

EINE KARTE DER HYGROTHERMISCHEN KLIMATYPEN VON EUROPA

Mit 4 Abbildungen und 1 Beilage (IV)

WILHELM LAUER und PETER FRANKENBERG

Summary: A map of hygrothermic climatic types of Europe

Within the framework of a project for the classification of the earth's climates, a "Map of Hygrothermic Climatic Types of Europe" is presented. While the basic idea of an ecological classification of climates is adhered to, the map represents a refinement of the methods developed by the authors for the Mexican Highlands and Africa.

As basic factors for all terrestrial life, radiation-, heat- and water-budget must serve as classificatory dimensions of the climates. In a solar-climatological sense the *climatic zones* are subdivided into Subtropics (B), Midlatitudes (C) and Polar Regions (D). Within these climatic zones the *climatic regions (climatic types)* are delimited by *isothermomenes* and *isohygomenes* according to the length of the thermic and hygric vegetation period. All months with an average mean temperature of $\geq 10^\circ\text{C}$ are defined as the thermic vegetation period. The length of the humid season is considered as the hygric vegetation period. A month is called "atmospherically humid", if precipitation (N) equals or exceeds the calculated *optimal landscape evapotranspiration* (oLV). The term "oLV" signifies that amount of evapotranspiration which allows a maximal biomass production of the actual vegetation. From the calculated rates of the evaporation from open water surfaces (pV) the monthly rates of oLV are derived by *conversion factors* (UF), which allow for the seasonally varying aspects of the different natural and cultural vegetation units. Beside "atmospherically humid", „edaphically humid“ months are classified, in which the vegetation can compensate precipitation deficiencies by using stored soil water. For fallow months and months with snow cover gliding conversion factors resp. absolute values, both based on thermic criteria, serve to calculate a *potential fallow evaporation* (pBV) resp. a *potential snow evaporation* (pSV).

1. Zur Einführung

Strahlungs-, Wärme- und Wasserhaushalt sind Grundgrößen jeglichen Lebens auf der Erde. Daher gelten sie als Dimensionen der vorliegenden ökoklimatischen Klassifikation Europas und seiner Randgebiete. Als übergeordnete Dimension einer hygrothermischen Klimatypenkarte dient das solare Strahlungsklima zur Abgrenzung der mittleren Breiten gegenüber den anderen Klimazonen. Innerhalb dieser solaren Klimazonen werden Klimatypen als Er-

gebnis der ökoklimatischen Differenzierung nach hygrischen und thermischen Kriterien ausgewiesen. Sie kommen in der Karte als Klimaregionen zur Geltung.

Während in der Tropenzone die Isothermie des Klimas es zuließ, den Wärme- bzw. Temperaturfaktor durch Jahresisothermen (Temperaturhöhenstufen) auszudrücken, mußte bei der Klimatypenkarte von Europa die Darstellung des Wärmefaktors neu überdacht werden. Anstelle der in den Außertropen ökologisch wenig aussagekräftigen Jahresisothermen wurden monatliche Werte der *Länge der thermischen Vegetationszeit* als Wärmeparameter benutzt.

Auch die hygrische Dimension der Klimatypen ist landschaftsadäquater bestimmt worden. In die Berechnung der monatlichen Länge der humiden Phase des Jahres hat nicht nur der räumliche sondern auch der jahreszeitliche Landschaftswandel sowohl naturnaher als auch kultureller Geosysteme einbezogen werden können. (Zur Entwicklung der Methode vgl. LAUER 1951, 1952, 1978; LAUER u. FRANKENBERG 1978, 1981a, 1981b.)

Die *thermische Dimension* der Klimatypen (Klimaregionen) wird über mittlere monatliche Andauerwerte der thermischen Vegetationszeit ausgedrückt. Die *hygrische Dimension* der Klimate ist nach wie vor durch die Anzahl der humiden Monate (hygrische Vegetationszeit) bestimmt. Folglich werden die Klimaregionen in der Karte durch *Isothermomenen* (= Anzahl der thermischen Vegetationsmonate) und *Isohygomenen* (= Anzahl der humiden Monate) abgegrenzt.

Mit der Andauer der thermischen und hygrischen Vegetationszeit gibt die Karte der hygrothermischen Klimatypen Europas die wesentlichen ökoklimatischen Parameter wieder. Die Klimaklassifikation berücksichtigt stärker die Prozeßabläufe im Sinne eines ökologischen Regelkreises, indem die wechselseitige Prägung von Klima und Vegetation in Form der Steuerung des Wasserhaushaltes durch die zeitlich und räumlich stark variierende Vegetationsdecke in die Berechnungen einbezogen wird. Die Temperatur ist als „fühlbare“ Wärme ein Teilausdruck der Strahlungsbilanz, da der Strahlungsumsatz mit seiner

Komponente der fühlbaren Wärme entscheidend von der Vegetation als Ausdruck der realen Bodenbedeckung gesteuert wird (KESSLER 1985).

Die konsequente Einteilung der Klimate in der vorliegenden Klimaklassifikation nach einem durchgehend quantifizierten Verfahren unterscheidet sich wesentlich von den Klimaklassifikationen W. KÖPPENS sowie von C. TROLL und K. H. PAFFEN (vgl. LAUER u. FRANKENBERG 1985).

2. Zur Methode

Die quantitative Durchdringung der Klimaklassifikation basiert im wesentlichen auf einer Neukonzeption der Klimatypen. Auch die aus astronomischen Parametern abgeleiteten solaren Klimazonen werden erstmals als vorgegebene Grundeinheiten des irdischen Klimas in eine Klimaklassifikation einbezogen. Vor der allgemeinen Beschreibung der solaren Klimazonen soll jedoch zunächst die Methode zur Bestimmung der thermischen und hygrischen Klimatypen erläutert werden.

2.1. Die thermische Dimension der Klimatypen

Die Länge der thermischen Vegetationszeit (Isothermomenen) ist bestimmt durch die Anzahl der Monate mit einer Mitteltemperatur $\geq 10^\circ\text{C}$. Die Literatur weist aus, daß in den außertropischen Breiten Wachstums- und Entwicklungsphasen der Vegetation mit der Zahl der Monate $\geq 10^\circ\text{C}$ umschrieben werden können (s. LARCHER 1980). So repräsentiert beispielsweise die mit der polaren Waldgrenze koinzidierende $10^\circ\text{-Juli-Isotherme}$ auf Grund des spezifischen Jahresgangs der Temperatur das Vorkommen von Waldformationen an ihren Extremstandorten. Da mit zunehmendem Strahlungsgenuß die Zahl der Tage $\geq 10^\circ\text{C}$ zunimmt und damit zugleich eine Verlängerung der Vegetationszeit stattfindet, kann die thermische Klimaabfolge der Außertropen in ihrer vollen Bandbreite von 0 bis 12 Vegetationsmonaten beschrieben werden. Damit gewinnt man den Anschluß an die thermischen Warmtropen.

2.2. Die hygrische Dimension der Klimatypen

Die Berechnung der Anzahl der humiden Monate wurde auf eine landschaftsadäquatere Grundlage gestellt. Die bewährte Formel zur Berechnung der Verdunstung freier Wasserflächen, wie sie zur Erstel-

lung der Karte der hygrothermischen Klimatypen von Afrika abgeleitet wurde, ist beibehalten worden.

$$pV = \frac{tae \times S^{0,98}}{12}$$

wobei: pV = potentielle Verdunstung freier Wasserflächen im Sinne einer Tankverdunstung,

tae = potentielle Äquivalenttemperatur,
S = relatives Sättigungsdefizit

Zur Ableitung der Landschaftsverdunstung aus den errechneten Werten der potentiellen Verdunstung freier Wasserflächen wurden an die Stelle im Jahresgang konstanter Reduktionsfaktoren (LAUER u. FRANKENBERG 1981) monatliche *Umrechnungsfaktoren* (UF) gesetzt, die dem saisonal variierenden Aspekt des realen Systems Boden/Pflanze Rechnung tragen. Die Umrechnungsfaktoren repräsentieren dabei jeweils den saisonalen Wandel der Bestandstranspiration der gegebenen Vegetationseinheiten und der Bodenevaporation als den eigentlichen Verdunstungsträgern der verschiedenen Landschaftseinheiten. Der wesentliche saisonale Steuerungsfaktor der Verdunstung von Landschaftseinheiten ist die Bestandstranspiration. Daher wurden der Literatur Werte der optimalen Verdunstung der einzelnen Vegetationsbestände entnommen. Lagen für einen Bodenbedeckungstyp (z. B. Grünland) verschiedene Angaben vor, so wurden diese gemittelt.

Zur Ableitung der Umrechnungsfaktoren (UF) aus den Angaben zur optimalen Bestandstranspiration (oB) mußten die Transpirationswerte den pro Klimastation errechneten Werten der potentiellen Verdunstung freier Wasserflächen (pV) gegenübergestellt werden. Dazu wurden die monatlichen pV-Werte der Klimastationen, die in einem Raumtyp der Bodenbedeckung liegen, gemittelt. Aus dem Quotienten $\frac{oB}{pV}$ resultieren die Umrechnungsfaktoren (UF).

Über diese Umrechnungsfaktoren wird aus der pV die *optimale Landschaftsverdunstung* (oLV) zur Bestimmung der humiden Monate abgeleitet. Der bisher (LAUER u. FRANKENBERG 1978, 1981) verwendete Begriff der potentiellen Landschaftsverdunstung (pLV) wurde durch den Begriff der optimalen Landschaftsverdunstung (oLV) ersetzt, weil dieser die Evapotranspiration des Systems Boden/Pflanze ausdrückt, welche eine maximale Nettobiomassenproduktion der *gegebenen* natürlichen oder kultürlischen Vegetation ermöglicht. Es wird damit die für die Biomassenproduktion der realen pflanzlichen Bodenbedeckung am jeweiligen Standort optimale Verdunstung ausge-

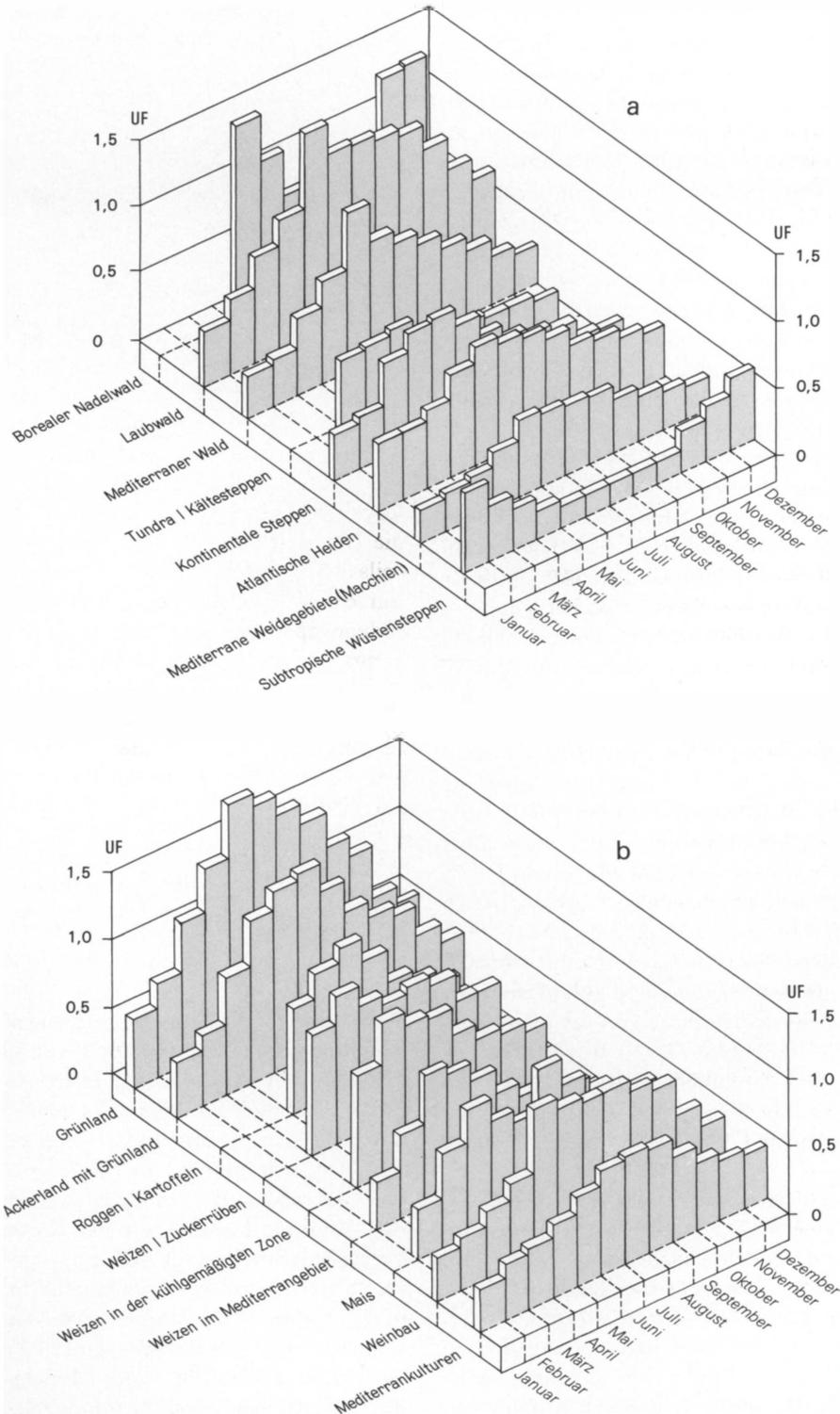


Abb. 1: Monatliche Umrechnungsfaktoren (UF) zur Ableitung der optimalen Landschaftsverdunstung (oLV) aus der potentiellen Verdunstung freier Wasserflächen (pV), differenziert nach Typen der Vegetation (a) und der Landnutzung (b)

Monthly conversion factors (UF) to estimate the optimal landscape evapotranspiration (oLV) on the basis of the potential evaporation from open water (pV) differentiated according to different types of vegetation (a) and land use (b)

drückt. Die monatliche optimale Landschaftsverdunstung (oLV) wird berechnet durch $pV \times UF$. Zur Ableitung der Umrechnungsfaktoren (UF) konnte auf vielfältige Angaben der Bestandstranspiration europäischer Vegetationseinheiten in der Literatur zurückgegriffen werden (s. Literaturverzeichnis).

Die Auswahl der Vegetationseinheiten, für die die Umrechnungsfaktoren (UF) von pV zu oLV abgeleitet wurden, geschah über einen modifizierten Kartenentwurf von PFEIFER (1966). Für jeden der in diesem Kartenentwurf ausgewiesenen 20 Bodenbedeckungstypen wurden monatliche Umrechnungsfaktoren (UF) ermittelt, um über die pV die mit dem Vegetationsrhythmus variierende optimale Landschaftsverdunstung (oLV) berechnen zu können. Diese wurde dem Niederschlag (N) zur Bestimmung der Anzahl der humiden und ariden Monate pro Klimastation gegenübergestellt. Bei $N \geq oLV$ gilt ein Monat als humid, bei $N < oLV$ als arid. Die Anzahl der humiden Monate drückt die hygrisch optimale Vegetationszeit der realen Bodenbedeckung aus.

In Monaten der Brache und der Schneebedeckung wird keine optimale Landschaftsverdunstung (oLV) bestimmt, da man in diesen Zeiten nicht von einer Biomassenmaximierung der realen Vegetationseinheiten ausgehen kann. Für diese Zeiten sind Umrechnungsfaktoren bzw. Absolutwerte zur Ableitung einer potentiellen Bracheverdunstung (pBV) bzw. potentiellen Schneeverdunstung (pSV) berechnet worden. Die Anzahl der humiden Monate in Perioden der Brache und der Schneebedeckung ergibt sich aus der Bilanzierung von pBV, pSV und N.

Die Umrechnungsfaktoren (UF) zur Ableitung der optimalen Landschaftsverdunstung (oLV) sind für die in ihrer Ökophysiologie stark variierenden Vegetationseinheiten der Abb. 1 zu entnehmen. Die UF zur Ableitung der potentiellen Verdunstung von Brache (pBV) und die Absolutbeträge der potentiellen Schneeverdunstung (pSV) sind in Abb. 2 dargestellt.

Die Anzahl der Brachemonate wurde phänologischen Karten von SCHNELLE (1965, 1970) entnommen. Als Monate mit Schneebedeckung (Schneemonate) wurden bei Vorliegen entsprechender Stationsbeobachtungen (*Deutscher Wetterdienst* 1980–1982) solche Monate definiert, in denen im langjährigen Mittel in mehr als der Hälfte der Tage Schneebedeckung auftritt. Es sind dies zumeist Monate mit einer Mitteltemperatur $\leq -1^\circ\text{C}$. Daher wurden für Klimastationen, von denen keine Angaben der Schneebedeckungen vorliegen, diejenigen Monate als Schneemonate bezeichnet, in denen die Mitteltemperatur bei $\leq -1^\circ\text{C}$ liegt. Bei Brache mit Schnee-

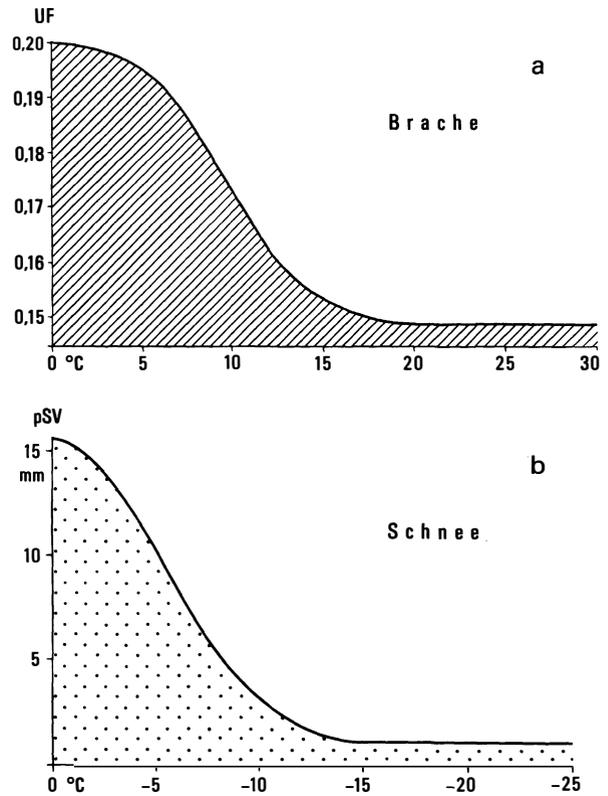


Abb. 2: Umrechnungsfaktoren (UF) zur Ableitung der potentiellen Verdunstung von Brachen (a) und Absolutbeträge der potentiellen Schneeverdunstung (b)

Conversion factors (UF) to estimate the potential evaporation from fallow land (a), and absolute values of potential evaporation from snow-covered land (b)

bedeckung gilt die Schneebedeckung als reale Bodenbedeckung zur Ableitung der Verdunstung.

Die in der Karte durch Isohygromenen ausgedrückte Zahl der humiden Monate ist also bestimmt durch die Anzahl der Monate, in denen das Niederschlagsaufkommen (N) die Verdunstung (oLV, pBV, pSV) erreicht oder überschreitet. Es sind dies „aerisch“ humide Monate, die das Kartenbild von der hygrischen Seite her als Ausdruck der Länge der hygrisch optimalen Vegetationszeit bestimmen. Häufig reicht der im Boden gespeicherte Wasserüberschuß aerisch humider Phasen aus, um der Vegetation auch noch während aerisch arider Monate eine optimale Bestandstranspiration zu ermöglichen. Diese Monate werden als „edaphisch“ humid bezeichnet. Die Gesamtzahl aerisch und edaphisch humider Monate ist in der vorliegenden Karte der hydrothermischen Klimatypen Europas durch kursiv gedruckte Ziffern vermerkt. Zur Ableitung der edaphisch humiden

Monate wurde der Bodenwasserhaushalt nach dem Kriterium des Bodenwasservorrates am Ende der aerisch humiden Periode und des Bodenwasseraufbrauchs durch die reale Vegetation in der sich anschließenden aerisch ariden Phase bestimmt.

3. Die Karte der hygrothermischen Klimatypen Europas

Die Karte der hygrothermischen Klimatypen von Europa (s. Beilage IV) zeigt die übergeordneten solaren Klimazonen nach dem Kriterium des Bestrahlungsganges sowie die Differenzierung in Klimaregionen nach dem Kriterium der Länge der thermischen und hygrischen Vegetationszeit der rezenten Bodenbedeckung.

Der Kartenausschnitt hat Anteil an drei solaren Klimazonen: den Subtropen (B), den Mittelbreiten (C) sowie den Polargebieten (D). Der solarklimatische Grenzsaum zwischen Subtropen (B) und Mittelbreiten (C) stellt eine nach den Landschaftsgegebenheiten leicht abgewandelte Bestrahlungsgrenzlinie dar. Sie ist definiert als die Grenze polwärts derer sich der Sonnenstand im Winter niemals über das unterste Viertel des Himmelsquadranten erhebt (vgl. LOUIS 1958, S. 156). In der *Subtropenzone* treten in der Ebene keine echten Hochwinter auf. Unter günstigem Neigungswinkel des Geländes kommt es im Sommer zu zenitalem Sonnenstand und damit extremem Strahlungsgenuß. Die Tageslängen variieren in den Subtropen z. B. in 35° Breite zwischen 9½ Stunden im Dezember und 14½ Stunden im Juni (s. Abb. 3). Die Tageslängenunterschiede sind im Gegensatz zu den Tropen bereits deutlich ausgebildet. Im Kartenausschnitt treten lediglich die winterfeuchten Subtropen auf. Sie sind dort mit Bw bezeichnet.

Die solarklimatische Polargrenze ist diejenige Linie, polwärts derer Polartage und Polarnächte auftreten. Zwischen den solarklimatischen Grenzlinien der Subtropen und der Polargebiete liegt die *Zone der Mittelbreiten* (C). Es ist nach LOUIS (1958) die Klimazone, in der sowohl Hochsommer als auch Hochwinter auftreten. Die Ausbildung der Jahresamplitude der Temperaturen wird entscheidend vom Kontinentalitätsgrad bestimmt. Die 0°-Isotherme des kältesten Monats (auf den Meeresspiegel reduziert) scheidet in der Karte das maritime Klima der Mittelbreiten (Cm) von dem gemäßigten Klima der Mittelbreiten (Cg). Die 0°-Isotherme der fünf kältesten Monate (Mitteltemperatur jedes Monats $\leq 0^\circ\text{C}$) trennt die noch gemäßigten Mittelbreiten von den kontinentalen Mittelbreiten (Ck) mit ihren ausgesprochen kalten Wintern und heißen Sommern. In den Mittel-

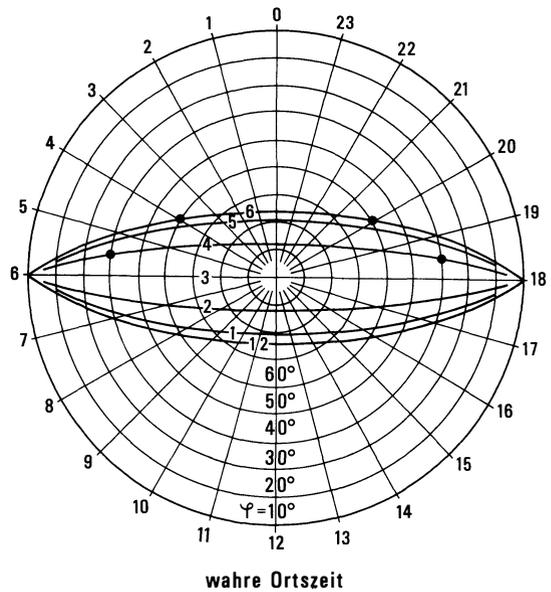


Abb. 3: Diagramm der theoretischen täglichen Sonnenscheindauer (nach JUNGHANS 1969)

Diagram of the theoretical daily duration of sunshine (after JUNGHANS 1969)

breiten variiert die Tageslänge bei 50° Nord von 8 Stunden im Dezember bis 16 Stunden im Juni. Der kürzeste Tag ist also gerade halb so lang wie der längste (vgl. Abb. 3).

Die *Polarzone* (D) nimmt im Kartenbild nur einen sehr marginalen Raum ein. In ihr sind die Differenzen der Tageslängen extrem ausgebildet. In Nordnorwegen, in 70° Breite, dauert der längste Tag 24 Stunden, der kürzeste 0 Stunden. Im Februar liegt dort die Tageslänge bereits bei 7½ Stunden, im August bei 16½ Stunden.

Die den Klimazonen untergeordneten Klimaregionen (Klimatypen) werden in der Karte durch Isothermomenen und Isohygromenen begrenzt. Sie sind durch die Länge der thermischen und der hygrischen Vegetationszeit definiert. Die Klimaregionen umfassen in der Regel zwei Humiditätsstufen, die durch arabische Ziffern, und jeweils ein bis zwei thermische Stufen, die durch römische Ziffern gekennzeichnet sind (s. Legende der Kartenbeilage).

Die Klimaregionen sind in der Karte durch Farben dargestellt, die so ausgewählt wurden, daß Gelb die warmtrockenen, Blau die kühlfeuchten und Grüntöne die warmfeuchten Klimatypen repräsentieren. Über Farbmischung konnten 41 Klimatypen unterschieden werden. Es wurde versucht, den kontinuierlichen hygrothermischen Wandel durch kontinuierliche Farbübergänge zu veranschaulichen.

Zur besseren Identifikation der Farben ist der Klimatyp in der Regel durch eine hierarchische Ziffernkombination ausgewiesen. Der Großbuchstabe (z. B. C = Mittelbreiten) bezeichnet die solare Klimazone, der Kleinbuchstabe beinhaltet eine Zusatzinformation (z. B. Ck = kontinentale Mittelbreiten). An die Buchstabenkombination wird die Ziffernkombination angehängt, welche den Klimatyp definiert (z. B. 1-2 = ein bis zwei hygrische Vegetationsmonate, I-II = ein bis zwei thermische Vegetationsmonate). Eine Klimaformel Cm VI, 7-8 bedeutet mithin ein maritimes Klima der Mittelbreiten mit 7-8 hygrischen und 6 thermischen Vegetationsmonaten. Dieser Typ tritt beispielsweise am Niederrhein auf. Die hydrothermische Vegetationszeit ergibt sich aus der Überlappung von thermischer und hygrischer Wachstums- und Entwicklungsphase der betreffenden Pflanzen (s. Abb. 4).

Als weitere Information zu den die Klimatypen repräsentierenden Farben und Klimaformeln wurden an einer Vielzahl von Klimastationen zusätzlich die Kalendermonate benannt, welche aerisch humid sind. Dies dient der Identifizierung der Hauptregenzeiten. Die Kalendermonate der längeren aerisch und edaphisch humiden Phasen sind durch kursiv gedruckte Ziffern vermerkt.

4. Das Kartenbild

Im Kartenbild tritt im äußersten Südwesten, am *Rande der Sahara*, ein Klimatyp mit 0 hygrischen und 11-12 thermischen Vegetationsmonaten auf. Das Atlasgebirge hebt sich mit längerer hygrischer und kürzerer thermischer Vegetationszeit eindrucksvoll von der Eintönigkeit der Sahara ab.

Die Reliefvielfalt der *Iberischen Halbinsel* verursacht eine enge Kammerung der Klimaregionen. Markant hebt sich das ausgesprochene Trockengebiet von Almería mit nur 1-2 hygrischen und 11-12 thermischen Vegetationsmonaten hervor und kontrastiert mit der feuchten Nordküste Spaniens (11-12 hygrische und 9-10 thermische Vegetationsmonate).

Frankreich zeigt großflächige Strukturen seiner Klimaregionen als Ausdruck einer großzügigen Morphologie, mit Ausnahme des kleingekammerten Südostens. Beherrschend sind Flächen mit 7-8 hygrischen Vegetationsmonaten. Als „Feuchtenase“ tritt mit 11-12 hygrischen Vegetationsmonaten die Bretagne hervor.

Großbritannien ist klimatypisch zweigeteilt. Im südenglischen Schichtstufenland reduziert sich die humide Zeit auf 5-6 Monate bei 6 thermischen Vegeta-

tionsmonaten. Im gebirgigen Norden Schottlands hingegen dominieren feuchtkühle Klimatypen bis hin zu ganzjähriger Humidität.

In *Irland* ist auffallend, daß die hohe Verdunstungsrate des vorherrschenden Grünlandes trotz hoher Niederschläge die Anzahl der hygrischen Vegetationsmonate auf 9-10 beschränkt. Nur die Gipfelagen des südwestlichen Berglandes sind in allen Monaten humid. Die Wiesen und Weiden Irlands werden also in zwei bis drei Monaten des Jahres nicht optimal mit Niederschlagswasser versorgt. Selbst hier macht sich eine relative Sommertrockenheit bemerkbar.

Die weiten Flächen des zentralen *Island* sind vollhumid. Hier wird in keinem Monat des Jahres das 10°C-Mittel der Temperatur erreicht oder überschritten. In trockeneren Küstenbuchten sind immerhin noch 1-2 Monate als thermische Vegetationszeit aufzufassen.

Die Westabdachung *Skandinaviens* erscheint im Kartenbild in tiefen Blautönen. Die Länge der hygrischen Vegetationsperiode vermindert sich von ganzjähriger Humidität auf 7-8 Monate in den Niederungen des östlichen und südlichen Schwedens. In den Hauptackerbaugebieten Schonens werden 5 thermische Vegetationsmonate erreicht.

Die Klimaregionen *Mitteleuropas* spiegeln in erster Linie das Relief wider. Doch prägt auch die Bodenbedeckung das Bild der hygrischen Differenzierung. Nur in den Höhenlagen der Gebirge kann das gesamte Jahr als hygrische Vegetationszeit gelten. Die Länge der thermischen Vegetationszeit sinkt dort jedoch auf 4 Monate ab. Allerdings sind infolge des Maßstabes die obersten Höhenstufen kartographisch nicht darstellbar. In den Alpen begrenzt die 2000 m-Isohypse die Regionen mit einmonatiger thermischer Vegetationszeit nach oben. Die Alpen zeigen mit Ausnahme der tiefer eingeschnittenen Trockentäler eine hygrisch ganzjährige Vegetationszeit. In den landwirtschaftlich genutzten Ebenen Mitteleuropas dominiert bei gemischter Acker-Grünlandnutzung der Klimatyp Cm V, 7-8. In Luvlagen am Nordrand der Alpen sind trotz der Grünlandnutzung noch 9-10 Monate des Jahres humid.

Im *östlichen Mitteleuropa* weist das Kartenbild 9-10 humide Monate aus. Der eingeschränkte Feuchteanspruch des dominierenden Ackerbaus kompensiert teilweise die geringen Niederschläge, wohingegen die reinen Grünlandgebiete des nördlichen Mitteleuropa infolge der hohen Verdunstungsraten des Grünlandes durch eine deutlich verkürzte hygrische Vegetationszeit (5-6 Monate) auffallen. Dem optimalen Verdunstungsanspruch der Gräser entspricht das

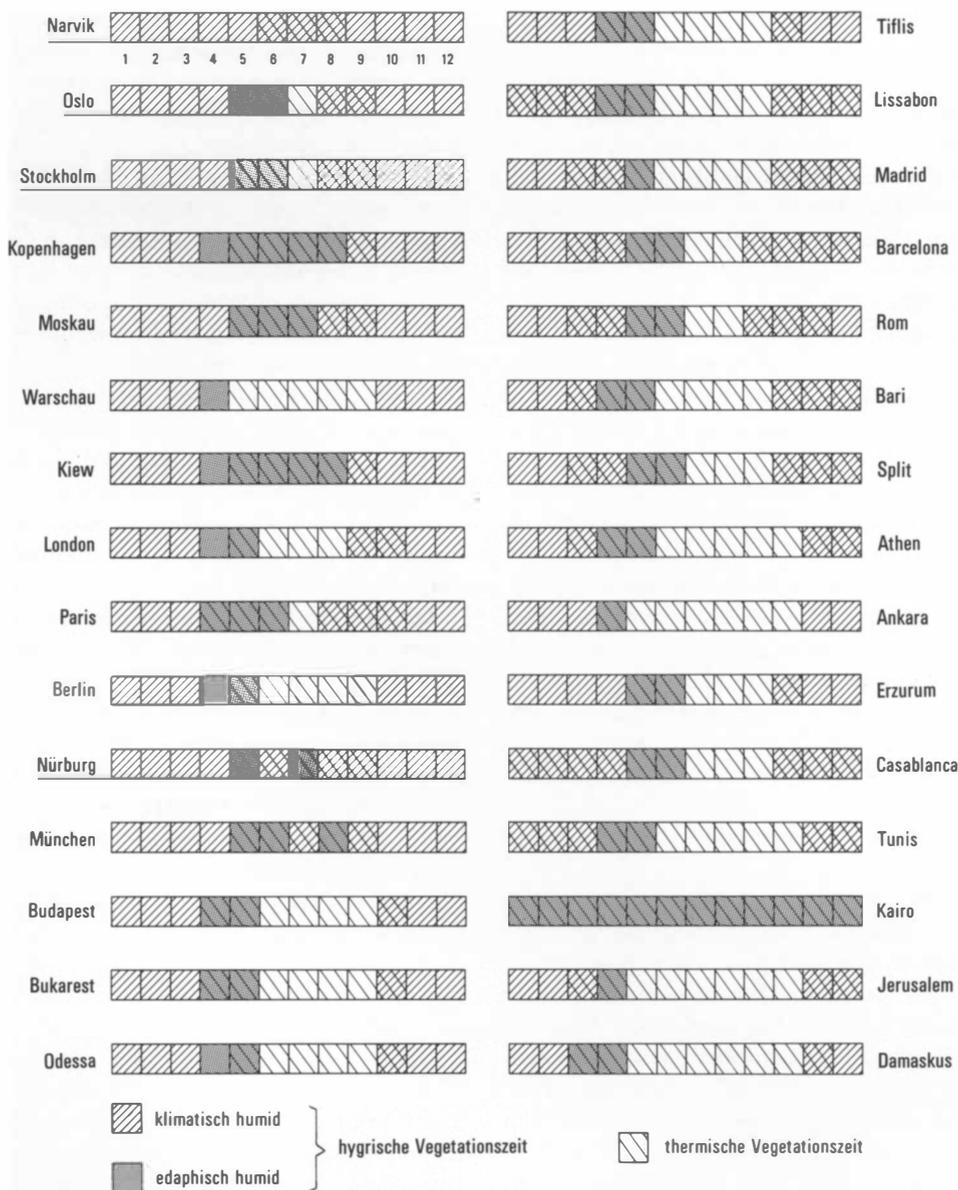


Abb. 4: Mittlere Phasen der monatsweisen Koinzidenz von thermischer und hygrischer Vegetationszeit an ausgewählten Klimastationen

Mean monthly phases of coinciding thermic and hygric vegetation periods at selected climatic stations

Niederschlagsdargebot weniger als den Steppenbiotopen der Getreidelandschaften, die zeitweise brachfallen und dann kaum Wasseransprüche haben.

Die weiten Steppen *Osteuropas* sind auf Grund ihrer Reliefarmut und ihrer Vegetations- bzw. Nutzungshomogenität klimatisch weniger differenziert. Hier beginnen die ausgesprochen kontinentalen Klimate (Ck). Vom Eismeer bis zum Kaukasus steigt die Zahl der thermischen Vegetationsmonate von 1-2 auf 7-8.

Die Länge der hygrischen Vegetationszeit verhält sich umgekehrt. Sie umfaßt im Norden Osteuropas noch das ganze Jahr, im Süden nur 5-6 Monate.

Die klimatische Gliederung *Italiens*, des *Balkans* und *Kleinasiens* ist infolge der ausgesprochenen Kleinkammerung des Reliefs sehr differenziert. Zugleich zeigt sich ein zonaler Wandel der Humidität und der Länge der thermischen Vegetationszeit, die an der Südküste Siziliens das ganze Jahr umfassen kann.

Umgekehrt reduziert sich die Länge der hygrischen Vegetationszeit. Die Dinarischen Alpen bedingen auf dem Balkan eine meridionale Anordnung der Klimaregionen. Der Karpatenbogen hebt sich als Feuchteinsel ab. Von der Mittelmeerküste Jugoslawiens bis zur Schwarzmeerküste Bulgariens geht die Länge der hygrischen Vegetationszeit von 9–10 Monaten auf 5–6 Monate zurück, wohingegen die thermische Vegetationszeit in den Ebenen mit 7–8 Monaten auffällig konstant bleibt.

In *Kleinasien* zeichnen Isothermomenen und Isohygromenen so deutlich wie in Spanien das Relief nach. Es überwiegen trockene Klimatypen, aus denen sich der Kaukasus und der Südrand des Schwarzen Meeres als Feuchteinseln abheben. Besonders trocken sind die Binnenbecken zwischen den Gebirgsketten. Zu den Wüstengebieten der Arabischen Halbinsel und des Iran konvergiert die Humidität kontinuierlich gegen Null. Aus diesen Wüstenbereichen kristallisieren sich lediglich der mediterrane Saum Syriens, des Libanon, Israels und Ägyptens mit einer höheren Humidität heraus. Eine Einschränkung der thermischen Vegetationszeit ist dort kaum zu verzeichnen.

5. Die Diagramme der hydrothermischen Vegetationszeit

Zur weiteren Erläuterung der Klimatypen in der Klimakarte zeigen einige Diagramme die Überlappung von thermischer und hygrischer Vegetationszeit (s. Abb. 4). Sie verdeutlichen, wie sich aus der Kombination der beiden die Klimatypen bestimmenden Dimensionen die Definition einer optimalen pflanzlichen Wachstumsphase ergibt. Die Diagramme sind räumlich generell von Nord nach Süd angeordnet. Es zeigt sich, daß nahezu überall in Europa eine sommerliche aride Phase auftritt, während die Winter in der Regel außerhalb der thermischen Vegetationszeit liegen. Das Diagramm Narvik repräsentiert den Klimatyp ganzjähriger aerischer Humidität an Teilen der atlantischen Küste Nordeuropas. Es überlappen sich dort während dreier Sommermonate die hygrische und die thermische Vegetationszeit. Die Diagramme Nürburg, München, Kiew, Moskau und Kopenhagen zeigen, daß das Bodenwasser noch die sommerliche aerisch aride Phase überbrückt, daß während des gesamten Jahres eine optimale Wasserversorgung sichergestellt ist.

Wie aus der Zusammenstellung der Diagramme hervorgeht, nimmt die Länge der thermischen Vegetationszeit im Kartenausschnitt nach Süden zu, während der Sommer mit steigender Kontinentalität

arider wird. So eignen Kairo 12 thermische Vegetationsmonate, aber kein aerisch hygrischer Vegetationsmonat. Doch gewährt die Bewässerung mit Nilwasser die Möglichkeit einer ganzjährigen edaphischen Humidität.

Für das gesamte kontinentalere Europa ist das Auseinanderklaffen von thermischer und hygrischer Vegetationszeit besonders charakteristisch. An der Station Warschau schließen sich thermische und hygrische Vegetationszeit aus. In Berlin stellt sich nur der Mai hygrisch wie thermisch als optimaler Monat für das Pflanzenwachstum dar.

Im Mittelmeerraum ergeben sich in der Regel längere hydrothermisch optimale Phasen. Es sind die Übergangsmonate des Jahres, die sowohl thermisch als auch hygrisch phytoökologisch optimal sind. In Rom koinzidiert an immerhin 7 Monaten des Jahres eine zumindest edaphisch optimal humide Phase mit der thermischen Vegetationszeit. Die Wachstumsbedingungen der Pflanzen sind also im Mittelmeergebiet weit günstiger als im kontinentalen östlichen Europa.

Im westlichen Europa ähnelt die hydrothermische Struktur der des nördlichen Mittelmeerraumes. Paris weist 6 Monate der Koinzidenz von hygrisch optimaler und thermischer Vegetationszeit auf, München 5 Monate. Im afrikanischen und asiatischen Mittelmeerraum verschieben sich die Optimalphasen des Pflanzenwachstums zum Spätherbst und zu den Frühjahrsmonaten.

6. Schlußbetrachtung

In der beschriebenen Karte der hydrothermischen Klimatypen Europas hat die Konzeption der Klimatypisierung, insbesondere die Definition von Humidität und Aridität, eine pflanzenökologisch fundierte Realisierung erfahren. Die Humidität im Sinne eines Optimums der Wasserversorgung der realen Pflanzenwelt ist allerdings nur durch eine untere Grenze (Trockengrenze) definiert worden. Eine Feuchtegrenze (obere Trockengrenze), jenseits derer ein gesteigertes Wasserangebot die Biomassenproduktion wieder einschränkt, konnte leider aus dem bisher vorliegenden ökophysiologischen Datenmaterial nicht definiert werden (vgl. FRANKENBERG 1985).

Auf der Grundlage der bisherigen Forschungen zur ökophysiologischen Klimagliederung der Tropen und der Außertropen soll in einem nächsten Schritt zur hydrothermischen Differenzierung der ganzen Erde eine Weltkarte entwickelt werden.

Literatur

- ATANASIU, N.: Die Wasserversorgung unserer Kulturpflanzen in Abhängigkeit von Klima und Boden. In: Berichte des Deutschen Wetterdienstes in der US-Zone, Nr. 32, 1951, S. 9-13.
- BAC, S.: Meßergebnisse des Wasserverbrauchs von Kulturpflanzen mit Großlysimetern. In: Wissenschaftliche Zeitschrift der Karl-Marx-Universität Leipzig. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe, Bd. 13, H. 4, 1964, S. 793-798.
- BAUMGARTNER, A.: Verdunstung im Walde. In: GÜNTHER, K. H. (Hrsg.): Wald und Wasser. Entwicklung und Stand. Hamburg/Berlin 1979, S. 39-53.
- BLANEY, H. F. u. CRIDDLE, W. D.: Determining Consumptive Use and Irrigation Water Requirements. United States Department of Agriculture, Technical Bulletin No. 1275. Washington 1962.
- Deutscher Wetterdienst (Hrsg.): Klimadaten von Europa. Offenbach/M. Teil I: Nord-, West- und Mitteleuropa, 1980; Teil II: Südwesteuropa und Mittelmeerländer, 1981; Teil III: Südost- und Osteuropa, 1982.
- EHLERS, W.: Evapotranspiration and Drainage in Tilled and Untilled Loess Soil with Winter Wheat and Sugarbeet. In: Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, Bd. 142, 1976, S. 285-303.
- FRANKENBERG, P.: Zum Problem der Trockengrenze. In: Geographische Rundschau, Bd. 37, 1985, S. 350-358.
- FREITAG, E.: Studien zur phänologischen Agrarklimatologie Europas. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, Bd. 14, Nr. 98. Offenbach/M. 1965.
- HOYNINGEN-HUENE, J. v.: Mikrometeorologische Untersuchungen zur Evapotranspiration von bewässerten Pflanzenbeständen. Berichte des Instituts für Meteorologie und Klimatologie der Universität Hannover, Bd. 19. Hannover 1980.
- JUNGHANS, H.: Sonnenscheindauer und Strahlungsempfang geneigter Ebenen. Abh. d. Met. Dienstes der DDR, Nr. 85, Bd. XI. Berlin 1969.
- KAVIANI, R.: Untersuchungen über die potentielle Verdunstung von Rasenflächen mit unterschiedlichem Grundwasserstand mit Hilfe von Lysimetern im Vergleich zu berechneten Werten. In: Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau, Bd. 139, 1974, S. 249-258.
- KELLER, R.: Zum Wasserverbrauch von Vegetation und Wirtschaft. In: Erdkunde, Bd. 2, 1948, S. 93-100.
- : Natur und Wirtschaft im Wasserhaushalt der rheinischen Landschaften und Flußgebiete. Forschungen zur Deutschen Landeskunde, Bd. 57, 1951.
- : Gewässer und Wasserhaushalt des Festlandes. Eine Einführung in die Hydrogeographie. Berlin 1961.
- KESSLER, A.: Anthropogene Änderungen des Strahlungshaushaltes der Erdoberfläche. In: Erdkunde, Bd. 39, 1985, S. 175-179.
- KLAUSING, O.: Wasserstand und Wasserbilanz von Vegetation und Boden an Standorten bestimmter Pflanzengesellschaften des Mittelmeergebietes. Angewandte Pflanzensoziologie, Bd. 18. Stolzenau 1961.
- KONSTANTINOV, A. R.: Evaporation in Nature. Jerusalem 1966.
- KÖPPEN, W.: Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise ihrer Beziehungen zur Pflanzenwelt. In: Geographische Zeitschrift, Bd. 6, 1901, S. 593-611 u. 657-679.
- LARCHER, W.: Ökologie der Pflanzen auf physiologischer Grundlage. 3. Aufl., Stuttgart 1980.
- LAUER, W.: Hygrische Klimate und Vegetationszonen der Tropen mit besonderer Berücksichtigung Ostafrikas. In: Erdkunde, Bd. 5, 1951, S. 284-293.
- : Humide und aride Jahreszeiten in Afrika und Südamerika und ihre Beziehungen zu den Vegetationsgürteln. In: Bonner Geographische Abhandlungen, Bd. 9, 1952, S. 15-98.
- : Ökologische Klimatypen am Ostabfall der mexikanischen Meseta. In: Erdkunde, Bd. 32, 1978, S. 101-110.
- LAUER, W. u. FRANKENBERG, P.: Untersuchungen zur Ökologiklimatologie des östlichen Mexiko. Erläuterungen zu einer Klimakarte 1: 500 000. In: Colloquium Geographicum, Bd. 13, 1978, S. 1-134.
- : Eine Karte der hygrothermischen Klimatypen Afrikas. In: Erdkunde, Bd. 35, 1981a, S. 245-248.
- : Untersuchungen zur Humidität und Aridität von Afrika. Das Konzept einer potentiellen Landschaftsverdunstung. Bonner Geographische Abhandlungen, Bd. 66, 1981b.
- : Versuch einer geoökologischen Klassifikation der Klimate. In: Geographische Rundschau, Bd. 37, 1985, S. 359-365.
- LEBEDEV, A. N.: The Climate of Africa. Jerusalem 1970.
- LOMAS, J.: Climate and Forestry. In: La-Yaaran, Bd. 30, 1980, S. 33-36.
- LOUIS, H.: Der Bestrahlungsgang als Fundamentalscheinung der geographischen Klimaunterscheidung. In: PASCHINGER, H. (Hrsg.): Geographische Forschungen. Festschrift für H. KINZL, Schlern-Schriften, Bd. 190, 1958, S. 155-164.
- MITSCHERLICH, G.: Wald, Wachstum und Umwelt. Bd. 2: Waldklima und Wasserhaushalt. Frankfurt 1971.
- MÜLLER, M. J.: Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde. Forschungsstelle Bodenerosion der Universität Trier, Bd. 5. Trier 1979.
- OHLMEYER, P. u. HOYNINGEN-HUENE, J. v.: Problems of the Estimation of Consumptive Use in Extremely Arid Climates. ICID National Committee of the Federal Republic of Germany, Bull. 5. Bonn 1976.
- PAUCKE, H. u. LUX, E.: Zur wasserregulierenden Wirkung des Waldes. In: Acta Hydrophysica, Bd. 23, 1978, S. 129-176.
- PENMAN, H. L.: Vegetation and Hydrology. Bucks 1963.
- PFEIFER, G.: Karte der Bodennutzung Europas. In: TROLL, C. (Hrsg.): Der neue Herder Handatlas. Freiburg et al. 1966, S. 17.
- PRIBÁN, K. u. ONDOK, J. P.: The Daily and Seasonal Course of Evapotranspiration from a Central European Sedge-

- Grass Marsh. In: *Journal of Ecology*, Bd. 68, 1980, S. 547-559.
- RICHTER, D.: Darstellung von Methoden zur rechnerischen Bestimmung der Gebietsverdunstung. *Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der DDR*, Bd. 98. Berlin 1969.
- SCHMIEDECKEN, W.: Die Bestimmung der Humidität und ihrer Abstufung mit Hilfe von Wasserhaushaltsberechnungen - ein Modell (mit Beispielen aus Nigeria). In: LAUER, W. (Hrsg.): *Klimatologische Studien in Mexiko und Nigeria, Beiträge zum Problem der Humidität und Aridität. Colloquium Geographicum*, Bd. 13, 1978, S. 135-159.
- SCHMIEDECKEN, W. u. STIEHL, E.: Wald und Wasserhaushalt. *Klimatologische und hydrologische Untersuchungen in der Rureifel*. In: ERIKSEN, W. (Hrsg.): *Studia Geographica. Festschrift für W. LAUER. Colloquium Geographicum*, Bd. 16, 1983, S. 165-195.
- SCHNELLE, F.: Beiträge zur Phänologie Europas I. 5 Mittelwertskarten, Erstfrühling bis Herbst. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, Bd. 14, Nr. 101. Offenbach 1965.
- : Beiträge zur Phänologie Europas II. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, Bd. 16, Nr. 118. Offenbach 1970.
- SCHRÖDER, D.: Der Wasserverbrauch verschiedener Kulturpflanzen und seine Beziehungen zu Düngung, Ertrag, Niederschlag und Wurzelwachstum. *Diss. Bonn* 1971.
- : Der Wasserverbrauch des Weizens und Roggens und seine Beziehungen zu Düngung, Ertrag, Niederschlag und Wurzelwachstum. In: *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau*, Bd. 138, 1973, S. 300-318.
- SELLERS, P. J. u. LOCKWOOD, J. G.: A Numerical Simulation of the Effects of Changing Vegetation Type on Surface Hydroclimatology. In: *Climatic Change*, Bd. 3, 1981, S. 121-136.
- STOCKER, O.: Die Abhängigkeit der Transpiration von Umweltfaktoren. In: RUHLAND, W. (Hrsg.): *Handbuch der Pflanzenphysiologie*, Bd. 3: Pflanzen und Wasser. Berlin u. a. 1956, S. 436-488.
- TROLL, C.: Karte der Jahreszeiten-Klimate der Erde. In: *Erdkunde*, Bd. 18, 1964, S. 5-28.
- WALTER, H.: Die Vegetation der Erde in ökophysiologischer Betrachtung. Bd. II: Die gemäßigten und arktischen Zonen. Stuttgart 1968.
- : *Vegetation und Klimazonen. Die ökologische Gliederung der Geo-Biosphäre*. 4. Aufl., Stuttgart 1979.
- WECHMANN, A.: *Hydrologie*. München/Wien 1964.
- WENDLING, U.: Zur Messung und Schätzung der potentiellen Verdunstung. In: *Zeitschrift für Meteorologie*, Bd. 25, 1975, S. 103-111.

INTERANNUAL VARIATIONS OF SUMMER PRECIPITATION IN EAST ASIA: THEIR REGIONALITY, RECENT TREND, AND RELATION TO SEA-SURFACE TEMPERATURE OVER THE NORTH PACIFIC*)

With 12 figures

MASATOSHI YOSHINO and TAKASHI AOKI

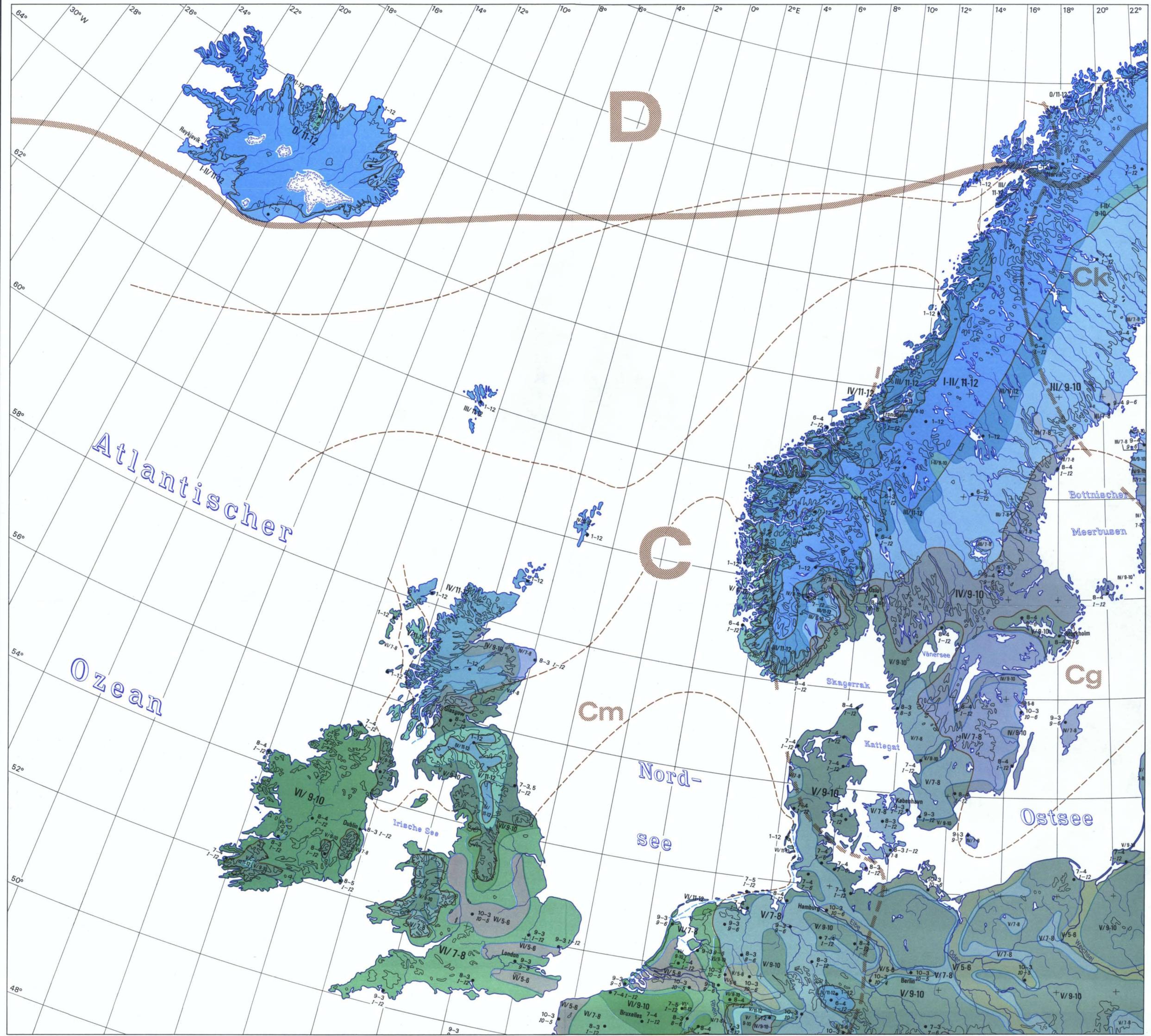
Zusammenfassung: Interannuelle Variabilität der Sommer-niederschläge in Ostasien: Regionalität, rezenter Trend und Zusammenhänge mit der Meeresoberflächentemperatur über dem Nordpazifik

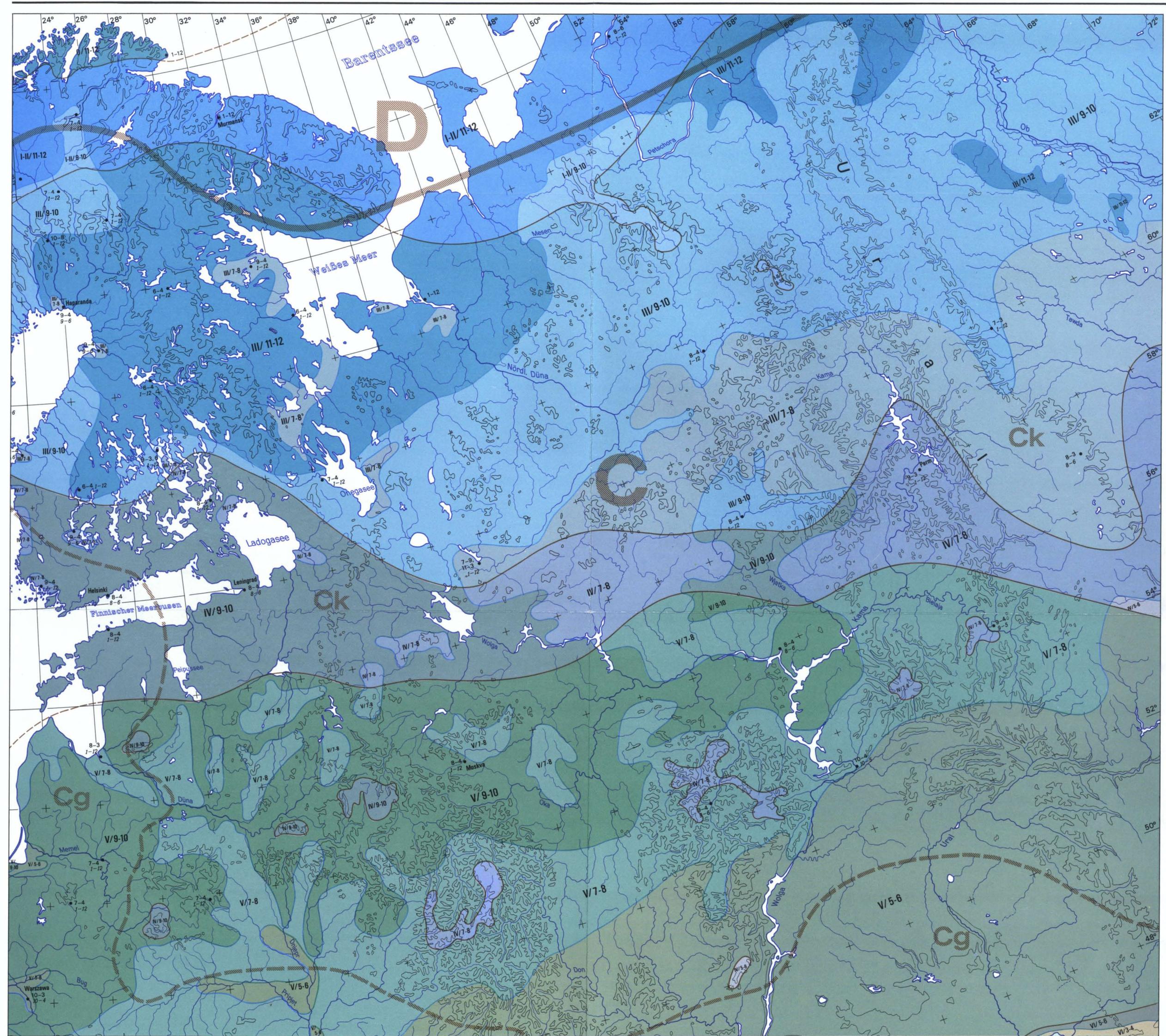
Zur näheren Untersuchung der interannuellen Variabilität der Sommerniederschläge in Ostasien wurde der Mittelwert und die Standardabweichung des Niederschlags im Juni und Juli dargestellt und eine Regionalisierung nach der Clusteranalyse für die 25jährigen Niederschlagsbeobachtungen 1956-1980 vorgenommen. Dabei zeigen sich auffallende Beziehungen zur Aktivität und Lage sowohl der Mai-yü und Bai-u Frontalzone als auch der eurasiatischen Polarfrontalzone. Weiterhin wurden auch die langfristigen Veränderungen der Niederschläge diskutiert. Dabei konnte gezeigt werden, daß die Niederschläge seit der zwei-

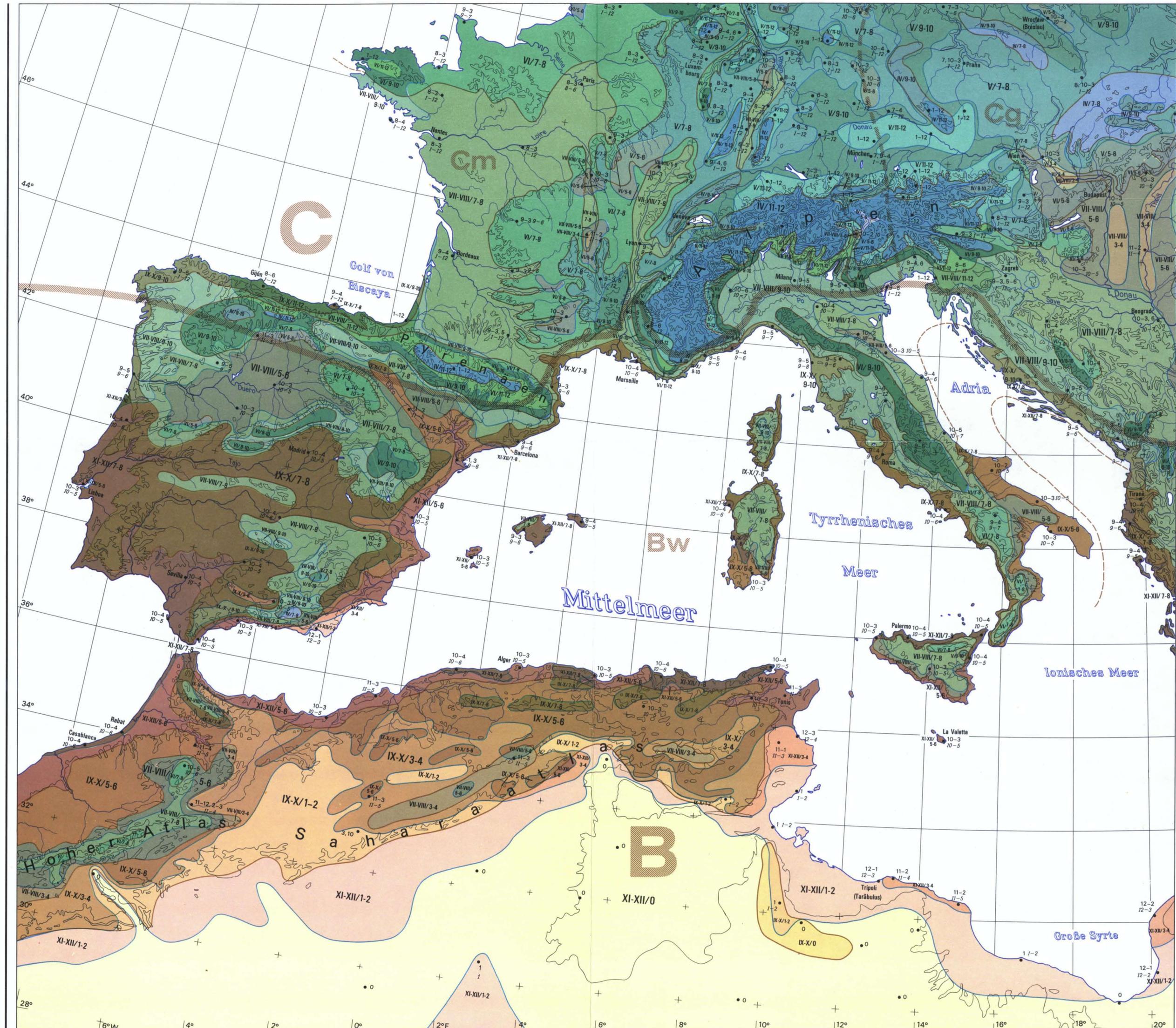
ten Hälfte der 60er Jahre in allen Regionen stärkerer Polarfront-Aktivität abnehmen, was mit dem langfristigen Temperaturtrend der nördlichen Hemisphäre übereinstimmt. Kurzfristige Niederschlagsveränderungen traten ebenfalls parallel zu den Temperaturveränderungen auf, allerdings nicht mehr seit den 70er Jahren. Schließlich wurden die Korrelationskoeffizienten zwischen den Gebietsniederschlägen und der Oberflächentemperatur des Meeres

*) The manuscript of the present study was completed during the stay of the first author at the University of Mainz under the DAAD-JSPS-Exchange of Scientists Programme in May, 1984. He would like to express his thanks to Prof. Dr. MANFRED DOMRÖS for inviting him to Mainz under this programme.

KARTE DER HYGROTHERMISCHEN KLIMATYPEN VON EUROPA







Beilage IV SW zu ERDKUNDE 40,2 Beitrag Lauer/Frankenberg

