

Säntis durch Lüthy¹⁴⁾ 1938 hohe Flachformenreste beobachtet hat, welche für altplozän gehalten werden. Eine Fortsetzung der Untersuchungen wird wahrscheinlich mit der Westgrenze der Raxlandschaft und womöglich einer weitgespannten Flexur die morphologische Grenze zwischen West- und Ostalpen auffinden. Hier bedarf auch die Frage, wie der Stockwerkbau des nördlichen Alpensaumes mit den korrelaten Ablagerungen der miozänen Molasse und der pliozänen Restschotter im Vorlande in Beziehung zu setzen ist, endlich einer befriedigenden Lösung.

In der Schweiz, zu der uns die Formung des westlichen Allgäus und des Bregenzer Waldes hinüberleitet, stand die morphologische Untersuchung des präglazialen Reliefs lange Zeit völlig im Schatten der Geologie und der Eiszeitforschung. Dabei tritt uns auch hier der Stockwerkbau der tertiären Entwicklung entgegen, wiewohl naturgemäß jünger als in den Ostalpen. Nun hat sich auch hier diesem Teilgebiet der alpinen Geomorphologie ein verstärktes Interesse zugewandt. Seit 1942 haben sich auf Anregung von *Annaheim*¹⁵⁾ eine Reihe von Geographen zu einer geomorphologischen Arbeitsgemeinschaft zusammengeschlossen, aus der am 1. Dezember 1946 in Olten die Schweizerische Geomorphologische Gesellschaft hervorgegangen ist¹⁶⁾. Das Ziel ist dabei, in Arbeits-

gruppen und in gemeinsamen Exkursionen die Ergebnisse verschiedener Arbeitsgebiete einander anzugleichen, eine gute und verbindliche Legende für morphologische Kartierung zu schaffen und durch finanzielle Unterstützung Veröffentlichungen zu erleichtern. Aus der zentralen und südlichen Schweiz liegen schon neue Arbeiten vor. Es würde zu weit führen, hier über die pliozänen Formengruppen und Eintiefungsfolgen näher zu berichten. Es scheint sich herauszustellen, daß die präglazialen Talböden tiefer liegen und also die Beträge glazialer Erosion geringer sind als früher angenommen, und daß sich über ihnen noch mehrere pliozäne Stockwerke aufbauen¹⁷⁾. Ein erster Vorschlag zur Legende der morphologischen Spezialkarte der Schweizeralpen besteht bereits¹⁸⁾. Wir müssen diese neueste Entwicklung in der Schweiz, deren Ergebnisse auch für den Westteil unserer nördlichen Kalkalpen von so großer Bedeutung sind, mit aller Aufmerksamkeit verfolgen und dürfen uns angesichts der Tatsache, daß die Untersuchungen der ostalpinen Geomorphologie bisher mit nur wenig Planmäßigkeit angesetzt wurden, die Organisation, z. T. auch die Arbeitsmethoden der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft gerade in unserer heutigen bedrängten Lage zum Vorbilde dienen lassen.

¹⁴⁾ H. Lüthy, Geomorphologische Untersuchungen im Säntisgebirge. Jahrbuch d. St. Gallischen Naturwiss. Ges. 69. Bd. 1937/38.

¹⁵⁾ H. Annaheim, Zur geomorphologischen Erforschung der Schweizeralpen. Der Schweizer Geograph. 20. Jhrg. Heft 4. 1943.

¹⁶⁾ H. Annaheim, Die Schweizerische Geomorphologische Gesellschaft. Geographica Helvetica. II. Heft 2. 1947.

¹⁷⁾ E. Rathjens, Zur Geomorphologie der Schweizer Alpen, Erdkunde, Bd. I. Lfg. 4—6. Bonn 1947.

¹⁸⁾ Eine kritische Würdigung muß ich mir für später vorbehalten.

PFLANZENKLIMATISCHE GRENZEN DER WARMEN TROPEN

H. v. Wißmann

Mit 2 Karten

Unter den Tropen verstehen wir in erster Linie die mathematischen, die solaren Tropen, das Gebiet zwischen den Wendekreisen, in dem der mittägige Einfallswinkel der Sonne nie kleiner als 43° ist. In ihrem Inneren fehlt der Kontrast von Sommer und Winter, gibt es keinen Sonn- und Schatthang. Der Wechsel zwischen Tag und Nacht ist scharf, die Dämmerung kurz.

Die Grenzen dieser Eigenschaften, die, wie mehr oder weniger alle klimatischen Grenzen, breite Übergänge sind, verlaufen längs Breitenkreisen quer über Berge und Tiefländer.

Will man die Tropen genetisch charakterisie-

ren¹⁾ — und nur dies kann zu einer rein klimatischen Gliederung und Begrenzung führen — so hat man davon auszugehen, daß sie ihre eigene größtenteils in sich geschlossene Zirkulation haben²⁾. Daher kann man denjenigen Gürtel, der

¹⁾ Im Sinne von A. Hettner, Die Klimate der Erde. Lpz. 1930. und von H. Flohn, Witterung und Klima in Deutschland, Forsch. z. dtsh. Landes- u. Volkskunde. 41. 1942.

²⁾ Vgl. die Karte der Windgebiete der Erde von W. Köppen in: Grundriß der Klimakunde. Lpz. 1923 u. 1931. Taf. IX. und E. de Martonne, Karten des Schemas der atmosphärischen Zirkulation im Januar und Juli in: La Zone Tropicale, Ann. de Géogr. 55. 1946. S. 5

im Großen gesehen im Jahreslauf nie polwärts aus der passatischen Zirkulation herausgerät, als witterungsklimatische Tropen auffassen. Ihre Begrenzung kann man über den Ozeanen auf die Roßbreiten des jeweiligen Winters legen, so daß die Etesiengebiete außerhalb bleiben, über den Kontinenten auf die thermischen und Wind-Äquatoren des jeweiligen Sommers. (Die Grenzzone zwischen Winter- und Sommerregen in den Passatwüsten könnten mit zur Begrenzung herangezogen werden, und China-Japan sowie der SO der Vereinigten Staaten könnten als Mischgebiete tropischer und außertropischer Elemente aufgefaßt werden, da dort die Wurzelzonen der pazifischen und atlantischen Westzyklonenbahnen von Sommermonsun und tropischen Zyklonen, Wintermonsun und Kaltlufteinbrüchen in jahreszeitlich verschiedenem Verhältnis überlagert werden³⁾). Abb. 1 stellt skizzenhaft wichtige Linien für diese Begrenzung dar.

Dem Tiefland und den Gebirgen der solaren Tropen gemeinsam ist zumeist eine geringe Jahresamplitude der Monatsmittel der Temperatur. In äquatorialen Gebirgen steigt man aus einer Fußstufe, die das ganze Jahr heiß ist, in Gürtel, in denen „ewiger Sommer“, dann „ewiger Frühling oder Herbst“ herrscht, weiterhin in Regionen fast täglichen Frostwechsels (in Süd-Peru in 4000—5300 m⁴⁾) und schließlich ewigen Frostes. Aber die geringe Schwankung der Monatsmittel der Temperatur läßt sich nur zur Charakterisierung der äquatorialen und ozeanischen, nicht der gesamten Tropen verwenden. Nagpur in den äußeren Tropen Indiens hat eine Amplitude von 15,2°, die Macquarie-Insel in der Subantarktis von 3,3°. Die Isamplitude von 3° umspannt ein äquatoriales, in Afrika unterbrochenes Band⁵⁾.

Noch weniger ist die Tagesschwankung der Temperatur, die im Ganzen polwärts abnimmt, zu einer Begrenzung der Tropen geeignet. Sie ist nicht nur von der Breitenlage und der Lage zu Kontinent und Ozean sondern auch von der Bewölkung, der Luftfeuchtigkeit, der Seehöhe, mit der sie wächst, und vor allem vom Relief abhängig. In Becken ist sie groß, am Hang und auf Gipfeln klein. Die höchsten Monatsmittel aperiodischer Tagesschwankung sind an feucht

tropischen Gipfeln, Gehängen, Außenküsten und Inseln nicht wesentlich verschieden von mitteleuropäischen. Sie weichen auch in tropischen Gebieten mit Trockenzeit und tropisch-subtropischen Wüsten kaum von denjenigen in kühl gemäßigten und borealen Trockengebieten ab⁶⁾. Eher lassen sich die Tropen dadurch charakterisieren, daß in ihnen zumeist die Tagesschwankung der Temperatur größer ist als die Amplitude der Monatsmittel⁷⁾.

Den inneren Tropen ist weithin auch eine doppelte jährliche Kurve der Temperatur, ihrer Tages- und Monatsmittel eigen⁸⁾.

Eliminiert man das schnelle Fallen der Temperatur mit steigender Seehöhe durch eine Reduktion auf den Meeresspiegel (0,5° auf 100 m), so lassen sich auch Isothermen des Jahres oder kältesten Monats zur Begrenzung der Tropen einschließlich ihrer Gebirge benutzen. So wählte A. Supan⁹⁾ die reduzierte Jahresisotherme von 20° C als Tropengrenze.

Wir können die Tropen thermisch als das im Tiefland immer warme, niemals kalte Land (und Meer) bezeichnen. Sehr oft aber wird die Bezeichnung „Tropen“ allein auf das immer warme Gebiet der Erde beschränkt, die höheren tropischen Gebirge somit ausgeschlossen. Ich möchte vorschlagen, dort, wo es auf scharfe Definition ankommt, dieses immer warme Gebiet „warme Tropen“ oder „Warmtropen“ zu nennen. Werden in einer Klimaklassifikation die „Tropen“ durch unreduzierte Isothermen begrenzt, so sind die Warmtropen gemeint. So nahmen E. de Martonne und J. v. Hann die

⁶⁾ In ersterer Gruppe 5° bis 10°, in letzterer 19° bis 21°. Neben hohe Werte tropischer Hochtalbecken (Kelat, Balutschistan, 2070 m, 25,4°, La Quiaca, NW-Argentinien, 3462 m, 26,6°) lassen sich diejenigen in Werchojansk am „Kältepol“ stellen (April, Mittel der heiteren Tage 25,5°). Vgl. H. Flohn, Zum Klima der Kältepole der Erde. Met. Rdsch. 1. 1947. S. 26. — C. Troll, Studien zur vergl. Geographie der Hochgebirge der Erde. Ber. d. 23. Hauptversammlung d. Ges. v. Freunden u. Förderern d. Univ. Bonn 1941. S. 66 f. Die höchsten Mittelwerte wurden in der Puna von Bolivien gemessen: 39,5° im Mittel von 3½ Monaten.

⁷⁾ C. Troll, Erdkarte der Gleichgewichtslinie zwischen der periodischen Tagesschwankung und Jahresschwankung. Pet. Geogr. Mitt. 89. 1943. Taf. 13. Gebiete innerhalb nischen Küste diese Tagesschwankung im Mittel größer ist als die aperiodische Tagesschwankung, sind Teile Nordindiens und die Küstenwüsten des Roten Meeres, von Chile, Peru und Südwest-Afrika, während umgekehrt ausserhalb der Tropen in Mittel-Chile und an der kalifornischen Küste die Tagesschwankung im Mittel größer ist als die Jahresamplitude. Auf der subantarktischen Macquarie Insel beträgt die Amplitude der Monatsmittel 3,3°, die mittlere aperiodische Tagesschwankung der gleichen Periode 3,6°.

⁸⁾ H. Pollog in: Freie Wege vergleichender Erdkunde Mdn. 1925. S. 187—202. Karte.

⁹⁾ A. Supan, Die Temperaturzonen der Erde. Pet. Geogr. Mitt. 1879.

³⁾ Vgl. G. Schumacher, Das Klima Südkoreas. Aus dem Archiv. d. Dt. Seewarte d. Marineobservatoriums. Bd. 59. H. 2. Hbg. 1939.

⁴⁾ C. Troll, Die Frostwechselhäufigkeit in den Luft- u. Bodenklimaten der Erde. Met. Ztschr. 60. 1943. S. 166.

⁵⁾ O. Maull, Die Bestimmung der Tropen am Beispiel Amerikas. Festschr. z. Hundertjahrfeier d. Ver. f. Geogr. u. Statistik in Frankfurt a. M. 1936. 365—389, benutzt in erster Linie Amplituden zur Begrenzung der inneren und äußeren Tropen. Um den genannten Schwierigkeiten zu entgehen, kombiniert er die Amplitude mit reduzierten Isothermen des kältesten Monats.

Jahresisotherme von 20° ¹⁰⁾, C. W. Thornthwaite die den nordamerikanischen Verhältnissen im Osten besser entsprechende von $23,7^{\circ}$ ¹¹⁾). Wie A. Supan und A. Philippson¹²⁾ benutzte W. Köppen anfangs die Isotherme des kältesten Monats von 20° ¹³⁾, in seiner bekannten Klassifikation diejenige von 17° bis 18° ¹⁴⁾). Ich selbst wählte auf meiner Karte der Klimate von Eurasien im Sinne von H. v. Handel-Mazzetti die Isotherme des kältesten Monats von 13° ¹⁵⁾ und glaube damit unter den Genannten der pflanzengeographischen Polargrenze der Warmtropen am nächsten gekommen zu sein¹⁶⁾).

Denn das Bestreben einer thermischen Abgrenzung der Warmtropen geht von der angewandten Klimatologie aus. Es sucht vor allem ein pflanzen- und wirtschaftsgeographisches Bedürfnis zu befriedigen. Die erste Arbeit W. Köppens über den betreffenden Themenkreis hieß: „Die Wärmezonen der Erde nach der heißen, kalten und gemäßigten Zeit und nach Wirkung auf die organische Welt betrachtet“¹³⁾, die zweite: „Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihrer Beziehung zur Pflanzenwelt“¹⁴⁾. Wir können den mathematisch-solaren und witterungsklimatischen Tropen die pflanzen- und agrarklimatischen Warmtropen gegenüberstellen, die sich nur zum Teil mit jenen decken.

L. Waibel¹⁷⁾ sagt mit Recht, die Abgrenzung der Tropen hänge ganz davon ab, was man für typisch tropisch hält. Es gebe ebenso viele Tro-

pengrenzen, als man Tropenmerkmale unterscheidet. Von Wirtschaftspflanzen, die auf die Tropen beschränkt sind, hebt er einige Mehrjährige mit hohen Wärmeansprüchen hervor, Kaffee, Sisalagave und mehrjährige Baumwolle für die äußeren Tropen, Kakao, Gewürze und Kautschuk für die inneren. Wenn man nur Hauptmerkmale berücksichtige, müsse, so meint er, eine größere Einigung über die Tropengrenze zu erzielen sein. Der primäre Begriff sind die mathematisch-solaren Tropen. Die für sie charakteristischen Elemente haben ein jedes verschiedene Verbreitung. —

Pflanzengeographisch sind die Tropen gekennzeichnet durch die Florenreiche der Megathermen¹⁸⁾: die „Tropische Florenreichgruppe“ im Sinne von O. Drude¹⁹⁾, die er der Borealen und der Australen Gruppe gegenüberstellt. Die meisten Pflanzengeographen, so auch T. Herzog²⁰⁾, nehmen nur die Grenze der Tropen und die Ozeane als Begrenzungssäume von Florenreichen. Das deutet auf ein sehr einschneidendes, aber unsichtbares Hindernis für die Ausbreitung pflanzlichen Lebens am Rande der Tropen hin. Da ist es nun sehr merkwürdig, daß diese Grenze in der üblichen Einteilung der großen Vegetationsgebiete großenteils nicht oder nur untergeordnet erscheint. Die sichtbarsten, physiognomisch auffallendsten Vegetationsgrenzen sind in den heißen Zonen die hygrisch bedingten, in der kalten die thermisch bedingten. Doch sind in der heißen Zone die thermisch bedingten Vegetationsgrenzen, wie wir sehen werden, nicht minder einschneidend und ökologisch bedeutungsvoll²¹⁾. Wie die humiden und subhumiden Formationen sind die Steppen und Wüsten nach ihrer Zusammensetzung scharf in außertropische und tropische zu scheiden. Tropische und außertropische Wüstensteppen z. B. zeigen wohl — wie die meisten Formationen — Übergänge. Ihre jeweiligen Kerngebiete aber haben nur wenig Arten miteinander gemein.

¹⁰⁾ E. de Martonne, *Traité de Géographie Physique*. Paris 1909. S. 205—225. J. v. Hann, *Handbuch der Klimatologie*. Bd. II. Teil I. Stgt. 1910. S. 3.

¹¹⁾ C. W. Thornthwaite, *The Climates of North America*. Geogr. Review 31. 1931. S. 633—655. und: *The Climates of the Earth*. ebd. 33. 1933. — Die von Thornthwaite gegebene Formel ergibt die genannte Temperatur, da in dieser Zone kein Monat eine Mitteltemperatur unter 0° hat.

¹²⁾ A. Supan, *Grundzüge der physischen Erdkunde*. 4. Aufl. Lpz. 1908. A. Philippson, *Grundzüge der allg. Geographie*, II. Auf. Bd. 1, S. 300.

¹³⁾ W. Köppen, *Die Wärmezonen der Erde usw.* Met. Ztschr. 1884. S. 215 ff.

¹⁴⁾ W. Köppen, *Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt*. Geogr. Ztschr. 6. 1900. S. 593—611, 657—679. Zuletzt: *Das geographische System der Klimate*. Köppen-Geiger, *Handb. d. Klimatologie*. Bd. I. Teil C. Bln. 1936. 44 S.

¹⁵⁾ H. v. Handel-Mazzetti, *Die pflanzengeographische Gliederung und Stellung Chinas*. Bot. Jb. f. Syst. Pflanzengesch. usw. Bd. 64. 1931. 309—323. H. v. Wissmann, *Die Klima- und Vegetationsgebiete Eurasiens*. Z. Ges. Erdk. Berlin 1939. Karte 1.S. 1—14.

¹⁶⁾ N. Krebs, *kombiniert zu seiner Grenzsetzung der Tropen thermische und hygrische Werte. Die Grenzen der Tropen*. Forschungen und Fortschritte 21/23. 1947. S. 19 ff. W. Köppen vernachlässigt die Tropengrenze innerhalb der Trockengebiete.

¹⁷⁾ L. Waibel, *Die Rohstoffgebiete des tropischen Afrika*. Lpz. 1937. S. 19; *Probleme der Landwirtschaftsgeographie*. Breslau 1933. S. 7—12.

¹⁸⁾ E. de Candolle, *Constitution dans le règne végétal de groupes physiologiques applicables à la géographie botanique ancienne et moderne*. Arch. de Sciences de la Bibliothèque universelle. 1874.

¹⁹⁾ O. Drude in Berghaus, *Physikal. Atlas*. Gotha 1887. *Atlas der Pflanzenverbreitung*. Kartenbl. 1. Nebenkarte unten (Mitte). Und: *Handb. d. Pflanzengeographie*. Stgt. 1890.

²⁰⁾ T. Herzog, *Pflanzengeographie*. Hdb. d. Geogr. Wiss. hrsg. v. F. Klute, *Allg. Geographie*, Bd. II. S. 1—80. Er stellt Holarktis, Australisches, Kapländisches und Antarktisches Florenreich der Neo- und Paläotropis gegenüber.

²¹⁾ vgl. C. Troll, *Gedanken zur ökologischen Pflanzengeographie*. Geogr. Ztschr. 41. 1935. S. 382 ff. Troll zeigt hier auch, daß A. Schimpers physiognomisch-systematische Einteilung in Gehölz und Grasland ökologisch in keiner der thermischen Zonen als hygrische Abstufung zu Recht besteht.

Was verlangen nun jede der rein „tropischen“ Pflanzen (auch der Wirtschaftspflanzen) und die „tropischen“ Pflanzengesellschaften vom Klima? Sie bedürfen hoher Wärme, haben Wärmeansprüche, die bei verschiedenen Arten recht verschieden hoch sein können, und sind sehr empfindlich gegen Frost. Frost tötet sie. Daraus ergibt sich, daß vor allem zweierlei thermische Faktoren ihre Ausbreitung begrenzen: erstens — als Ergebnis komplizierter Korrelationen — eine Wärmemenge, ausgedrückt durch ein Maß von mittlerer Temperatur, die nicht unterschritten werden darf, zweitens der Frost.

Obwohl die absolute Frostempfindlichkeit der Tropenpflanze²²⁾ allgemein bekannt ist, wird der Frost bisher zumeist nicht als Grenzsatz der Tropenvegetation erkannt oder anerkannt. *W. Köppen* lehnte die Äquatorialgrenze des Frostes als Scheidelinie ausdrücklich ab²³⁾. Sie laufe quer durchs Mittelmeergebiet und trenne klimatisch Zusammengehöriges. Was er im Auge hat, ist die mittlere Frostgrenze. Beirut, Santorin, Pelagosa, Tunis, Lissabon, die südlich dieser Grenze liegen, werden aber doch in manchen Jahren von Frost heimgesucht²⁴⁾. Wir müssen die absolute äquatoriale und (in den Gebirgen) untere Grenze des Auftretens von Frost²⁵⁾ benutzen, dabei aber doch ganz seltene, ausheilbare Katastrophen eliminieren. Chroniken der Insel Hainan (19^{1/2}° N) berichten von Kälteeinbrüchen mit Schneefällen im Tiefland in den

²²⁾ Der Gefrierpunkt der Pflanzensäfte kann je nach deren Konzentration bis zu 2–3° tiefer liegen als derjenige des Wassers. Andererseits wird gewöhnlich nicht der Bodenfrost, sondern die Temperatur 1½ m bis 2 m über dem Boden gemessen, die um einige Grade höher sein kann als die Bodentemperatur. Manche Tropenpflanzen werden schon von Temperaturen über 0° getötet.

²³⁾ *W. Köppen* (a.a.O. Anm. 14), *Geogr. Ztschr.* 6. 1900. S. 597 f.

²⁴⁾ Die Angaben von *E. Alt* in *Köppen-Geiger*, *Handb. d. Klimatologie*, III M. 1932. S. 63, Lissabon habe ein positives absolutes Minimum, ist ein Irrtum (vgl. *Met. Ztschr.* 30. 1913. S. 405). Umgekehrt ist seine Angabe unrichtig, Malta habe ein absolutes Minimum von –3,4° gemessen. Richtig ist für Malta ein absolutes Minimum von + 1,1° in 65 Jahren (*Met. Ztschr.* 43. 1926. S. 302).

²⁵⁾ Die Festlegung der absoluten Frostgrenze ist leider dadurch erschwert, daß das absolute Minimum als einmalige Messung leicht Fehlablesung sein kann (Merkwürdig häufig wird 0,0° als absolutes Minimum angegeben). Streng genommen müßte eine für alle Stationen gleiche Periode von etwa 30 Jahren herausgegriffen werden. Auch müßten überall Hang- (Gipfel-) und Beckenstationen zugleich verfügbar sein. Vgl. *C. E. P. Brooks*, *G. L. Thorntom*, *The Distribution of Mean Annual Maxima and Minima of Temperature over the Globe*. *Met. Office Geophys. Memoirs* Mo/44. V. Nr. 4. London 1928; *J. van Bebber* in *Pet. Geogr. Mitt.* 39. 1893. S. 273 ff.; *I. B. Kinser*, Karte: „Average Length of the frost-free Season“ in den USA in: *O. E. Baker*, *Atlas of American Agriculture*. Part. II. Climate. Sect. I 1918. Eine zusammenfassende Bearbeitung der absoluten Minima auf der Erde für eine längere Periode gibt es anscheinend nicht.

Jahren 1684 und 1823, durch die ausgedehnte Kokoshaine vernichtet wurden. Dazwischen und seitdem liegen die Dörfer jener Gegenden wieder im Schatten von Kokos- und Betelpalmenbeständen²⁶⁾.

Die Wichtigkeit der für das Pflanzenleben wirksamen Frostgrenze als Begrenzung der Tropen hat anscheinend zuerst *K. Sapper* (1923)²⁷⁾ gesehen. Er ist wohl auch der erste, der den Ausdruck „Frostgrenze“ für die Äquatorial- und Untergrenze des Frostes benutzt. Man könne, sagt er, die Tropen in wirtschaftlichem Sinn als die dauernd frostfreien, warmen Gebiete der Erde bezeichnen, „weil tropische Kulturen zu allermeist schon durch einmaliges Auftreten von Frost getötet werden“. Die Wichtigkeit dieser Worte wurde nicht nach Gebühr gewürdigt, vielleicht weil sie für den Praktiker selbstverständlich scheinen. Auch ich übersah sie, kam aber durch Erfahrungen in Yunnan und Südarabien zu gleichem Ergebnis²⁸⁾. Doch ersetzte ich die Frostgrenze auf meiner Klima- und Vegetationskarte Eurasiens (1939) durch die Isotherme des kältesten Monats von 13°. Erst eine bisher nicht abgeschlossene Tübinger Dissertation von *Annelore Schädel* über die mittlere und absolute Äquatorialgrenze des Frostes wies mich auf deren kartographische Darstellbarkeit hin. Ich verdanke dieser Arbeit wesentliche Grundlagen der Karte (Abb. 2).

Große Schwierigkeiten der kartographischen Darstellung der absoluten Frostgrenze ergeben sich vor allem daraus, daß auch in niederen Breiten, in Becken und an Gebirgsfüßen, Temperaturumkehr durch nächtliche Ausstrahlung häufig ist. Wie stark und regelmäßig Kaltluftseen in den Tropen ausgebildet sein können, zeigen z. B. Nachrichten aus Java²⁹⁾: Der Gipfel des Pangerango-Vulkans (3023 m) ist frostfrei (abs. Min + 0,5°). Auf einem Plateau in 2100 m aber fällt in den Mulden in jeder windstillen Nacht des Jahres Frost ein; denn die Temperaturen zeigen hier im äquatorialen Gebiet kaum eine Schwankung zwischen wärmstem und kältestem Monat, wohl aber eine z. T. starke Tagesschwankung.

²⁶⁾ *G. Fenzel*, Die Insel Hainan. *Mitt. Geogr. Ges. München*. 1933. S. 129.

²⁷⁾ *K. Sapper*, Die Tropen. *Stgt.* 1923. S. 18 f. sowie in *Met. Ztschr.* 1934. S. 465 ff.

²⁸⁾ *H. v. Wissmann* in *Ztschr. Ges. Erdk.* Berlin 1939: „Die Verbreitungsgrenze der tropischen Vegetation ist vor allem bedingt durch das Auftreten des Frostes“.

²⁹⁾ *C. Braack*, Klimakunde von Hinterindien und Insulinde. *Köppen-Geiger*, *Handb. d. Klimatologie* IV. Teil R. 1931. S. 63. Im Gegensatz zu höheren Breiten ist die Temperaturumkehr hier selbstverständlich nicht auf eine (hier nicht vorhandene) Jahreszeit der Vegetationsruhe beschränkt.

Im weiten Kessel eines ehemaligen Vulkans (Idjen) aber wurde Frost sogar bis 900 m Seehöhe herab aufgezeichnet. — Große Kontraste zwischen (luvseitiger) Hang- und (leeseitiger) Beckenlage in den Tropen (in Indochina bei 12° N³⁰) und zum Vergleich in Deutschland sollen in folgender Tabelle veranschaulicht werden:

*Temperaturminima in Hang- und Beckenlage.
Beispielpaar aus den Tropen und aus Deutschland.*

	Seehöhe	Winter- nieder- schlag	Mittleres Tages- minimum im Winter	Absol. Minim.
Hang: Honba (Indochina)	1500 m	751 mm	12,5°	+6,5°
Becken: Dalat (Indochina)	1500 m	60 mm	10,7°	-0,6°
Hang: Todtnauberg	1030 m	468 mm	-4,6°	-22,2°
Becken: Donaueschingen	693 m	142 mm	-6,1°	-33,6°

Die absolute Frostgrenze liegt danach im Becken von Dalat um 1400 m tiefer als beim benachbarten Honba. — Im Bergland der Lao und Lü an der Wurzel Hinterindiens liegt nach meinen Reiseerfahrungen³¹) die Frostgrenze am Hang in etwa 1300 m Höhe. Im dortigen Becken von Luang Prabang in 250 m Höhe aber fiel die Temperatur in einem Zeitraum von 18 Jahren einmal auf + 0,8° (Höhendifferenz 900 m³²).

Eine derartige Benachteiligung von Becken und Gebirgsfußzonen gegenüber gut luftdrainiertem Gelände findet sich allerdings nur in Gebieten mit Trockenzeit, nicht in immerfeuchten Landschaften. In einem Maßstab, der nicht die einzelnen „Frostlöcher“ ausscheiden kann, ist es daher in kontinentalen Gebieten des Tropenrandes nicht möglich, die Frostgrenze als einfache Linie darzustellen. Sie muß als ein Grenzstreifen erscheinen, in welchem die Becken frostgefährdet, die Gehänge und gut luftdrainierten Landschaftsteile aber frostfrei sind. Dieser Grenzstreifen kann von beträchtlicher Breite sein. Denn einem Höhenunterschied der Frostgrenze zwischen Becken- und Hanglage von z. B. 600 m, wie er im Bergland häufig ist, entspricht eine nordsüdliche Breite des Grenzstreifens von im Mittel etwa 540 km (Berlin—Salzburg). Breite Grenz g ü r t e l

³⁰) Indochina (1918—1929) nach E. Bruzon et P. Carton, Le Climat de l'Indochine, Hanoi 1930. S. 248 f. Honba und Dalat liegen einander benachbart in der Kor-dillere von Annam. Deutsche Stationen 1881—1930. Todtnauberg liegt im Süd-Schwarzwald.

³¹) H. v. Wißmann, Süd-Yünnan. (Eine landeskundliche Skizze.) Vowinkel. Heidelberg 1943. insb. Karte S. 13 (Schr. z. Geopolitik. Heft 22).

³²) Auch die Nähe von Wasserflächen und das Blätterdach eines geschlossenen Waldes bieten Frostschutz. In Südost-Yünnan, dort wo die Tropengrenze am regenreichen Südhang im Regenwald in 1300 m Höhe liegt, hat sich auf Rodungsflächen subtropischer Monsunwald bis 200 m Höhe ausgebreitet. Leichter Bodenfrost auf den Rodungsflächen mag hierfür verantwortlich sein. Vgl. H. v. Handel-Mazzetti in: Karsten-Schenk, Vegetationsbilder, 20. Reihe. H. 7. S. 4; ders. Naturbilder aus Südwestchina. Wien. 1927. S. 116 ff.

der Frostgefahr liegen vor allem im Chaco und Paraguay und bis Sao Paulo, in Rhodesien und in einem Streifen der passatischen Wüsten (Sahara, Australien), wo es allerdings an Stationen mangelt. Sie liegen etwa zwischen den Isothermen des kältesten Monats von 15° (polar) und 18° bis 20° (äquatorial). In Gebieten starker Kaltlufteinbrüche; in Florida und Südostchina, reichen diese Areale, auf die wir die Bezeichnung „Randtropen“ anwenden können, bis zur Küste.

In ozeanischen Klimaten können wir die absolute Frostgrenze als Linie darstellen, so an den äußeren Westküsten der Kontinente, wo sie fast in so hoher Breite wie auf dem offenen Ozean, bei etwa 38°, nahe der Isotherme des kältesten Monats von 11°, liegt. Unter dem Einfluß des Golfstroms reicht sie westlich von Frankreich am weitesten polwärts. In Afrika, dessen Südkap nicht bis zum 38. Breitengrad vordringt, sind auch Süd- und Südostküste frostfrei.

Die Äquatorialgrenze des Frostes kann als Außensaum des Oberrandes der immer frostfreien Luftschicht angesehen werden, die über dem tropischen Tiefland lagert und deren Grenzfläche zumeist äquatorwärts ansteigt. So hebt sie sich vom Meeresspiegel im südlichsten Florida zu 1300 m (NO) bis 1800 m (SW) in Guatemala (15° N) und zu 2000 m bis 2700 m im zentralen Venezuela. In den Kordilleren von Merida und Kolumbien (8° bis 2° N) erreicht sie ihre größte Höhe von schätzungsweise 3800 bis über 4000 m. In Ecuador und von dort südwärts bis zum zentralen Bolivien (19° S) scheint sie sich in Höhen um 3000 m bis 2800 m zu halten (bei Arequipa 2400 m). Aber schon in 21½° S erscheint Frost in Ebenen und Becken im Tiefland am Ostfuß der Anden (Villamontes am Pilcomajo-Austritt). Ganz anders ist es an der Westküste, wo in Nord-Chile ein immer schmaler werdender Küstensaum frostfrei bleibt, bis sich die Frostgrenze bei etwa 38° S westwärts in den Ozean hinaus wendet.

Weder in Hochafrika noch im indoaustralischen Bereich weicht der Frost zu so großen Höhen hinauf zurück wie in Kolumbien. Von Suez und vom Jordan steigt seine Grenze zu etwa 2100 m in den Hochbecken von Yemen und Erythraa, zu über 2500 m bei Addis Abeba und zu mehr als 3000 m im Gebiet des Kenya und Kilimandjaro, einer Höhe, die auch in Indonesien erreicht und überschritten wird.

Das Gebirge von Algarve, die spanische Sierra Nevāda und der Himalaya wirken als Spalier. Die afrikanische Gegenküste ist rauher als die Küstenhöfe zwischen Gibraltar und dem Cabo de Gata, deren Gehänge frostfrei bleiben.

Am mittleren und östlichen Himalaya scheint die untere Frostgrenze in Hanglage bei 900 bis 1200 m und höher zu liegen, während Agra und Benares Frost kennen. Ganz Szetschwan ist durch das Tsingling-Gebirge im Norden, Osttibet im Westen abgeschirmt und wesentlich wärmer als Ostchina in gleicher Breite. Der Südwesten von Szetschwan kennt frostfreie Lagen.

In immerfeuchten Äquatorialgebieten, z. B. in Sumatra oder Kolumbien, beträgt die Jahrestemperatur (von der sich diejenige des kältesten und wärmsten Monats hier kaum unterscheidet) an der Frostgrenze nur um 8°. In diesen Gebieten liegt die Frostgrenze zum Teil höher als die Waldgrenze, die auch in den Tropen zwischen den Isothermen des wärmsten Monats von 8° bis 11° liegt. Nicht weit oberhalb der Frostgrenze beginnt hier schon die Zone täglichen Frostwechsels. In Kolumbien liegt sogar die Schneegrenze z. T. wohl nur 600 m über der Frostgrenze. Keine von den Pflanzen, die wir zu den „tropischen“ rechnen könnten, nähert sich hier der Frostgrenze. Die im Jahreslauf zur Verfügung stehende Wärmemenge genügt ihnen nicht. Wärmemangel setzt ihnen Grenzen.

Im frostfreien Gebiet, wo es keine thermisch verursachte Vegetationsruhe gibt, und nur dort, besteht ein Parallelismus zwischen der der Pflanze im Jahr zur Verfügung stehenden Luftwärme und dem Jahresmittel der Temperatur. Es zeigt sich, daß innerhalb des frostfreien Gebiets die durch Wärmemangel entstehenden Verbreitungsgrenzen der Pflanzen, ihre Wärmemangelgrenzen, den Jahresisothermen im Großen etwa parallel laufen, obwohl sich in diesen die für die Pflanze so wichtige Strahlungswärme nicht auswirkt und außer Betracht bleibt.

In ozeanischen Gebieten und den meisten innertropischen Gebirgen erreicht die „Tropenpflanze“ diese Minimalgrenze ihres Wärmebedarfs weit vor oder unter der Frostgrenze. Nicht aber in kontinentalen Teilen des Tropensaumes. Dort stände mancher „Tropenpflanze“ weit über die Frostgrenze hinaus, die ihrer Verbreitung nun Einhalt gebietet, im Jahreslauf genügend Wärme zur Verfügung. Den Anbau einjähriger, von Natur auf die Tropen beschränkter Gewächse mit kürzerer Vegetationsperiode kann der Mensch hier über die Frostgrenze polwärts vortreiben, je weiter, je thermisch kontinentaler und daher sommerwärmer das Gebiet und je kürzer die Vegetationsperiode der betreffenden Pflanze (auch je geringer deren Wärmebedarf) ist. Der Anbau von Reis und Sorghum — letzterer wurde erst durch die Zucht einjährig — reichen im kontinentaleren

Ostasien bis ins Amurland (23 Breitengrade von der Tropengrenze), bei uns nur bis Oberitalien und ins Etschland (12 Breitengrade von der Tropengrenze), jeweils (auch in den USA) etwa bis zur Juliisotherme von 21°. In Indonesien scheint die klimatische Obergrenze des Reisbaues maximal schon bei 1600 m Höhe zu liegen, in NW-Yünnan (26° N) aber bei 2600 m³³⁾. Die Grenze ganzjährigen Reisbaues liegt, soweit sie eine thermische ist, nördlich Tongking und Hainan. Sie liegt dort nahe der Frostgrenze in den Becken, die ja das Hauptareal der Naßkultur sind. Doppelter Reisbau ist auch dort noch möglich, wo 10 Monate frostfrei sind (Süd-China). Nur der ganzjährige Anbau einjähriger in den Tropen beheimateter Gewächse ist auf die Warmtropen beschränkt.

Wir greifen als Beispiel einer Grenze, die dem Anbau einer mehrjährigen Pflanze durch Wärmemangel gesetzt ist, diejenige des Kaffees heraus. Das Kaffeebäumchen ist einerseits fast absolut frostempfindlich³⁴⁾, andererseits kann es in den meisten humiden Klimaten angebaut werden, besonders im Bereich der mesophilen Formationen. Ferner liegt die für die Güte des arabischen Kaffees günstigste Höhenlage nicht weit von der oberen Anbaugrenze. Schließlich scharen sich an seiner Pflanzungsgrenze, auch wo diese Wärmemangelgrenze ist, andere Grenzen des Anbaues und natürlicher Arten, und es liegen dort Übergangsräume von Pflanzengesellschaften.

Die Jahrestemperatur, die im frostfreien Land an der Wärmemangelgrenze der lohnenden Kaffeepflanzung herrscht, beträgt, nach vielen Beispielen über alle Kontinente, etwa 18,3°. Am höchsten steigt diese Isotherme und mit ihr die Wärmemangelgrenze der Kaffeepflanzung am Rand tropischer Hochplateaus, in Kolumbien (1900 m bis 2130 m nach 5 Stationen), den peruanisch-bolivianischen Yungas (Santa Ana 1820 m, Cochabamba 2375 m), Yemen (bis 2200 m)³⁵⁾,

³³⁾ Alle diese Grenzen scheinen vom Wärmebedarf während der Vegetationsperiode des Reises abzuhängen, also Wärmemangelgrenzen der Vegetationsperiode zu sein. Das Sommerhalbjahr der kontinentalen Subtropen (Yünnan) erreicht weit höhere Temperaturen als irgend ein Jahresabschnitt ozeanischer Gebiete der inneren Tropen (Indonesien). Am Amur wie in Yünnan und Indonesien liegt die Grenze anscheinend unweit der Isotherme des drittwärmstens Monats von 17°.

³⁴⁾ In Indochina pflegen die Pflanzler bei neuem Landerwerb für den Kaffeebau Rat in der meteorologischen Zentralanstalt zu holen, ob in der in Aussicht genommenen Lage irgend Frostgefahr besteht.

³⁵⁾ Vgl. J. v. Hann in Sitz. Ber. Akad. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. Bd. 120. Abt. 2a. Dez. 1911; H. v. Wissmann, Westostprofil von Vegetation und Landwirtschaft in Mittel-Yemen, Arabien und seine kolonialen Ausstrahlungen. Lebensraumfragen europäischer Völker II. Leipzig 1941. S. 384.

Abessinien (1800 m bis 2200 m)³⁶⁾, Kenya (1900 m bis 2000 m). In Guatemala liegt diese Isotherme bei 1880 m bis 1520 m³⁷⁾ und scheint mit der Obergrenze des Kaffeebaues zu fallen und zu steigen. In Venezuela fallen beide Niveaus vom Plateau von Merida (1720 m) gegen Caracas (1300 m). Niedrig liegen sie an ozeanischen innertropischen Einzelbergen (Sundainseln: Mittel 1350 m³⁸⁾; Sao Thomé 1400 m; Kamerunberg etwa 1200 m; Südindien: Luv 1200 m, Lee 1500 m³⁹⁾. Gegen den Rand der Tropen hin gibt es weite Gebiete, in denen in den Talbecken der Frost, an den Gehängen die Wärmemangelgrenze den Ausschlag gibt, so schon in Guatemala und vor allem in Sao Paulo, wo die Kaffeegrenze und die Isotherme von 18,3° (zwischen 22° und 23° S) bei 900 m bis 1150 m Höhe liegen. In Natal⁴⁰⁾ liegen diese bei 540 m, in Teneriffa⁴¹⁾ in 100 m bis 350 m. Für Malaga, den Äquatorfernsten Ort, an dem noch Kaffee gedeiht⁴²⁾, erhalten wir 60 m Seehöhe.

In ausgeprägt kontinentalen Gebieten der Polargrenze ist der Frost allein der grenzsetzende Klimafaktor.

Naturgemäß drängen sich an der Frostgrenze mehr Verbreitungsgrenzen zusammen als an einer herausgegriffenen Wärmemangelgrenze. Der Höhengürtel, in dem der Kaffeeanbau aus Wärmemangel endet, ist aber doch aufwärts für viele Tropenpflanzen, abwärts für viele außertropische grenzsetzend. Es scharen sich dort Höhengrenzen so sehr, daß Grenzen von Vegetationsstufen entstehen (Obergrenze der „tierra templada“, der „Woina Dega“). Auch schließt sich die Wärmemangelgrenze viel mehr einer Isohypse an als die Frostgrenze mit ihren Exklaven in Talbecken⁴³⁾. Ich konnte in Süd-Yünnan eine Wärmemangelgrenze weithin am

Berghang verfolgen, als im Frühjahr 1935 die Wälder von *Bauhinia variegata* überall ihre großen weißen, rot verzierten Schmetterlingsblüten öffneten.

Die vegetations- und agrarklimatische Warmtropengrenze folgt, wie wir sehen, in kontinentalen Abschnitten des Außensaumes der Tropen der Frostgrenze. In ozeanischen Teilen folgt sie einem durch Wärmemangel bestimmten Gürtel. Diesem folgt sie auch in den meisten innertropischen Gebirgen. Am kontinentalen Tropenrand, besonders in Beckenlage, greift der Frost ein, wo der Wärmebedarf vieler Tropenpflanzen noch reichlich gedeckt wäre und eine viel weitere Ausbreitung erlauben würde. Am ozeanischen Tropenrand und in innertropischen Gebirgen aber erreichen die meisten Tropenpflanzen eine Minimalgrenze ihres Wärmebedarfs weit vor und unter der Frostgrenze. Somit lösen die Äquatorial- und Untergrenze des Frostes und Wärmemangelgrenzen einander ab zur Bildung der vegetations- und agrarklimatischen Warmtropengrenze. Die Ostküsten der Kontinente mit Ausnahme Südafrikas sind an der Polargrenze der Tropen zum kontinentalen Bereich zu rechnen, die Außenküsten im Westen der Kontinente zum ozeanischen Bereich. Der außertropisch massigste Kontinent, Eurasien, zeigt die stärkste Benachteiligung der Ostseite in Bezug auf die Tropengrenze. Südchina am Wendekreis liegt in den „Randtropen“. Die günstigste Ostküste hat Afrika, das schon bei 35° S endet. Hier reichen die Warmtropen fast bis zur Südküste. Die günstigste Westseite hat Europa. Im Spalier der Sierra Nevada am warmen Westmittelmeer, um Malaga, reichen die Warmtropen am weitesten polwärts. Schon bei Gibraltar und weiter am Ozean ist die Jahrestemperatur niedriger. Die ungünstigste Westküste hat wegen des kalten Perustroms Südamerika. Die Wüstenküste von Peru ist bis zum 10. Grad südlicher Breite nicht warm genug, in ihren Oasen tropischen Anbau zu gestatten. Es folgt die südwestafrikanische Wüstenküste.

Inselhaft, wenn auch ganz randlich warm-tropisch im hier gebrauchten Sinn ist das südliche Ostmittelmeer mit einem schmalen Küstensaum zwischen Djerba und Ghaza, während die anschließende Sahara und das ägyptische Niltal Fröste kennen. Von den Küsten des Roten Meeres reichen die Warmtropen bis ins Jordantal. Auch der SW des Roten Beckens von Szetschwan hat als inselhaftes Gebiet warm-tropische Lagen. Hier ist die Heimat der Pampelmuse (Grapefruit)⁴⁴⁾.

³⁶⁾ Vgl. u. a. *R. Schottenloher* in: *Pet. Geogr. Mitt.* 1939. Abb. S. 270. 273.

³⁷⁾ *K. Sapper* in: *Köppen-Geiger, Handb. d. Klimatologie II.* H. S. 12; *Erg. H. Pet. Geogr. Mitt.* 113. Gotha 1894. 37 f., insb. Anm. 1 auf S. 53.

³⁸⁾ 4 möglichst der Warmtropengrenze nahe Stationen und 2 Stationspaare an Bergfuß und Gipfel (1160 m bis 1490 m).

³⁹⁾ *N. Krebs*, *Vorderindien und Ceylon*. Stgt. 1939. S. 178. II. Trivandrum — Augustia Peak 1200 m; Newara Eliya — Colombo 1380 m; Samoa 1320 m.

⁴⁰⁾ *Pietermaritzburg — Durban*.

⁴¹⁾ *A. v. Humboldt*, *Reise in die Äquatorialgegenden des neuen Kontinents*. Bd. 1. S. 148—155. „In Laguna (550 m) hat man mitten in der Stadt Brotfrucht bäume und Zimtbäume angepflanzt, und sie wurden hier einheimisch wie in Orotava (Küste). Der Anbau der Kaffeebäume ist in Laguna nicht in gleichem Maße gelungen“.

⁴²⁾ *J. v. Hann*, *Zum Klima von Malaga*. *Met. Ztschr.* 1890. S. 198.

⁴³⁾ Im dargelegten Beispiel Honba-Dalat erhält man bei gebräuchlicher Reduktion, die in der vorliegenden Arbeit durchweg verwendet wird (0,5° auf 100 m), 1400 m Höhenunterschied in der Frostgrenze, aber nur 320 m in der Jahresisotherme.

⁴⁴⁾ Anyo 7 Jahre frostfrei, Jahr 18,8°; Tschungking abs. Min. —1,7°, Jahr 18,5°. Tschengtu abs. Min. —1,0°, Jahr 16,4°. Hsüfu „practically no frost“, Jahr 18,1°.

In ozeanischen Gebieten und in Gebirgen der inneren Tropen schaltet sich zwischen Frostgrenze und Wärmemangelgrenzen wie ersichtlich, ein kühler frostloser Gürtel ein, den jene frühe Arbeit von *W. Köppen*⁴⁵ (1884) „konstant gemäßigt“ nennt. In diesen Gebieten folgen einander als Zonen oder Stufen: (manchmal eine heistropische, dann) eine warm-tropische, eine frostfrei kühle, eine thermisch ausgeglichene frostgefährdete, die häufigem, fast täglichem Frostwechsel unterworfen ist, usw. Im kontinentalen Bereich aber grenzt an die warmtropische Zone oder Stufe, die schon starke jahreszeitliche Wärmegegensätze und heiße Sommer hat, eine frostbefallene Zone, deren Sommer oft heißer sind als es Tage der jahreszeitenlosen inneren Tropen sein können. Zwischen sie schaltet sich hier der Gürtel der frostgefährdeten Becken und frostfreien Abdachungen. Im ozeanisch-innertropischen Bereich finden wir in der Vegetation sanfte Übergänge und reiche Formenmischung über die Warmtropengrenze hinweg, im kontinentalen Bereich einen Kampfraum mit einem Mosaik, gewissermaßen einer „Brekzie“, der beiderseits anschließenden Formationen.

Die kühl-frostfreien Breitenzonen erstrecken sich weithin über inselfreien Ozean. Auf der Nordhalbkugel gehören hierher nur die Küstenvorsprünge und Inseln Kaliforniens, die Azoren, Algarve, Gibraltar und Malta. Madeira liegt auf der Tropengrenze, die Bermudas schon in den Tropen. Auf der Südhalbkugel sind außertropisch-frostfrei: die Südküste des Kaplandes, die Küste Südwestafrikas und die nordchilenisch-südperuanische Küste, dazu fünf kleine chilenische Inseln mit Juan Fernandez⁴⁵).

Zu Lande ausgedehnter und bedeutungsvoller ist die kühl frostfreie Höhenstufe tropischer Gebirge. Ihre Mächtigkeit nimmt im Ganzen gegen die feuchten und inneren Tropen zu, aber mit großen örtlichen Gegensätzen. Petropolis und Neu-Freiburg über Rio de Janeiro liegen in ihr. In Guatemala liegen beide Grenzflächen dicht beisammen. In Yemen schneiden sie sich am Plateaurand in etwa 2200 m Höhe. Die Frostgrenze ist ostwärts, die Wärmemangelgrenze westwärts abfallend. Die äußeren westlichen Randgebirge liegen zwischen 1800 m und etwa 2500 m in der kühl frostfreien Zone, während am kontinentalen Ostabfall Becken in 1400 m Höhe noch frostgefährdet sind⁴⁶). In Süd-Abessinien ist die

⁴⁵) Wahrscheinlich auch Inseln und Halbinseln am Spencergolf in Südastralien und der Westvorsprung von Swanland.

⁴⁶) Vgl. *A. Grohmann*, Südarabien als Wirtschaftsgebiet. I. Wien 1922. S. 26. Messungen in Sa'ia. Dieses liegt an der Ostabdachung Yemens in 1350 m Höhe.

Stufe etwa 700 m, am Kenia 1000 m, an der Südostseite des Kilima Ndjaro 1300 m mächtig. In Kolumbien, in den Sundainseln und wohl auch am Kamerunberg umfaßt sie um 2000 m. Die meisten Stadtzentren der inneren tropischen Plateauränder liegen unweit der Kaffee- oder der Frostgrenze, daher im Austauschsaum zweier Höhenstufen: Guatemala, Caracas, Merida, Harrar, Nairobi liegen nahe unterhalb der Kaffeegrenze; Bogotá liegt im frostfrei kühlen Land; Addis Abeba liegt wenig unterhalb, Quito, Cajamarca und Tananarivo ganz nahe, San'â und Asmara wenig oberhalb der Frostgrenze⁴⁷).

Der in der vorliegenden Arbeit in geographisch-vergleichender Zusammenschau gefundene Satz, daß sich die vegetations- und agrarklimatische Warmtropengrenze aus der Äquatorial- und Untergrenze des Frostes in den kontinentalen Randtropen und aus einem Wärmemangel-Grenzraum in den ozeanischen Randgebieten und den meisten innertropischen Gebirgen zusammensetzt, wird von Pflanzensoziologen und Pflanzenklimatologen im Einzelgebiet sowie für die einzelne Pflanzenart und -gesellschaft auf seine Anwendbarkeit zu prüfen sein. Der Physiologe wird für die Einzelpflanze experimentell verschiedenste auch indirekte Klimaabhängigkeiten entdecken, die zu diesem Gesamtbild mitwirken. Vor allem wird die Komplexität der „Wärmemangelgrenzen“ in ihre Komponenten aufzulösen sein. Ich erinnere an die Versuche von *F. Enquist*⁴⁸), die thermische Bedingtheit der Ober- und Polargrenze der einzelnen Baumarten, aus denen sich die Baumgrenze zusammensetzt, zu ergründen, und an die Prüfung seiner heuristischen Ergebnisse durch *O. Langlet*⁴⁹) oder auch an den Umstand, daß manche Pflanzen der Tropen im Treibhaus nur dann blühen, wenn die Helligkeit des Tages

⁴⁷) Guatemala 1490 m, Caracas (Venezuela) 1042 m, Merida (Venezuela) 1640 m, Harrar (Abessinien) 1856 m, Nairobi (Kenya) 1675 m, Bogotá (Kolumbien) 2660 m, Addis Abeba (Abessinien) 2450 m, Quito (Ecuador) 2850 m, Cajamarca (Nord-Peru) 2810 m, Tananarivo (Madagaskar) 1400 m, San'â (Yemen) und Asmara (Erythraea) je 2370 m. Näher den Wendekreisen liegen die Zentren zumeist weit oberhalb der Frostgrenze: Cuzco, La Paz, Mexico, Yünnanfu.

⁴⁸) *F. Enquist*, Trädgränsundersökningar, Baumgrenzuntersuchungen. Svenska Skogsvarvsföreningens Tidskrift 1933. Hälfte II. S. 145/214; auch: Meddelanden från Lunds Universitets Geografiska Institution Ser. C. Nr. 47. Svensk Geografisk Arsbok 1929.

⁴⁹) *O. Langlet* in: Medd. fr. Stat. Skogsförsöksanst., 28. 299—412. 1935. Manche Arealgrenze findet er als nicht rein thermisch, sondern auch hygrisch bestimmt. Hierher gehört auch die Frage der „Hygrischen Kontinentalität“ (*H. Gams*, Z. Ges. Erdk. Berlin. 1933, 231 ff. 1932. 52 ff. 178 ff. *H. v. Wissmann* ebd. 1939. S. 8) und ihrer Bedeutung für die nordöstliche Buchen- und südwestliche Zirbengrenze in Europa.

nicht wesentlich länger (oder kürzer) dauert als zwölf Stunden. Besondere Aufmerksamkeit ist auch den Unter- und Äquatorialgrenzen außertropischer Pflanzen und tropischer Gebirgspflanzen zu schenken. Ich erinnere an die Südwestgrenze von *Pinus silvestris*, die dadurch bedingt ist, daß ihre Samen nur durch Frost keimfähig werden. Wie stark die Warmtrogengrenze tropische und außertropische Flora und Vegetation voneinander trennt, zumal in kontinentalen Gebieten unter der Wirkung des Frostes, zeigt schon die Gegenüberstellung der Mega- und Mesothermen durch *A. de Candolle* (1855)⁴⁸⁾ und die Gliederung der Pflanzendecke der Erde in die borealen, tropischen und australen Florenreiche⁴⁹⁾, die ganz allein durch Ozeane und Trogengrenze voneinander getrennt sind. Im Lande ist somit die Trogengrenze die floristisch schärfste Scheidelinie der Erde. Die große Zahl der rein oder hauptsächlich tropischen Pflanzenfamilien und -gattungen sowie der außertropischen wird in jedem Handbuch der Pflanzengeographie, besonders eingehend in demjenigen von *A. F. W. Schimper* und *F. C. von Faber* (Jena 1935) vorgeführt. Übergangs- und Mischraum sind am ozeanischen Tropenrand und in den tropischen Gebirgen besonders breit. Die kühl frostfreie Zone und Stufe haben ausgeprägte Sonderbildungen, dabei Verbindung sowohl mit den Tropen als den frostbefallenen Stufen und gemäßigten Gebieten. Quer zur thermischen Warmtrogengrenze verlaufen oft die hygischen Grenzen. Nicht nur Regenwald, Savanne, Trockenwald, sondern auch Steppe, Halbwüste und Vollwüste sind beiderseits der Trogengrenze vertreten und zwar mit jeweils beiderseits grundverschiedenem Artenbestand, zum Teil auch recht verschiedener Physiognomie. Der Satz von *A. Schimper*⁵⁰⁾, der floristische Typ sei in erster Linie auf die Wärme, der Vegetationstyp (mit Ausnahme von Hochgebirge und Tundra) in erster Linie auf die klimatische Feuchtigkeit zurückzuführen, muß fallen gelassen werden. Denn auch die die Passatwüsten durch-

ziehende pflanzengeographische Grenze ersten Ranges, die zuerst für das Nilgebiet von *G. Schweinfurth*⁵¹⁾, kürzlich von französischen Pflanzengeographen (*Th. Monod*, *B. Zolotarevski*, *M. Murat*, *A. Chevalier*)⁵¹⁾ für die Westsahara erkannt wurde, und die, wie es sich jetzt erweist, dem Frostgürtel folgt, ist nicht nur — wie es schon *O. Drude*¹⁹⁾ tat — in die palaeotropisch-palaearktische Florenreichsgrenze einzugliedern, sondern sollte auch in Handbüchern und Karten als Grenze von Vegetationsgebieten ersten Ranges erscheinen.

Im humiden Sektor, also im Bereich der Hygro- und Mesophyten, sind die Warmtropen ausgesprochen in die inneren und unteren heißen Tropen (*tierra caliente*)⁵²⁾ und die oberen und äußeren warmen (*tierra templada*) gegliedert. Für die heißen Tropen sind an Fruchtbäumen vor allem die Theobroma-Arten, Kakao (Wärmemangelgrenze bei 22° Jahrestemperatur?) und Pataxte, anscheinend auch manche Garcinien (Mangostan) und Durian, von Gewürzpflanzen z. B. Muskat und „Nelke“ zu nennen. Die meisten Kautschuk liefernden Bäume finden schon in ihr die Obergrenze, sehr tief die in den Sumpfwäldern Amazoniens heimische *Hevea brasiliensis*. Auch viele Dipterocarpaceen reichen nicht weit über diese Zone hinaus, insbesondere der Teakbaum (*Djati*, *Tectona grandis*). Die heißen Tropen sind sehr reich an Palmenarten (*Corozopalme*, *Sagopalme*, *Weinpalme*, *Ölpalme*)⁵³⁾. — Bis gegen die Warmtrogengrenze reichen an Südfrüchten z. B. Ananas, Mango, Guayave, Tamarinde, Limette⁵⁴⁾, Aversrhoa- und Nephelium-Arten und die „chinesische Olive“⁵⁵⁾, von Gewürzpflanzen Zimt, schwarzer und Betelpfeffer, Coca und Vanille, von Knollenfrüchten der Maniok, auch die mehrjährige Baumwolle. Von Palmen findet hier vor allem die Kokospalme ihre Grenze, die sich z. B. in Südchina und Florida der Frostgrenze nähert, doch einen höheren Wärmebedarf als *Coffea* zu haben scheint (Jahresisotherme von 20°?). In Ostasien sind u. a. die Betel- und Zuckerpalme⁵⁶⁾, in Indien *Borassus*, auf den Keys südlich Florida die Königspalme⁵⁷⁾ hier zu nennen. Einige der erwähnten Arten überschreiten die Kaffeegrenze. Noch weiter hinauf und polwärts, auch in leicht frostbefallenes Land, reichen z. B. Anona-Arten, Cassia-Zimt, *Persea gratissima* und besonders die Papaya und die Banane. Die beiden letzteren gedeihen in Ecuador in der kühl frostfreien Stufe bis 2800 m (1100 m über der Kaffeegrenze). Bananenbau dringt bis Kiushiu, ins südliche Mittelchina, nach Cypern, Sizilien und Algier und

⁵⁰⁾ *A. Schimper*, *F. v. Faber*, Pflanzengeographie. Jena 1935. I. S. 267.

⁵¹⁾ *G. Schweinfurth*, Pflanzengeographische Skizze des gesamten Nilgebiets etc. Mit Karte. *Pet. Geogr. Mitt.* 14. 1868. S. 113 ff., 155 ff., 244 ff. — *Th. Monod*, Notes Botaniques sur le Sahara occidental et ses confins sahéliens. La vie dans la région désertique nord tropicale de l'ancien monde. *Mémoires de la Société de Biogéographie* VI. Paris. Lechevalier. 1938. S. 351 ff.; *Th. Monod*, La limite africaine des territoires paléarctique et tropical, ebd. S. 383 ff.; *B. Zolotarevsky*, *M. Murat*, Divisions Naturelles du Sahara et sa limite méridionale. ebd. S. 335 ff.; *R. Maire* ebd. S. 325 ff., *A. Chevalier* ebd. S. 323 ff.; *A. Chevalier* in *Ass. Franç.* LXXX. 1933. 4 ff.; *A. Eig* in: *Fedde*, Repertorium. Beih. 58. 1931. 200 S. *L. Diels*, Beiträge zur Flora der Zentral-Sahara und ihrer Pflanzengeographie. *Englers Bot. Jb.* 54. Beibl. 120. 51 ff. 1917.

⁵²⁾ *C. Troll* nennt in den Yungas nur diese untere die „tropische“, die obere die „temperierte“ Stufe. (in *Handb. d. Geogr. Wiss.*, hrsg. v. *F. Klute*, Band Südamerika. Potsdam, 1930. S. 329).

⁵³⁾ *Atalea Kohune*, *Metroxylon Rumphii*, *Raphia*, *Elacis guineensis*.

⁵⁴⁾ *Citrus limonia* var. *pusilla*.

⁵⁵⁾ *Canarium album* var. *nigrum*.

⁵⁶⁾ *Areca Catechu*, *Arenga saccharifera* und *Engleri*, außerdem *Livistonia sinensis*, *Caryota urens*, *Phoenix Hanceana*, *humilis* *Roebellinii*.

⁵⁷⁾ *Oreodoxa regia*, außerdem *Pseudophoenix Sargentii*.

an die Nordküste des Golfs von Mexico vor⁵⁸⁾. Ähnlich weit ist in den Savannen der Monsunländer der Kapokbaum⁵⁹⁾ verbreitet, in ozeanischen und innertropischen Gebieten noch weiter die Baumfarne (Alsophila). Die Fieberrinde (Cinchona) wird besonders im unteren Teil der feuchten, kühl-frostfreien Stufe innertropischer Gebirge angebaut. Die äußerste Polargrenze der Palmen liegt erst nahe der Polargrenze der Suptropen⁶⁰⁾. Dort wird sie von den Fächerpalmen *Kentia sapida* in Neuseeland, *Trachycarpus excelsa* in Japan und Mittelchina, *Sabal palmetto* im SO der Vereinigten Staaten und den Zwergfächerpalmen *Trachycarpus nana* (Yünnan bis 2500 m) und *Chamaerops humilis* (Mittelmeergebiet) gebildet. Rotang-Palmenlianen (*Calamus*) steigen in Indien und Südchina, die Pacayapalme in Guatemala weit über die Frostgrenze auf. Auf Juan Fernandez (Juania) und in den meisten äquatorialen Gebirgen liegt die Palmengrenze im kühl frostfreien Gürtel: *Ceroxylon andicola* steigt in Ecuador zu 2300 m, in Kolumbien zu über 3200 m hinauf.

Von den Gewächsen, deren Kerngebiet im humiden Bereich beiderseits der Frostgrenze liegt, — ihre Zahl ist an den Ostseiten der Kontinente nicht gering — seien die Citrus-Arten genannt. Unter der Fülle außertropischer Waldbäume, die in den Subtropen sehr artenreich sind, aber nicht oder kaum in die Tropen eindringen, seien die Koniferen und die Eichen als die auf der Nordhalbkugel wichtigsten ausgewählt. Nur wenige Koniferenarten steigen ins innertropische Tiefland hinab wie die Kopalfichte *Agathis alba* in Neu-Guinea, andere in Neu-Kaledonien. Meist sehen wir Koniferen (und auch Eichen) nur unter besonders kargen edaphischen Bedingungen, wo die Konkurrenz gering ist, oder in Sekundärformationen der Rodung oder vom Menschen gepflanzt tiefer in die Tropen hinabsteigen. Von den drei Brücken kühl-frostfreier Berglandinseln, die quer über die Tropen hinweg das außertropische Land im Norden und Süden locker miteinander verbinden, werden alle drei von Koniferen benützt. Am arten-, aber auch endemismenreichsten ist die australasiatische Brücke (*Podocarpus*, *Dacrydium*, *Agathis*, *Dammara*, *Libocedrus*). In der festesten Brücke, der amerikanischen, die sich nur in Mittelamerika in Inseln auflöst, ist es nur *Podocarpus*. In Afrika, wo die Räume zwischen den Gebirgsinseln Trockenland sind, finden wir hochstämmigen Wachholder vom Tanganyikaland nordwärts bis zum großen paläarktischen Verbreitungsgebiet⁶¹⁾. Schuppenblättrige *Callitris*-

Arten leben in Südafrika und den Atlasländern, Breitenadeliger *Podocarpus* reicht in feuchterem Wald von Südafrika bis Abessinien. Das Mittelmeergebiet ist gegenüber Ostasien und Nordamerika arm an Gattungen. 9 Gattungen im Nordwesten der Alten Welt stehen 24 in China gegenüber⁶²⁾. Dem Areal der Araucariacee *Cunninghamia* entspricht in Japan und Mittelchina, wo sie wirtschaftlich sehr wichtig ist, allseits dasjenige der immerfeuchten Subtropen. Die Gattung der Kiefern (*Pinus*) ist von Norden her fast überall, oft in reinen Wäldern einer einzigen Art, bis zur Tropengrenze hin verbreitet, auf den Gebirgen bis Mittelamerika, auf Sumatra bis gegen den Äquator (*P. Merkusii*). Merkwürdigerweise leben *Pinus cubana* und *Quercus virginiana* noch in tropischen Tieflandsümpfen kleiner Inseln um Kuba. Ganz ähnlich wie die der Kiefern ist im Süden auch die Verbreitung der immergrünen Eichen, der hartlaubigen in Gebieten mit Trockenzeit (Kalifornien bis Mexiko, Mittelmeereis bis Yünnan), der lorbeerblättrigen im subtropischen Regenwald oder in Schluchten, die vor starker Verdunstung schützen. Die Artenfülle ist besonders gegen die Tropengrenze hin groß, vor allem, wenn wir die nahe verwandten Gattungen *Castanopsis* und *Lithocarpus* zu den Eichen rechnen. In Mexiko zählte man 112 Eichenarten, in Mittelchina oft schon in einem einzigen Klosterwald ein Dutzend. Im Mittelmeerland sind es am Südsaum nur die Kork-, Kermes- und Knoppereiche. Südwärts reichen Eichen im frostfrei-kühlen Höhengürtel bis Nikaragua, Java und Neuguinea, meiden aber die ostafrikanische Brücke.

Im ariden Sektor, im Bereich der Xerophyten, ist die Bedeutung der Tropengrenze nicht weniger einschneidend als im humiden. Vor allem als Frostgrenze scheidet sie auch hier sehr stark. Die Bestandbildner und die Leitpflanzen sind hüben und drüben fast durchwegs verschiedene. Da aber die Beschreibung der tropischen Wüsten und Steppen in pflanzengeographischen Darstellungen bisher zumeist ganz fehlt, müßte hier eine eingehendere Darstellung folgen. Diese würde den Rahmen des Aufsatzes sprengen.

In den Übergangszonen zwischen ariden und humiden Gebieten sind die Sukkulente von besonderer Bedeutung. Für die Cactaceen, *Agave* und *Jucca* Amerikas liegt das Übergewicht nördlich, für die sukkulenten Euphorbien und Aloë der alten Welt südlich des Äquators. *Agave* und *Yucca* sind vorwiegend außertropisch, Aloë und Euphorbien sind in Südafrika auch in Gebieten mit Frost artenreich, ebenso die Cactaceen vor allem im subtropischen Nordamerika. Auf der Nordhalbkugel überschreiten Aloë und sukkulente Euphorbien nur in wenigen Arten die Frostgrenze. So ist *Euphorbia officinalis*, deren kurze dicke Stämmchen zu einem halbkugelförmigen Polster dicht zusammenschließen, im frostbefal-

⁵⁸⁾ Vgl. *H. Winkler*, Der Kulturgürtel der Gattung *Musa*. Die Pflanzenareale. 1. Reihe. H. 2. Karte 12.

⁵⁹⁾ *Bombax malabarica*, nicht die sehr ähnliche, verwandte *Ceiba pentandra*.

⁶⁰⁾ Wenn man die Subtropen dadurch definiert, daß in ihnen wenigstens 8 Monate ein Mittel von mehr als 9,5° haben. Auch *Washingtonia* Arten in Süd-Kalifornien, *Jubaea spectabilis* in Chile, *Cocos* Arten in Argentinien, *Livistona australis* in SO-Australien reichen über die Frostgrenze hinaus. Nur in Südafrika reichen Palmen kaum über die Tropengrenze.

⁶¹⁾ In Ostafrika bis Abessinien *Juniperus procera*, in Yemen und auf dem Djebel Qôra bei Mekka eine noch unbestimmte Art, in Syrien *Juniperus excelsa*. Yemen nach *Ch. Defflers*, Voyage au Yemen. Paris. 1889. Dj. Qôra nach *A. Schimper* (1835).

⁶²⁾ Nur im Westen: *Callitris*, *Cedrus*; zugleich in China: *Taxus*, *Cupressus*, *Juniperus*, *Pinus*, *Abies*, *Picea*, *Larix*; in China allein: *Podocarpus*, *Dacrydium*, *Cephalotaxus*, *Amentotaxus*, *Torreya*, *Thuja*, *Glyptostrobus*, *Cryptomeria*, *Taiwania*, *Cunninghamia*, *Tsuga*, *Pseudotsuga*, *Keteleeria*, *Pseudolarix*, *Libocedrus*, *Fokienia*, *Chamaecyparis*.

lenen Hochland von Yemen endemisch⁶³). Aber viele, oft eng endemische, klimatisch eng begrenzte Arten finden sich in Dornbusch und mesophilem Gehölz vom Tiefland bis in die kühl-frostfreie Zone. So sind die riesigen Kandelaber der *E. Ammak* in Yemen (und *E. Abyssinica* in Äthiopien) in der frostfreien Stufe oberhalb der Kaffeegrenze heimisch, *E. Meuleniana* im luftfeuchten Dornbusch der Küste von Hadramaut, *E. Canariensis* in der schmalen Tropenzone der Kanaren, *E. balsamifera* verbindet Kanarien, Küstensahara und Sudan, *E. Royleana* die Strauchsteppe am Tropenrand zwischen Westhimalaya und Yünnan. Auch die Arten des Drachenblutbaums (*Dracaena*) gehören dieser Übergangszone an. Sie steigen in den Kanarischen Inseln, in Abessinien, Hadramaut, Soqotra, Birma, Yünnan und Melanesien bis gegen die Tropengrenze auf.

Unter den Dornsträuchern (zu denen auch *Euphorbia* subtropische und tropische Arten beisteuert⁶⁴) sind die Akazien hervorzuheben. Sie bilden vor allem in den tropischen Trockengebieten, von Wüstensteppen und Grundwasser führenden Wadis bis zum Miombowald aller Kontinente, aber nur wenig in Trockenwald und Hochgrassavanne, Bestände. Auf der Südhalbkugel und in Nordamerika lebt eine größere Zahl in den frostgefährdeten Subtropen⁶⁵), wenige erreichen die frostgefährdete nord-saharisch-pendjabische Trockenzone⁶⁶). In der nord-äquatorialen Alten Welt enden fast alle Arten polwärts im Bereich des Frostgürtels oder überschreiten ihn wenig, am meisten *Acacia tortilis*⁶⁷). Diese, mit der vikariierenden *A. spirocarpa* sowie *A. seyal*⁶⁸), sind vom Senegal bis zum Toten Meer, Yemen und Sambesi verbreitet. Die meisten saharisch-arabischen Arten sind rein tropisch. In der Wüstensteppe von Senegal bis Sind (unterem Indus) sind *Acacia Senegal* und *arabica*, in Steppe und Dornbusch vom Westsudan bis Hadramaut *Acacia mellifera* und *laeta* verbreitet. *A. lahai* bewohnt trockene Standorte der Kaffeestufe (Yemen, Abessinien, Kenya), *A. abyssinica* in den gleichen Ländern die kühl frostfreie Region. Im frostbefallenen Hochland

⁶³) Vgl. C. Rathjens, H. v. Wissmann, Südarabien-Reise. Abh. a. d. Gebiet d. Auslandskunde Bd. 40. Hamburgische Universität. 1934. Phot. 132. Für alles folgende auch: O. Schwartz, Flora des tropischen Arabien. Mitt. a. d. Inst. d. allg. Botanik. Hbg. 10. Bd. 1939. Ähnlich ist *Euphorbia Echinus* der Küstensahara. Vgl. La vie dans la région désertique nord tropicale de l'ancien monde. Société de Biogéographie. Abb. S. 334.

⁶⁴) *Euphorbia acanthoides* als Kugelstrauch der Phrygana; *Euphorbia cuneata* und andere in den Tropen.

⁶⁵) z. B. *Acacia horrida* und *giraffae* in Südafrika.

⁶⁶) z. B. *Acacia gummifera* in Mauretanien.

⁶⁷) Süd-Tunis und -Algerien, Kairo-Suez, Ahaggar bis über 1400 m.

⁶⁸) *Acacia Seyal* reicht in der Zentral-Sahara bis 27½° N, um Khaibar und Medina anscheinend bis 900 m, nordöstlich Aqaba mischt sie sich bei 600 m Höhe in eine sonst fast rein subtropische Assoziation. Vgl. R. Grandmann, die Steppen des Morgenlandes. Geogr. Abh. 3. Reihe. H. 6. 1934; C. Doughty, Arabia Derserta. London. 1888 u. 1928. *Acacia albida* ist mehr Steppenbaum, vom Senegal bis Betschuanaland, und steigt in Ahaggar und SW-Afrika weit über die Frostgrenze auf.

von Yemen lebt nur die endemische *A. pachyceras*⁶⁹). Im Trockenwald vom Sudan über die Kolla Abessinien bis Indien wächst der Formenkreis der *A. catechu*. Im tropischen Feuchtwald lebten nur wenige schlingende Arten, vor allem die afrikanisch-asiatische *A. pennata*, die ich in Yünnan häufig bis zur Tropengrenze fand. Im subtropischen Wald der Südhemisphäre sind in Afrika *A. molissima* und *decurrens*, in SO-Australien die Wattle-Akazien daheim. Diese werden auch auf subtropisch feuchten Plateaurändern von Natal für die Gerberei gepflanzt.

Auch die Palmen senden Arten in den ariden Sektor. Die Nordgrenze der wilden Dumpalme, die von Gambia bis Yemen verbreitet ist, liegt in Air, am Nil nördlich Aswan und am Nordende des Roten Meeres nahe südlich der Frostgrenze. Den Hainen von *Medemia Argun* in Wadis der tropischen Wüstensteppe Nubiens entsprechen diejenigen von *Hypphae* cfr. *nodularia* in frostfreien Wadis von Nord-Hadramaut. Im tropischen Arabien kennen wir fünf, wahrscheinlich sieben einheimische Palmen⁷⁰), aus den weiten frostgefährdeten Teilen Arabiens aber nur die Oasenkultur der Dattelpalme, deren Gebiet sich vom Atlantischen Ozean bis zum Indus beiderseits der Frostgrenze hinzieht.

Wir können die Vegetation der Wüstensteppe, die beiderseits der Frostgrenze in ihrer Zusammensetzung von Grund auf verschieden ist, wenn auch ein breiter Übergangstreifen wohl den „Randtropen“, dem Gebiet mit Frösten nur in den Becken entspricht, nur kurz betrachten. Auf tropischer Seite reichen manche der wichtigsten Leitarten vom Senegal über Nubien, die Küsten des Roten Meeres, das heiße Land Südarabiens und Süd-Irans bis Sind; so der immergrüne, breitgelagerte Rákstrauch der Wadis mit seinen würzigen Beeren (*Salvadora persica*), oder der Sodomsapfel (*Calotropis procera*), eine bleichgrüne, übermannshohe Pflanze mit milchsaftigen Blättern, „nutzlos für Mensch und Vieh“ (*Doughty*), oder der blattlos grünindige Rutenstrauch „Markh“ (*Leptadenia*), oder der obstbaumähnliche Christusdorn (*Zizyphus spina Christi*), dessen erquickende gelbbraune Früchtchen in den tropischen Steppen und Oasen wichtige Nahrung in Zeiten der Not sind. Die wichtigste Kamelweide der tropischen Wüstensteppe ist das ausdauernde, sparrige, kopstenbildende Gras *Panicum turgidum*, Schusch der Nubier, Bokâr der Araber, das noch in leicht frostgefährdetes Land reicht.

Nur in den frostgefährdeten Wüsten nördlich der Frostgrenze leben z. B. die beiden Arten des sogenannten Kamelgrases, *Alhagi camelorum* und *maurorum*, grünindige Rutensträucher, von denen der eine von Nordarabien bis Zentralasien, der andere vom Fezzan bis zum Hoangho verbreitet ist, ähnlich wie die Gattung *Haloxylon* (*Saxaul*). Auch ein

⁶⁹) Von 19 in Arabien beheimateten Arten sind 13 rein tropisch, 2 bewohnen die kühle, 1 die frostgefährdete Stufe, 1 reicht von den Tropen in die kühle, 2 in die frostgefährdete Stufe.

⁷⁰) M. Burret, Die Palmen Arabiens. Botan. Jahrb. 73. 1943. S. 180 ff. mit Karte von H. v. Wissmann.

anderer bestandbildender Rutenstrauch, *Retama retam*, ist nur außertropisch (Spanien bis Nordarabien). Der tropischen Wüste fehlen die Federgräser, die noch in Nordarabien und Nordwestafrika (*Halfagras*, *Stipa tenacissima*) weit verbreitet sind, es fehlen fast ganz die Wermut-Arten, deren manche, besonders *Artemisia herba alba*, im frostbefallenen Gebiet große Bestände bilden. Es fehlen fast alle

Tragant-Arten, an denen noch Unterägypten und Arabia Petraea (31 Arten) so reich sind. Es fehlt der tropischen Wüste und Steppe der bunte Frühlingflor der Zwiebel- und Knollengewächse. Von Einjährigen ist u. a. die Jerichorose fast ganz außertropisch⁷¹⁾. Andererseits sind die tropischen Halbwüsten und Steppen viel reicher an Holzgewächsen, Bäumen und Sträuchern, als die außertropischen.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit ist vor allem der Versuch einer schärferen Definition der „Tropen“. Den „mathematisch-solaren“ und den „witterungsklimatischen Tropen“ werden die „Warmtropen“ gegenübergestellt, die sich mit jenen keineswegs decken. Diese „warmen Tropen“, die bisher ebenfalls als „Tropen“ bezeichnet wurden, sind in erster Linie als bioklimatischer, insbesondere pflanzenklimatischer Begriff ausgeschieden worden, wenn sie auch bodenkundlich und geomorphologisch von großer Bedeutung sind. Sie sind der Vegetationsbereich der „Megathermen“, die hohes Wärmebedürfnis mit absoluter Frostempfindlichkeit vereinigen. Die Grenze des Megathermenreiches ist daher aus der absoluten Frostgrenze und einem Gürtel von Wärmemangelgrenzen zusammengesetzt. Und zwar ist in kontinentalen Abschnitten des Tropensaums die Frostgrenze äquatornäher oder tiefer als die Wärmemangelgrenzen und daher allein wirksam. In ozeanischen Abschnitten des Tropensaums und an innertropischen Gebirgen liegen die Wärmemangelgrenzen tiefer und äquatornäher als die Frostgrenze. Dort schaltet sich zwischen beide ein kühl frostfreier Gürtel als Zone oder Stufe ein, dessen besonderem Klima auch eine Vegetation eigener Art entspricht. Wo aber der Frost die Warmtropen begrenzt, schaltet sich eine oft breite Zone ein, in welcher Lagen unbehinderten Luftabflusses frostfrei, eingeschlossene, zum Stagnieren der Luft geeignete Lagen frostgefährdet sind („Randtropen“). Die absolute Frostgrenze mit ihrem Randtropensaum und die Wärmemangelgrenze der Kaffeepflanzung, (die Jahresisotherme von 18°, soweit sie unterhalb bzw. äquatorwärts der Frostgrenze liegt) werden kartographisch dargestellt (Abb. 2). Das Verhältnis dieser Säume zu Vegetations- und Anbauarealen wird mit Beispielen von Leit- und Wirtschaftspflanzen skizziert. In dieser nur skizzenhaft vorgeführten Zusammenschau bestätigt sich die Richtigkeit des deduktiv abgeleiteten Satzes. Es wird aber darauf aufmerksam gemacht, daß man vor allem die Wärmebedarfsgrenzen der Warmtropenpflanzen (und die Kältebedarfsgrenzen der außer-

tropischen Pflanzen) 1. heuristisch durch Vergleich mit klimatischen Iso-Linien und vor allem 2. experimentell in verschiedenartige Komponenten wird auflösen können.

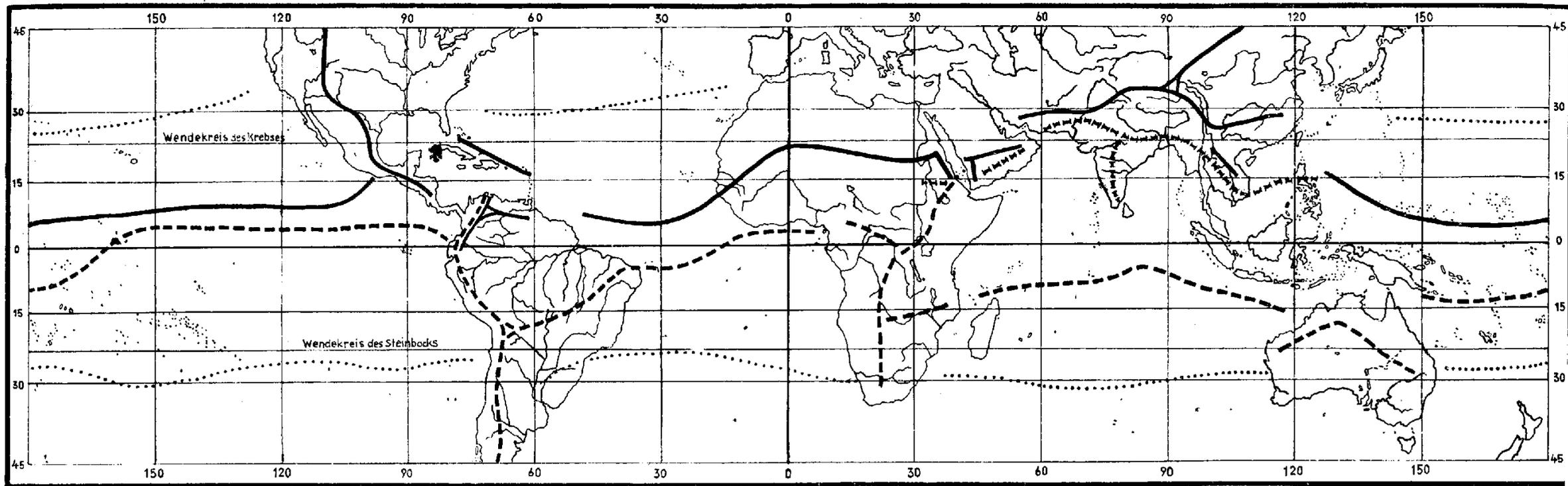
Die Einschränkung der Warmtropen auf ihren humiden Sektor (Köppen¹⁴⁾, Krebs¹⁶⁾) führte zur Vernachlässigung der Warmtropengrenze in Trockengebieten — deren Wichtigkeit von Schweinfurth⁵¹⁾ (1868) und Drude¹⁹⁾ erkannt worden war — in späteren pflanzengeographischen Arbeiten, etwa bei Engler⁷²⁾ und Schimper-Faber⁵⁰⁾. Die neuen Arbeiten französischer Pflanzengeographen in der Westsahara⁵¹⁾ können als Grundlage für breitere Untersuchungen über die pflanzenklimatischen Frost- und Warmtropengrenzen in ariden Gebieten dienen.

Die einschneidende grenzsetzende Bedeutung der Frostgrenze auch in den ariden Gebieten, welche zeigt, daß die Florenreichsgrenze auch hier eine Vegetationsgrenze erster Ordnung ist, ist wesentlich für die Klärung der Begriffe „Flora“ und „Vegetation“. Einheitliche Gebiete werden sowohl durch ihre Flora, die Gesamtheit ihrer Pflanzenarten in ihrer systematischen Zusammengehörigkeit, als auch ihre Vegetation, die die Gesamtheit des soziologisch-ökologischen Zusammenlebens ihrer Pflanzen umfaßt, gekennzeichnet. Grenzsetzend sind für beide vor allem: 1. die Trennung von Land und Wasser, 2. die Klimakontraste und 3. die Scheidung gleichartiger Gebiete durch fremdartige Zwischenräume der beiden erstgenannten Kategorien⁷³⁾. Edaphische Faktoren ordnen sich unter. Die Physiognomie kann täuschen. Die dritte der genannten Kategorien, die räumliche Scheidung, kann vom Menschen für die Wirtschaftspflanzen überwunden werden.

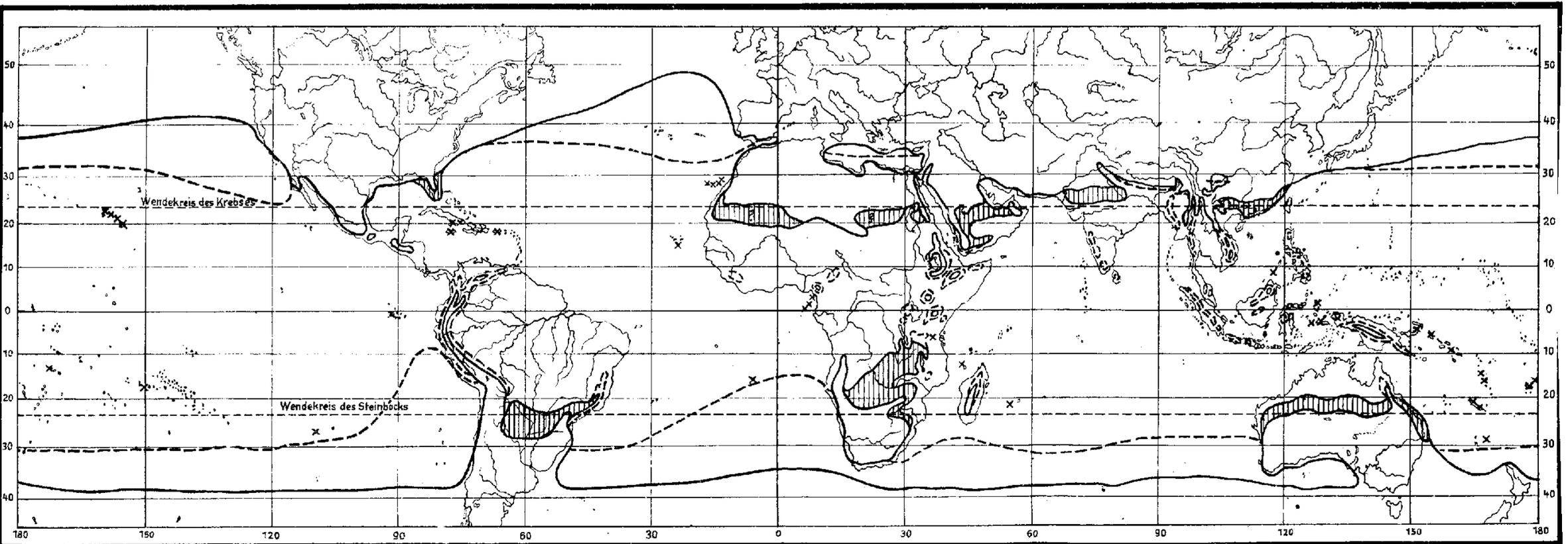
⁷¹⁾ Sie reicht bis ins frostbefallene Hochland von Yemen.

⁷²⁾ A. Engler, Die Pflanzenwelt Afrikas. I. Teil II. S. 1003 in Engler-Drude, Die Vegetation der Erde.

⁷³⁾ Ozeane zwischen Kontinenten, Tiefländer zwischen Hochgebirgen usw.



..... *Rossbreiten des jeweiligen Winters* *Thermische (und Wind-) Äquatoren und Kontinentalachsen:* — des Hochsommers der Nordhemisphäre —>— des Mai und Juni - - - des Hochsommers der Südhemisphäre



— Absolute Frostgrenze ▨ „Randtropen“ mit Frost nur in Lagen mit stagnierender Luft - - - Jahresisotherme von 18,3° innerhalb der frostfreien Zone, als Wärmemangelgrenze des Kaffeeanbaues
 x aus den warmen Tropen herausragende Einzelberge