsten einer nordatlantischen Landbrücke sprechenden geologischen Momente) doch einer einheitlichen Lösung zu, welche in einer durch erhöhte Wärmezufuhr von Westen her und durch Wärmezufuhr von Osten her bedingten Steigerung der jetzigen positiven Wärmeanomalie im nordatlantischen Gebiet bestünde. Für das arktische Gebiet habe ich die hier möglichen Verhältnisse schon an anderem Orte¹ rechnerisch eingehend untersucht.

Um die unter dem Schutze einer nordatlantischen Landbrücke im tertiären Europa aufgetretenen Wintertemperaturen — zunächst ohne Rücksicht auf den Einfluß einer indischen Trift —

¹ Klimatogenetische Betrachtungen etc.

zu berechnen, wäre nach dem oben Gesagten zum konstanten Gliede meiner Formel für den 45. Parallel der Betrag von $7 \cdot 5^\circ$ zu addieren. Für den 40. und 35. Breitenkreis wäre der konstante Wärmezuwachs in 20° W etwas niedriger, für den 50. und 55. Parallel etwas höher zu bemessen. Bei einer bedeutenden Steigerung der Luftwärme in den mittleren Breiten im nordatlantischen Ozean würde aber auch die Weiterleitung der Wärme auf den Zyklonenbahnen in anderer Weise erfolgen und es müßten so auch die von der Landbedeckung unabhängigen Faktoren der variablen Formelglieder etwas geändert werden. In den subpolaren Breiten hätte eine Erhöhung der Golftrifttemperatur eine Vertiefung der winterlichen Luftwirbel zur Folge, die bei geringerer Höhe der Randgebirge im westlichen Teile Nordeuropas die Winterkälte mildern und die Niederschläge noch steigern würde. Es wäre möglich, daß Semper's Rechnung ein etwas zu hohes Resultat ergab. Sie war von der Annahme einer unmittelbaren Abhängigkeit der westeuropäischen Wintertemperaturen vom Floridaströme beeinflusst. Schreibt man sie ganz dem Antillenströme zu, wäre das Resultat um etwa $1 \cdot 0^\circ$ zu vermindern, da die Wassertemperatur in der Floridastraße im Winter um etwa so viel höher ist als in gleicher Breite außerhalb der Bahamainseln.

Den Einfluß der außerhalb des nordatlantischen Beckens vorhandenen Land- und Wasserverteilung auf die Golfstromtemperatur könnte man etwa in einfachster Weise durch das Verhältnis der Wasserbedeckungen der Tropengürtel beider Hemisphären ausdrücken. Die jetzige Golfstromwärme entspricht dem Verhältnisse Süd zu Nord = $1 \cdot 11$ zu 1. Für Matthew's Karten ergeben sich folgende Verhältniszahlen:

Protocän	Mittel-eocän	Mittel-oligocän	Miocän	Pliocän	Pleistocän
1·05	0·99	1·09	1·14	1·13	1·16

Soweit die Golftrifttemperaturen und hierdurch indirekt die Wintertemperaturen in Europa durch das Hinüberdrängen von Wasser aus dem südlichen in den nördlichen tropischen

Atlantik mitbedingt sind und dieser Vorgang von der größeren Stärke des Südostpassates infolge größerer Wasserbedeckung der südlichen Tropen abhängt, wären sonach die Verhältnisse im älteren Tertiär wegen der relativ größeren Ausdehnung des Nordindic weniger günstig als jetzt gewesen.

Betreffs des thermischen Einflusses der indischen Trift auf das paläogene Europa ist es schwer, über die schon seit langem zu Recht bestehenden, aber unbestimmten Vorstellungen zu klarer Erkenntnis aufzurücken, da hier die Gegenwart kein Analogon bietet, das als ausreichende Grundlage für eine rechnerische Problembehandlung in Betracht käme. Der einzige Fall, in welchem jetzt vom aufsteigenden Aste eines subtropischen Stromkreises Wasser in eine westwärts gelegene Ozeanbucht eindringen kann, ist der des chinesischen Meeres. Die dortige Situation ist aber derart, daß sie schon betreffs der Strömungsvorgänge keinen Rückschluß auf die Verhältnisse im paläogenen Mittelmeere gestattet und hinsichtlich der thermischen Wirkungen als Basis für Analogieschlüsse ganz versagt.

Die einfache Annahme Heer's, daß die Wärmewirkung der indischen Trift auf das Klima Mittel- und Südeuropas in der älteren Tertiärzeit im Winter $4 \cdot 0^{\circ}$ betragen habe, ist derzeit noch nicht durch eine bessere ersetzbar. Keinesfalls ließe sich die genannte Wirkung durch Zugabe dieses Betrages zum konstanten Gliede meiner Formel in ausreichender Weise darstellen. Der in das paläogene Mittelmeer von Osten her eingeflossene Strom hätte bei seinem Vordringen gegen Westeuropa eine Wärmeabnahme erfahren und das allmähliche Abflauen der direkten Wärmewirkung der indischen Trift auf die Luftwärme im südlichen insularen Europa müßte in ähnlicher Weise wie das Ausklingen der durch Zyklonen übertragenen Wärmewirkung der Golftrift durch ein von der Entfernung vom Meridian der maximalen Triftwärme abhängiges Formelglied zum Ausdruck kommen. Zur Beurteilung des Verlaufes der morphogenen Winterisothermen in dem nordwärts vom zentralen Mittelmeere gelegenen kontinentalen Europa der Paläogenzeit, westwärts von der zum arktischen Becken verlaufenen Meeresstraße, kämen die jetzt in gleicher Breite an

den Küsten Nordamerikas und Ostasiens herrschenden Verhältnisse in Betracht.

Was die Beziehung der Wasserbedeckungen zur direkten Wärmewirkung der indischen Trift anbelangt, so wäre hier wohl keine Proportionalität vorauszusetzen, wie sie in meiner Formel für die indirekte thermische Wirkung der Golftrift angenommen ist. Soweit Wasserflächen zufolge der ihnen in mittlerer geographischer Breitenlage selbst zukommenden Temperatur als Milderer der Winterkälte auftreten, wird diese ihre Wirkung im Verhältnisse zu ihrer Ausdehnung stehen. Soweit es sich aber um die Wärmewirkung solcher Wasserflächen infolge ihrer Mischung mit aus den Tropen kommenden höher erwärmten Wassermassen handelt, wird eher das umgekehrte Verhältnis platzgreifen. Während die berechneten stenomorphogenen Temperaturen für das Mitteloligocän zufolge der etwas größeren Ausdehnung des Mediterranmeeres ein wenig höher sind als jene für das Mitteleocän, dürfte — worauf ich schon einmal hinwies¹ — betreffs des auf den indischen Strom entfallenden Teiles der eurymorphogenen Komponente das umgekehrte der Fall sein. Da andererseits das Meer zwischen Afrika und Indien im Oligocän nach Matthew schmaler war als im Eocän, hätte im Oligocän eine kleinere Menge in den Tropen hoch erwärmten Wassers ein größeres außertropisches Becken heizen müssen. Es wäre wohl möglich, daß hier der eurymorphogene Einfluß den stenomorphogenen mehr als kompensiert hat und so der aus dem Florencharakter erschlossene Wärmeüberschuß des Eocäns über das Oligocän in Europa geographisch erklärbar ist.

Paläothermale Analyse.

Die Konstruktion von morphogenen Paläoisothermen, d. i. von Liniensystemen, welche jene Temperaturverteilungen darstellen, die in früheren Perioden beim heutigen Solarklima nur infolge der geänderten Festlandsverteilung geherrscht hätten, ist geeignet, das Problem der geologischen Klimate seiner Lösung näherzurücken. Als Ausgangspunkt für jeden Lösungs-

¹ Klimatogenetische Betrachtungen. p. 21.

versuch dieses Problems muß, wie ich dies kürzlich erörtert habe,¹ die Verknüpfung der Fossilien mit bestimmten Temperaturwerten genommen werden. Wenn man es im Hinblick auf die Möglichkeit oder Wahrscheinlichkeit großer erdgeschichtlicher Änderungen im Wärmebedarfe der Organismen von vornherein ablehnt, mit den Fossilien die Vorstellung von bestimmten Wärmewerten zu verbinden, so bleibt die Größe der zu erklärenden Temperaturdifferenz zwischen Gegenwart und Vorzeit völlig unbestimmt und so jeder Analyse unzugänglich. Die Paläobjologie ist aber derzeit nur imstande, Änderungen im Wärmebedarfe der Tiere und Pflanzen für möglich, wahrscheinlich oder sicher zu halten; sie kann aber noch nicht auf Grund bestimmter Anzeichen die Größe dieser Änderungen schätzen. So wäre es z. B. noch nicht möglich, diese Größe als Funktion des absoluten Alters der Fossilien darzustellen. Es ist nur die Vermutung statthaft, daß für die Organismen der Vorzeit die Wahrscheinlichkeit des Wärmebedarfes ihrer nächsten heutigen Verwandten mit steigendem geologischem Alter abnimmt, wobei noch zu bedenken ist, daß die Distanz zwischen den fossilen und den ihnen am nächsten stehenden heutigen Formen mit zunehmender Entfernung von der Gegenwart oft wächst. Man muß so die Änderung des Wärmebedarfes als Unbekannte in die Untersuchung einführen und von der Annahme ausgehen, daß die Organismen der Vorwelt dasselbe Wärmebedürfnis wie ihre nächsten jetzt lebenden Formen gehabt hätten. Die dieser Voraussetzung entsprechenden Temperaturen seien im folgenden als Orthotemperaturen bezeichnet.

Für jene Fossilien, für welche man von nächststehenden lebenden Formen nicht mehr sprechen kann, so für die Sigillarien, bleibt das Verlangen nach Feststellung solcher Orthotemperaturen freilich illusorisch. Dagegen gibt es unter den Bestandteilen der Tertiärfloren keine, für welche man nicht in der Pflanzenwelt der Jetztzeit Verwandte finden könnte. Heer,² dessen diesbezügliche Untersuchungen wohl noch heute unübertroffen sind, unterschied hier vier Verwandtschaftsgrade:

¹ Das paläoklimatische Problem. Mitteilungen der Wiener Geologischen Gesellschaft, II, 1911, p. 302.

² Flora tertiaria Helvetiae, p. 256.

1. Arten, welche mit jetzt lebenden in einem so nahen Verwandtschaftsverhältnisse stehen, daß letztere als direkte Nachkommen der ersteren aufgefaßt werden können; 2. Arten, für welche diese Annahme sehr wahrscheinlich zulässig ist; 3. Arten, welche in keinem so nahen und so entschieden nachweisbaren Verwandtschaftsverhältnisse zu heutigen stehen wie die vorigen; 4. Arten ohne nähere Verwandtschaft mit jetzt lebenden. Nur betreffs der an erster und zweiter Stelle genannten Arten erscheinen thermische Analogieschlüsse statthaft; Zugehörigkeit zur selben Gattung entscheidet oft betreffs des Wärmebedürfnisses noch nichts.

Bei der Wahl des Zahlenwertes, welcher auf Grund des Vergleiches mit der Gegenwart als Orthotemperatur der Fundstelle einer tertiären Flora anzunehmen ist, kommen verschiedene Momente in Betracht. Von den Mittelwerten und mittleren Extremen der Temperatur ist im vorliegenden Falle die Mitteltemperatur des kältesten Monates festzustellen. Zu einer erschöpfenden Untersuchung des geologischen Klimaproblems wäre aber auch die Bestimmung der morphogenen Komponente und der Orthothermen für das Jahresmittel der Luftwärme und für die Mittelwärme des wärmsten Monates, eventuell sogar für die mittleren Temperaturextreme angezeigt. Von den drei biologisch wichtigen unteren Grenzwerten der Wintertemperatur, jener, bis zu welcher die Pflanze noch gedeiht, aber keine Früchte ansetzt, jener, bis zu welcher sie noch Früchte und Samen ansetzt, sich aber nicht mehr fortpflanzt, und jener Temperatur, bis zu welcher sie keimfähige Samen erzeugt und sich vermehrt, ist die letztgenannte zu ermitteln.

In pflanzengeographischer Hinsicht fragt es sich, ob die mittlere oder die äußerste Verbreitungsgrenze -- soweit sie durch die Temperatur bedingt ist -- für den Vergleich bestimmend sein soll. Aus der Eurythermie mancher Organismen erwächst hier eine besondere Schwierigkeit. Endlich ist noch zu erwägen, ob man bei Schätzung der winterlichen Orthotemperatur der Fundstelle einer tertiären Flora das mittlere Wärmebedürfnis ihrer Bestandteile oder das derjenigen, welche das größte Wärmebedürfnis haben, in Betracht ziehen soll. Die Beantwortung der Frage, inwieweit die Verbreitungsgrenzen

der Gewächse nicht durch die Wärme bedingt sind, gestaltet sich besonders für die wildwachsenden Pflanzen schwierig; und ist man imstande, hier die thermische Komponente von der nicht thermischen abzuscheiden, so fragt es sich noch, inwieweit etwa auch in der Vorzeit die Pflanzenverbreitung nicht von der Wärme abhängig war. Vorsicht und nochmals Vorsicht in der Beurteilung des Wärmebedarfes fossiler Pflanzen empfahl schon Woeikof¹ in seinen treffenden diesbezüglichen Ausführungen. Will man aber angesichts der sich auftürmenden Schwierigkeiten überhaupt davon absehen, Orthotemperaturen festzustellen, so muß man auf eine bestimmte Lösung des paläothermalen Problems endgültig verzichten.

Der Unterschied zwischen diesen Orthotemperaturen und den Wärmewerten der Jetztzeit ist die zu erklärende paläothermale Differenz. Sie setzt sich aus einem morphogenen, hypsogenen, biologischen und solarklimatischen Anteile zusammen. Die ziffermäßige Schätzung der morphogenen Differenzwerte oder Diakrinen für das Europa der Tertiärzeit war Gegenstand dieser Abhandlung. Die hypsogene Teilkomponente könnte für das Alttertiär durch eine an der morphogenen anzubringende Korrektur berücksichtigt werden. Eine Verminderung um 1° würde der Annahme eines bis zu 400 m ansteigenden Hügellandes von 200 m Mittelhöhe entsprechen. Für die von der mitteltertiären Gebirgsaufrichtung stark betroffenen Gebiete Europas läßt sich die hypsogene Komponente aber nicht mehr schätzen.

Was die biologische Wärmedifferenz betrifft, so kann diese für das Altquartär und Jungtertiär wohl vernachlässigt werden; die auf Grund thermischer Analogieschlüsse festgestellten Wärmebedürfnisse entsprechen hier wohl nahe den wirklich vorhanden gewesenen. Für das schon weit zurückliegende Paläogen ist diese Annahme vielleicht nicht mehr statthaft. Die Warnungsrufe gegen zu enge thermische Analogieschlüsse sind allerdings mehr in bezug auf die Carbonflora erschallt, doch tritt eine Autorität wie Potonié neuerdings selbst betreffs der Carbonfarne für die Annahme eines tropischen Wärmebedarfes

1. Woeikof, Die Klimate der Erde, I, p. 256.

ein, was der Negierung einer biologischen Wärmedifferenz selbst noch für diese sehr weit zurückliegende Vergangenheit im wesentlichen gleichkommt.

Insoweit die biologische Wärmedifferenz vernachlässigt werden darf, ist der nach Abzug des (mit einer Höhenkorrektur versehenen) morphogenen Wärmeunterschiedes verbleibende Differenzrest zwischen der Orthotemperatur und der jetzigen Temperatur, beziehungsweise die Differenz zwischen der Orthotemperatur und der morphogenen Paläotemperatur auf Rechnung einer Änderung des Solarklimas zu setzen.

Sofern die Fundstellen von Floren einer Tertiärepoche nicht zu ungleichmäßig über ein großes Gebiet zerstreut sind, erschiene es möglich, die Verbreitungsweise der orthothermischen Werte kartographisch darzustellen, Isoorthothermen zu konstruieren. Zöge man von diesem Isothermenbilde das der morphogenen Paläoisothermen ab, so bekäme man ein Bild der räumlichen Verteilung jener Temperaturabweichungen von der Jetztzeit, welche nicht durch die geänderte Festlandsverteilung erklärt werden können. Dieses Bild ließe sich im Gegensatz zu dem der morphogenen Isodiakrinen (= morphogene Paläoisothermen—Jetztzeitisothermen) als das Bild der allogenen Isodiakrinen bezeichnen. Sofern in demselben eine Höhenkorrektur angebracht und die biologische Wärmedifferenz vernachlässigt werden könnte, würden diese Isodiakrinen zugleich Linien gleicher Abweichung des Solarklimas darstellen und hierdurch zu erkennen gestatten, von welcher Art der solarklimatische Faktor war, dessen Änderung diese Abweichungen bedingte.

Ergäbe sich die solarklimatische Differenz als konstant, so würde dies auf eine kosmische Ursache deuten; nähme sie in verschiedenen Meridianen in gleicher Weise mit der geographischen Breite zu oder ab, so wiese das auf eine Änderung in der Intensität der Sonnenstrahlung, in der Schiefe der Ekliptik oder in der Diathermansie der Atmosphäre. Ließe sich eine gleiche entgegengesetzte Änderung der Differenz in entgegengesetzten Meridianen erkennen, so spräche dies für eine Polverschiebung.¹ Würden sich die allogenen Diakrinen ganz

¹ Daß dagegen eine ohne Abzug der morphogenen Differenz gefundene entgegengesetzte Temperaturabweichung in gegenüberliegenden Meridianen noch

unregelmäßig mit der Länge und Breite ändern, so hätte man dagegen nicht an eine solarklimatische Ursache, sondern an große partielle Krustenverschiebungen und durch die Höhenkorrektur nicht kompensierte Gebirgsaufrichtungen zu denken.

Das hier Gesagte stellt einen Vorschlag zu sachgemäßer Ausgestaltung des von Heer unternommenen Versuches einer Erklärung der europäischen Tertiärklimate dar. Schon Heer erkannte, daß jeder Lösungsversuch dieses Problems eine ziffermäßige Schätzung der zu erklärenden Temperaturdifferenz zur notwendigen Voraussetzung habe.

Während Heer aber genaue thermische Analogieschlüsse überhaupt für zulässig zu halten schien, ist hier der Umweg gewählt worden. diese Zulässigkeit im wesentlichen als vom geologischen Alter abhängig zu betrachten und sie derart wenigstens für das Jungtertiär vorauszusetzen. Schon Heer versuchte ferner durch ziffermäßige Schätzung der morphogenen Wärmedifferenz und Anbringung einer Höhenkorrektur an derselben zu einem ziffermäßigen Ausdrucke für die solarklimatische Differenz zu kommen. Er beschränkte sich aber auf die Gewinnung je eines das Jahresmittel darstellenden Zahlenwertes dieser beiden Differenzen für sein Heimatland, obschon er zugleich örtliche Verschiedenheiten der mittleren Jahrestemperatur im tertiären Europa zu ziffermäßigem Ausdrucke brachte und so bereits die Grundlage für die von mir entwickelte Forschungsmethode schuf.

Heer¹ zog auf Grund seiner genauen Studien die Schlußfolgerung, daß die mittlere Jahrestemperatur betragen habe:

In der Untermiocänzeit		In der Obermiocänzeit	
Im oberitalischen Becken . . .	22·0	In Sinigaglia	21·0
Im Schweizer Molasseland ..	20·5	In Oberitalien	20·0
Im niederrheinischen Becken	18·0	Im Schweizer Molasseland..	18·5
Im südlichen Bernsteinland ..	16·0	In Schlesien	15·0

keinen Schluß auf eine Polverschiebung gestattet, habe ich gezeigt in: Die extremen thermischen Anomalien auf der Nordhemisphäre und ihre Bedeutung für die Frage der geologischen Polverschiebungen. Met. Zeitschr., 1909, Heft 10.

¹ Flora tertiaria Helvetiae, p. 338.

Neumayr¹ fand, bei nicht ausreichender Würdigung der Notwendigkeit, in der Paläoklimatologie von bestimmten Zahlenwerten auszugehen, daß diese Schlüsse »jedenfalls viel zu positiv« seien; mir erscheinen diese von Heer gefundenen Zahlen als erste Repräsentanten des oben entwickelten Begriffes der Orthothermen wertvoll. Doch sind sie für die von mir angeregte Fragestellung nicht direkt verwertbar, da sie sich auf die mittlere Jahrestemperatur beziehen. Nur für das Klima des Molasselandes gab Heer die Wintertemperaturen an. Sie entsprechen dem Durchschnitte jener, welche jetzt in gemäßigt kontinentalen Klimaten mit den von Heer für das Molasseland angenommenen mittleren Jahrestemperaturen zusammen vorkommen. Diesem gemäß lassen sich auch für die von Heer für deutsche und italische Gegenden geschätzten Jahresmittel die zugehörigen Wintertemperaturen aus den Isothermenkarten ungefähr entnehmen.

Zieht man von den so für das Obermiocän erhaltenen Winterorthothermen die den Gegenden, auf welche sich Heer's Jahresmittel beziehen, entsprechenden morphogenen Wintertemperaturen ab, welche meiner Isothermenkarte für das Miocän zu entnehmen sind, so erhält man vier Werte, in welchen noch die hypsogene, biologische und solarklimatische Wärme-komponente vereint sind.

	Sinigaglia	Oberitalien	Molasse- land	Schlesien
Orthothermen	12·0	10·0	7·5	2·0
Morphogene Paläothermen .	9·1	7·3	5·3	0·1
Allogene Diakrinen	2·0	2·7	2·2	1·9

Ließe sich die biologische Wärmedifferenz vernachlässigen, so würden diese Werte, mit einer positiven Höhenkorrektur von etwa 0·5° bis 1·0° versehen, ausdrücken, um wie viel das solare Klima in der Miocänzeit günstiger als jetzt war. Es gälte dies aber nur für den Fall, daß Matthew's Zeichnung der

¹ Erdgeschichte, II, p. 507.

Küstenlinien außerhalb Europas eine zutreffende ist und die von mir für das Miocän berechneten Temperaturen schon die eury-morphogene Wärmekomponente mitenthalten. Diese Voraussetzung ist nicht sicher begründet und es wäre daher verfrüht, aus der Abnahme der Werte gegen Norden zu schon einen Schluß auf einen bestimmten solarklimatischen Faktor zu ziehen. Zieht man von den für das Untermiocän Heer's sich ergebenden Winterorthothermen die örtlich zugehörigen morphogenen Wintertemperaturen ab, welche meiner Isothermenkarte für das Oligocän zu entnehmen sind, so bekommt man folgende Werte:

	Oberitalien	Molasse- land	Nieder- rheinisches Becken	Südliches Bernstein- land
Orthothermen	13·5	11·0	6·5	3·0
Stenomorphogene Paläo- thermen	7·5	5·5	3·0	0·0
Eurymorphogene + allo- gene Diakrinen	6·0	5·5	3·5	3·0

Diese Werte schließen auch noch die eurymorphogene Wärmedifferenz in sich ein und in den höheren Zahlen für die zwei südlicher gelegenen Gegenden drückt sich wohl der größere Einfluß der Wärmewirkung der indischen Trift aus.

Nimmt man als jetzige Wintertemperaturen im Meeresniveau für das südliche Bernsteinland und für Schlesien $-2\cdot0$, für den Niederrhein $+2\cdot0$, für die Nordschweiz $+1\cdot0$, für Oberitalien $+2\cdot5$ und für die Küste der Marken $+5\cdot0$ an, so erhält man als stenomorphogene Diakrinen nachstehende Werte:

	Oberitalien	Molasseland	Niederrhein	Südliches Bernsteinland
Oligocän	5·0	4·5	1·0	2·0

	Sinigaglia	Oberitalien	Molasseland	Schlesien
Miocän	4·1	4·8	4·3	2·1

Es ergibt sich, daß für die südlicher gelegenen der von Heer in Betracht gezogenen Gebiete schon der winterliche Wärmezuwachs infolge der größeren Ausdehnung der Meere in Europa zwischen 4 und 5° beträgt, also so viel als Heer dem Einflusse der indischen Trift zuschrieb. Schlägt man diesen Einfluß hinzu und nimmt man mit Semper noch eine bedeutend höhere Wärme der Golftrift an, so erscheint die gesamte zu erklärende Wärmedifferenz zwischen Mitteltertiär und Jetztzeit selbst dann zumindest ganz kompensiert, wenn man eine Höhenkorrektur anbringt und annimmt, daß die hier supponierten Winterorthothermen zu niedrige seien. Hielte man diese aber für zu hoch und wäre man geneigt, den mittel-tertiären Pflanzen einen geringeren Wärmebedarf zuzuschreiben als sich aus genauen thermischen Analogieschlüssen mit der Jetztzeit ergibt, so käme man dahin, den in der Paläoklimatologie schon aufgetauchten Paradoxen ein neues anzureihen und zu finden, daß das Solarklima der mittleren Nordbreiten im Mitteltertiär ein weniger günstiges als jetzt gewesen sei. Für das Pliocän ergibt sich dagegen ein morphogener Wärmeausfall gegenüber der Gegenwart, welcher, vermehrt um eine für diese Epoche anzunehmende größere hypsogene Differenz, zusammen mit der noch positiven Differenz zwischen den Orthotemperaturen und Jetztzeitemperaturen durch ein günstigeres Solarklima oder durch geringeren Wärmebedarf der Pflanzen auszugleichen wäre. Für das Pleistocän ist die morphogene Differenz für die Wintertemperaturen gering. Die für die Glacialzeiten außerhalb der vereisten Gebiete für den Sommer nachweisbare negative Differenz zwischen den Orthotemperaturen und Jetztzeitemperaturen pflegt man bekanntlich in sehr verschiedenem Verhältnisse auf die hypsogene und solarklimatische Wärmedifferenz aufzuteilen. Eine biologische Differenz wird für das ältere Quartär bei der Kürze der trennenden Zeitspanne nicht in Betracht gezogen.

Es konnte sich hier naturgemäß nur darum handeln, am einzigen derzeit vorführbaren Beispiele zu zeigen, wie die paläothermale Analyse anzufassen wäre. Die Möglichkeit, eine solarklimatische Differenz aus dem Komplex der übrigen herauszuschälen, würde erst winken, wenn es gelänge, die Verteilung

der Orthothermen für große Flächenräume darzustellen. Eine über ein großes Breitenintervall verfolgbare gleichsinnige Änderung der allogenen Diakrinen und gleich große entgegengesetzte Werte derselben für gegenüberliegende Meridiane könnten keinesfalls auf Änderungen im Wärmebedarfe der Organismen, auch nicht auf irreguläre Krustenverschiebungen und nur auf solarklimatische Ursachen, Änderung der Sonnenstrahlung und Polverschiebung bezogen werden. Wenn man sich der Aufgabe unterzöge, für alle je einer Tertiärepoche angehörigen Lokalflora Europas nach Maßgabe der Vertretung der von Heer als zu thermischen Analogieschlüssen geeignet bezeichneten zirka 70 Pflanzenarten Temperaturwerte abzuleiten, so könnte man es wohl für das Oligocän und Miocän bis zur Zeichnung von Isoorthothermen für Mittel- und Südeuropa bringen.

Von großem Werte wäre es, gleichlaufende Untersuchungen für die Sommertemperaturen durchzuführen, wozu erst entsprechende thermogeographische Formeln, in welchen die variablen Glieder positive Vorzeichen zu bekommen hätten, entwickelt werden müßten. Würden sich die auf Änderungen des Solar klimas zu beziehenden Wärmedifferenzen für Winter und Sommer gleich groß ergeben, so spräche dies für eine kosmische Ursache, wären sie in den entgegengesetzten Jahreszeiten verschieden groß, so kämen Änderungen in der Intensität der Sonnenstrahlung oder in der Diathermansie der Atmosphäre in Betracht. Sollte aber jemand finden, daß bei der von mir im Anschlusse an Heer's wertvolle Vorarbeit hier entwickelten Methode der paläothermalen Analyse die Resultate in den reichlich fließenden Fehlerquellen zu ertrinken drohen — es kommen zu den paläoklimatologischen noch die paläogeographischen hinzu — so kann demgegenüber nur gesagt werden, daß man ohne diese Methode noch viel weniger jemals zum Ziele kommt.

Für die vorkretazischen Zeiträume — abgesehen von der permischen Eiszeit und den eventuellen noch älteren Vereisungsperioden — wären die Orthothermen nach der herrschenden Lehre als über die Erdoberfläche konstant anzunehmen. Nur in der Form, daß man einen klimatischen Faktor sucht, dessen thermische Wirkungen so verteilt wären, daß sie

vereint mit der morphogenen Temperaturabweichung ein thermisch uniformes Klima erzeugen würden, ist das Problem des letzteren für den Klimatologen erörterungsfähig. Die in Geologenkreisen herrschende Anschauung, daß es da genüge, eine die Wärmekontraste des mathematischen Solarklimas in höchstem Maße abschwächende Beschaffenheit der Atmosphäre und einen Zustand des Ausgeschaltetseins jeglichen Einflusses der Land- und Wasserverteilung auf das thermische Klima anzunehmen, ist für den Klimatologen indiskutabel. Die Bemerkung v. Han n's,¹ daß noch für eine längere Zeitperiode, in welcher die höhere Innentemperatur der festen Erdkruste direkt die Bodentemperatur nicht mehr erheblich beeinflußt hat, angenommen werden dürfe, daß ein hoher Wasserdampfgehalt und vielleicht auch ein großer Kohlensäuregehalt der Erdatmosphäre die Aufspeicherung der Sonnenwärme an deren Grunde bedeutend gefördert und gleichzeitig die Abkühlung der hohen Breiten im Winter in hohem Maße vermindert habe, wird man in Ansehung der Fraglichkeit der vor- bis altpaläozoischen Eiszeiten äußerstenfalls noch auf die Steinkohlenperiode, keinesfalls aber mehr auf die der nachgewiesenen jungpaläozoischen Eiszeit nachgefolgte Trias- und Juraperiode beziehen können. In der mesozoischen Ära, wahrscheinlich aber schon im Paläozoicum, kann es im Winter im Innern und an den Osträndern großer subpolarer Kontinente nicht annähernd so warm wie in den Tropen und Subtropen und in ozeanischen Gebieten höherer Breiten gewesen sein.

Das paläoklimatische Problem wird, soweit es sich um die Erklärung höherer Wärmegrade handelt, fast nur als thermales Problem untersucht. Nur die Eiszeit pflegt man längst auch als hydrometeorisches Phänomen zu betrachten. Wie schwer es aber ist, betreffs der klimatischen Folgen kombinierter Änderungen der mittleren Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse auf der Erde zu klarer Erkenntnis vorzudringen, erhellt daraus, daß man sich sogar dahin verstieg, die Eiszeit als eine Periode wärmeren Solarklimas zu erklären. Es liegt kein Grund zur Annahme vor, daß die Wärme und der Wasserdampfgehalt

¹ Handbuch der Klimatologie, III. Aufl., I. Bd., p. 367.

der Luft in vordiluvialer Zeit in weniger innige Wechselbeziehungen getreten seien und daß eine bloß thermologische Problembehandlung bei den vordiluvialen Perioden weit weniger unzureichend wäre als bei der Eiszeit.

Heer hat sich auch hier nicht mit der Annahme begnügt, daß das Tertiärklima Europas wegen der größeren Ausdehnung der Meere nicht bloß milder und gleichmäßiger, sondern auch feuchter gewesen sei, und ist zur Untersuchung der jährlichen Periode der Niederschläge vorgeschritten. Sein Resultat, daß die jährliche Regenverteilung im Mediterrangebiete zur Oligocänzeit von der heutigen sehr abgewichen sei, findet in der damaligen Land- und Wasserverteilung seine Begründung, gleichwie sich aus der Verteilung des Flüssigen und Festen zur Pliocänzeit der Schluß ziehen läßt, daß in dieser in Südeuropa das jetzige Niederschlagsregime noch schärfer ausgeprägt war. Durch Einbeziehung des atmosphärischen Wasserdampfes in die Betrachtung wird das Problem der europäischen Tertiärklimate schon in biologischer Hinsicht komplizierter. Ließe sich durch die im vorigen Kapitel erwogenen günstigsten Annahmen über Warmwasserheizung das Rätsel der europäischen Tertiärfloren nach seiner thermischen Seite hin völlig lösen, so bliebe es betreffs der altweltlich-subtropischen Bestandteile dieser Floren seltsam, daß die Urahnen von Pflanzen, die jetzt regenlosen Sommern angepaßt sind, bei einem dem Golfotypus Greely's zu vergleichenden Niederschlagsregime wuchsen. Es wäre dies ein Fall von sehr weitgehender Anpassung in bezug auf den Feuchtigkeitsbedarf, der wieder an die Möglichkeit großer vor sich gegangener Anpassungen im Wärmebedürfnisse denken ließe.

Tafelerklärung.

Tafel I.

Stenomorphogene Jännerisothermen Europas von 55° bis 35° N und von 15° W bis 60° E in den verschiedenen Abschnitten der Tertiärzeit und im Altquartär unter Annahme der Rekonstruktionen von W. D. Matthew.

Die Breitengrade sind von 5 zu 5, die Längengrade von 15 zu 15 eingetragen.

Punktierte Linie	=	-10° Isotherme
Dick ausgezogene Linie	=	0° Isotherme
Gestrichelte Linie	=	+10° Isotherme

Die dünn ausgezogenen Linien entsprechen den intermediären Isothermen von -15°, -5°, +5° und +15°.

Tafel II.

Stenomorphogene Isodiakrinen des Jänner für Mittel- und Südeuropa in den verschiedenen Abschnitten der Tertiärzeit und im Altquartär unter Annahme von Matthew's Rekonstruktionen.

Punktierte Linie	=	Isodiakrine von - 5°
Dick ausgezogene Linie	=	Isodiakrine von 0°
Gestrichelte Linie	=	Isodiakrine von + 5°
Wechselnd gestrichelte und punktierte Linie	=	Isodiakrine von +10°
Wechselnd gestrichelte und zweimal punktierte Linie	=	Isodiakrine von +15°

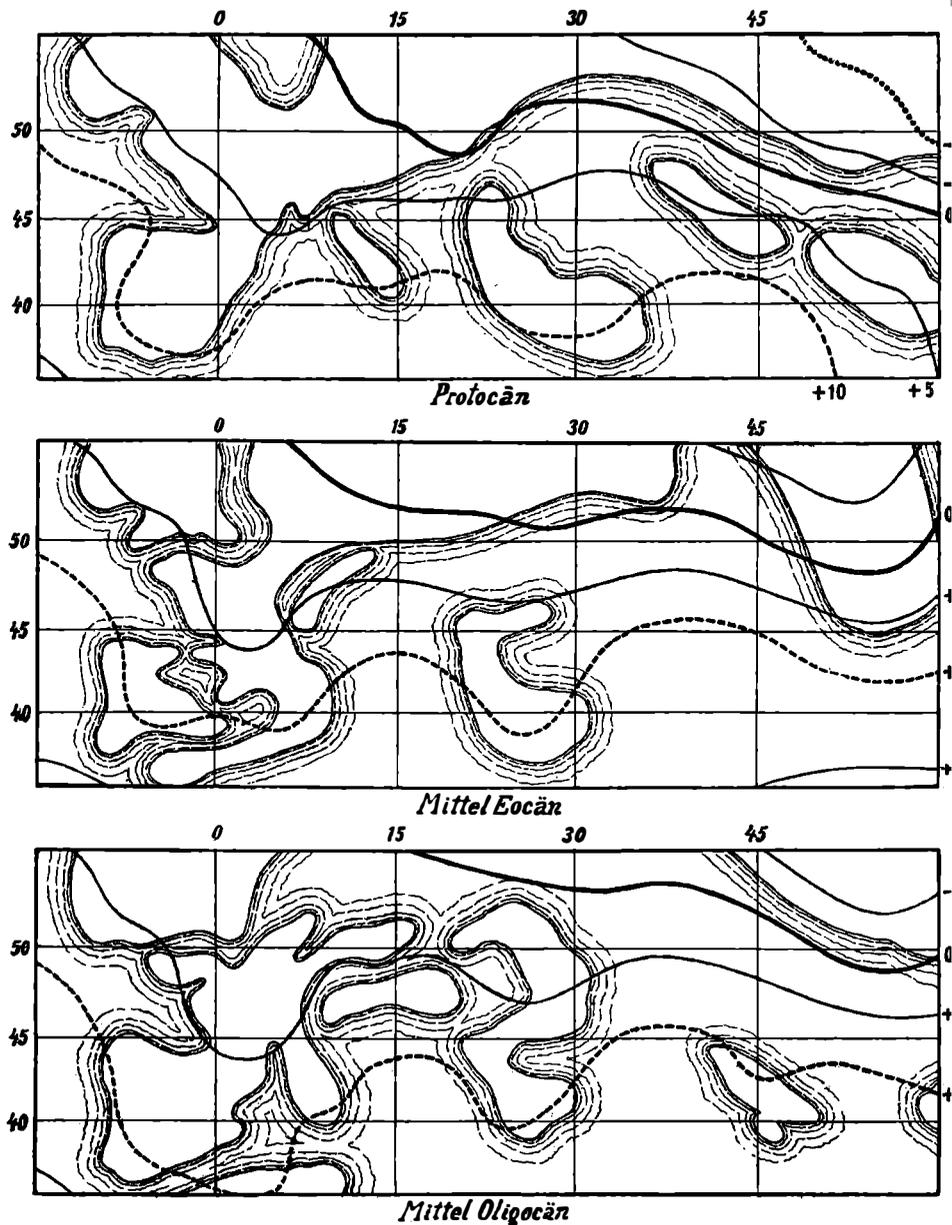
Die dünn ausgezogenen Linien entsprechen den intermediären Isodiakrinen von -2·5°, +2·5°, +7·5° und +12·5°.

Die Darstellung der Isodiakrinen ist auf die jetzige Land- und Wasserverteilung bezogen.

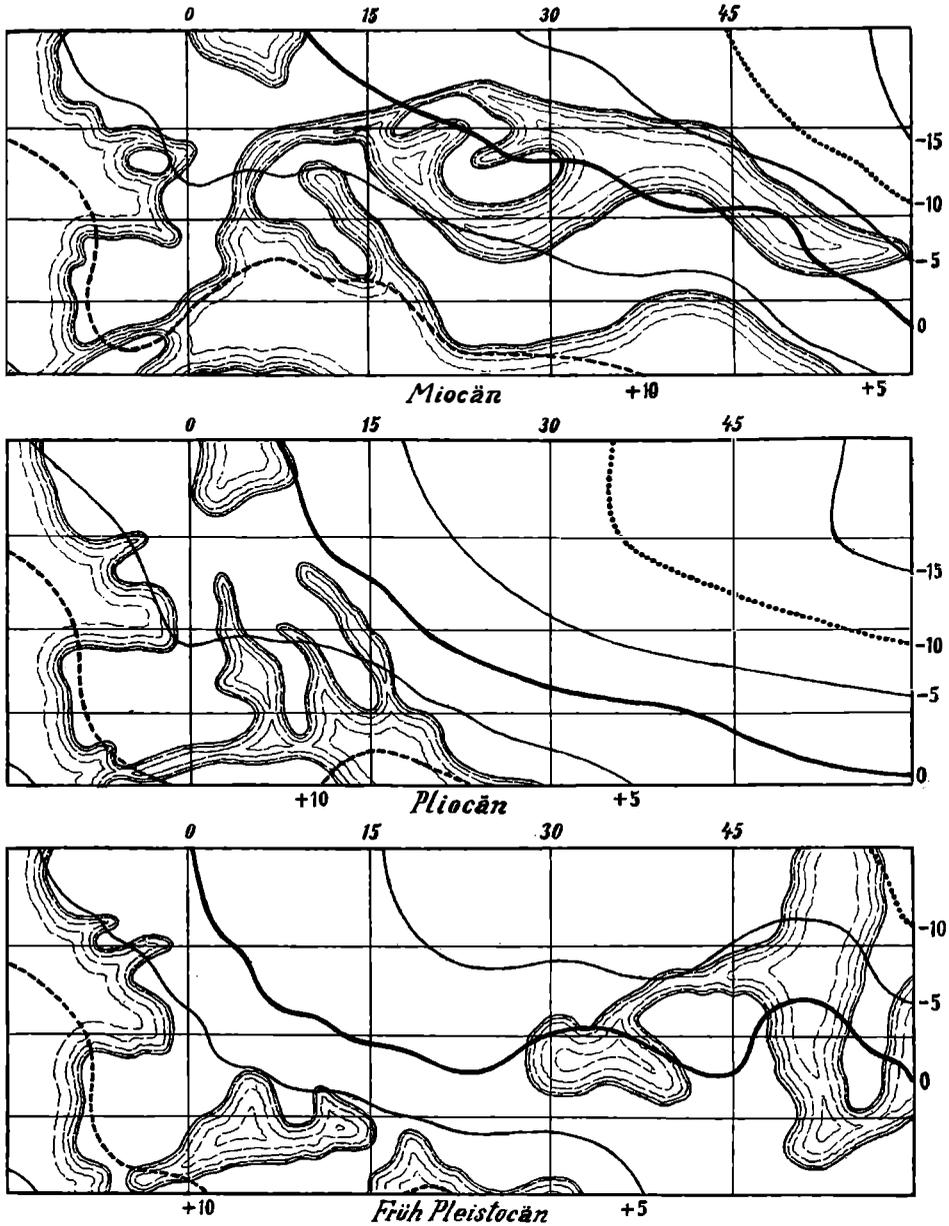
Erklärung zu Fig. 1.

Dick ausgezogene Linie:	Temperaturdifferenz gegen $\lambda = 20^\circ$ W.
Dünn » »	Relative Landbedeckung der 5°-Felder.
Gestrichelte »	» » 10°- »
Gestrichelte und punktierte Linie:	» » 20°- »
Punktierte Linie:	» » 30°- »

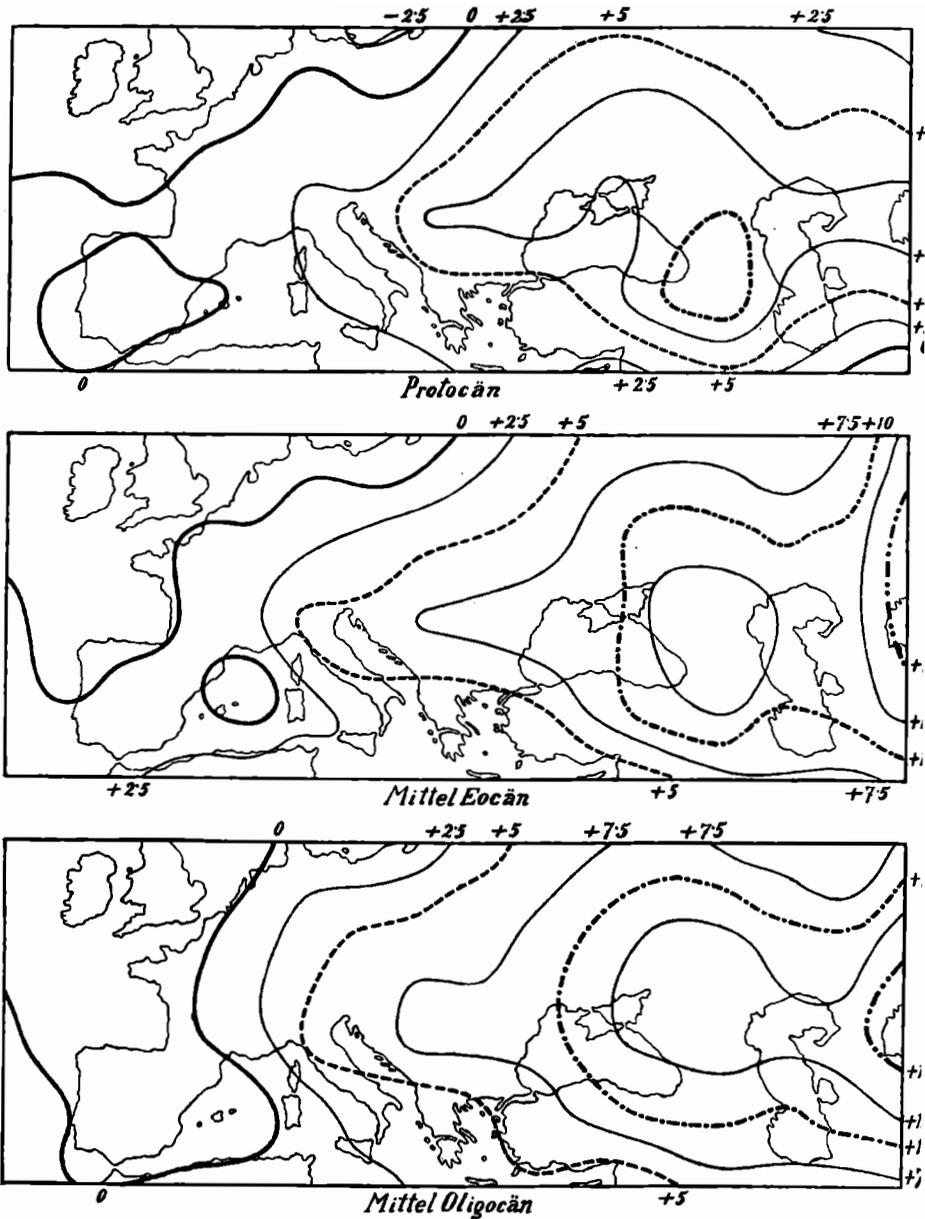
Stenomorphogene Jännerisothermen Europas im Palaeogen.



Stenomorphogene Jännerisothermen Europas im Neogen und Altquartär.



Stenomorphogene Isodiakrinen des Jänner im Palaeogen.



Stenomorphogene Isodiakrinen des Jänner im Neogen und Altquartär.

