

EINE KARTE DER HYGROTHERMISCHEN KLIMATYPEN AFRIKAS

Mit 1 Abbildung und 1 Beilage (VIII)

WILHELM LAUER und PETER FRANKENBERG

Summary: A map of climatic classifications of Africa

The leading concepts are isotherms and isohyromenes. The isohyromenes are based on "potential regional evaporation" (pLV). They could be referred to as "regional-ecological isohyromenes". The "potential regional evaporation" (pLV) is based on the product of equivalent temperature and saturation deficit, and varied in accordance with the prevailing spatial conditions by way of a sliding factor of reduction, which contains the soil-plant rate, the transpirational behaviour of the vegetation, the albedo, the oasis effect, the severity and edaphic factors (fig. 1).

Mit der Karte der hygrothermischen Klimatypen Afrikas wird eine Konzeption zur Klassifizierung der irdischen Klimate am Beispiel eines Kontinentes vorgeführt. Diese Klassifikation der Klimate Afrikas drückt die für die Biosphäre entscheidenden klimatischen Parameter aus: Wärme und Wasser. Wärme und verfügbares Wasserangebot stehen in einer regelkreishaften Beziehung zur Vegetation, der Tierwelt und der agronomischen Tätigkeit des Menschen. Diese Klimakarte versucht, in einem gemittelten Bild aus klimatologischer Sicht ein Ökopotential räumlich darzustellen.

Die thermische Dimension wird in der Karte durch Isothermen wiedergegeben. Dies mag auf den ersten Blick simpel erscheinen, doch sowohl in den Tropen als auch in den Subtropen, an denen der Kontinent Afrika Anteil hat, werden durch sie die mittleren Wärmeverhältnisse in horizontaler und vertikaler Dimension am klarsten ausgedrückt, zumal für Tropen wie für Subtropen die Wärmebilanz im ganzen und insbesondere im geökologischen Sinne positiv ist. Anders ist dies mit dem Wasserhaushalt, dem in tropischen und subtropischen Bereichen der Vorrang in der räumlichen Differenzierung gebührt. Daher ist der hygrischen Dimension besondere Sorgfalt zugewandt worden, indem durch die Anzahl der humiden Monate die Wasserbilanz ausgedrückt und im vorliegenden Kartenentwurf (Beilage VIII) durch Isohyromenen in einer neuen Definition dargestellt ist (vgl. LAUER 1951 und 1952).

Isothermen und Isohyromenen begrenzen und definieren die ‚Klimatypen‘ (vgl. Legende der Beilage VIII). Diese finden ihren kartographischen Ausdruck in ‚Klimagebieten‘.

Afrika eignet sich als Beispielkontinent zu einer ersten großräumigen Verwirklichung des Konzeptes einer Klimaklassifikation auf der Basis von Isothermen und Isohyromenen besonders gut, weil er eine dem solaren Geschehen entsprechende klare Abfolge der Klimate nördlich und südlich des Äquators aufweist. Der Darstellungsmaßstab von ca. 1:12 Mio. gestattet es, auch die kleinräumigen Klimagebiete vor allem der dritten Dimension darzustellen. Damit können die Klimagebiete stark reliefierter Räume, wie z. B. Ostafrikas, noch hinreichend differenziert werden.

Die großklimatischen Zonen Afrikas: Tropen und Subtropen

Afrika hat Anteil an tropischen und subtropischen Klimaten. Es ist daher nötig, die nach Isothermen und Isohyromenen definierten Klimagebiete den beiden großräumigen Klimazonen der Tropen und Subtropen unterzuordnen. Zunächst aber müssen die tropischen (A) und subtropischen (B) Klimazonen voneinander abgegrenzt und die entsprechenden Kriterien dazu dargelegt werden, ehe das Feinmosaik der Klimagebiete näher erläutert wird.

Die beiden Klimazonen Tropen und Subtropen sind in der Karte durch eine besondere Rastersignatur voneinander abgehoben. Als Grenzlinien wurden nicht hygrothermische Indizes der Klimagebiete, sondern ein komplexeres Charakteristikum gewählt, das Ausdruck der Gesamtheit der klimatischen Bedingungen in diesem Kontinent ist. Im Norden Afrikas entspricht die Grenzlinie zwischen Tropen und Subtropen weitgehend der pflanzengeographischen Tropengrenze nach LAUER/FRANKENBERG (1977). Sie ist zwar in einem kontinuierlichen Übergangsbereich der Florenreiche von Holarktis und Paläotropis so gezogen worden, daß sie Dominanzräume paläotropischer und holarktischer Spezies voneinander trennt (FRANKENBERG 1978), doch koinzidiert diese phytogeographische Grenzlinie mit klimatischen Parametern: in kontinentalen Räumen vor allem mit der absoluten Frostgrenze und in maritimen Gebieten mit der 18°C-Isotherme des kältesten Monats, die bereits v. WISSMANN 1948 als Warmtropengrenze definiert hatte. Dieser Grenzraum scheidet überdies das Winter- vom Sommerregime sowie den Raum, in dem die Tagesschwankungen der Temperaturen die Jahresschwankungen übertreffen, von dem Raum, in dem die Jahresschwankung der Temperaturen höher ist als die Tagesschwankung (PAFFEN, 1967). Das Tageszeitenklima ist eine wesentliche Eigenart der Tropen, wie das Jahreszeitenklima ein Merkmal der Außertropen darstellt (TROLL, 1943). Somit erweist sich diese Grenzlinie zwischen Tropen und Subtropen im Norden des afrikanischen Kontinents mitten in der Sahara als ein integrierter Ausdruck mehrerer Klimaparameter. Für den Südtel der vorliegenden Karte der Klimate Afrikas wurde die Grenzlinie zwischen Tropen und Subtropen nach LAUER (1975) gezeichnet. Auch diese Grenze ist nach den gleichen Kriterien gezogen worden, wobei Wärmemangel und Frost sowie der Übergang der dominierenden Sommer- zu dominierenden Winterregen als Grundlagen der Grenzziehung gewählt wurden. Die Grenzziehung entbehrt allerdings eines statistisch abgesicherten Erweises.

Letztlich sind beide in der Karte gezogenen Grenzlinien Begrenzungskriterien der warmen Tropen (vgl. LAUER 1975).

Die Scheidung von Warm- und Kalttropen ist in der Karte aus dem System der Klimagebiete zu ersehen, indem die Isotherme von 18 °C im allgemeinen den Übergang von Warm- zu den Kalttropen in der dritten Dimension markiert.

Klimatypen und ihre Darstellung in Klimagebieten

Wie die Legende der Karte der hygrothermischen Klimatypen Afrikas ausweist (Beilage VIII), sind die Klimatypen und damit auch die Klimagebiete durch Temperaturmittelwerte des Jahres (in °C) und durch die Anzahl der humiden Monate definiert. Die Klimatypen und Klimagebiete werden durch Isothermen und Isohygromenen voneinander getrennt. In der Karte sind die entsprechend definierten Klimagebiete durch verschiedene Farben ausgewiesen. Die begrenzenden Isothermen sind rotbraun und die Isohygromenen blau ausgedruckt. Die Klimagebiete sind über die Farbgebung hinaus durch eine Kombination römischer und arabischer Ziffern in ihrer hygrothermischen Wertigkeit gekennzeichnet. Die römische Ziffer steht für den thermischen Typ (Jahresmitteltemperatur, siehe Legende der Beilage VIII), die arabische Ziffer für die Anzahl der humiden Monate des entsprechenden Klimagebietes. Die römischen Ziffern steigen mit abnehmenden Temperaturen an und repräsentieren thermische Höhenstufen. Kleine arabische Ziffern an den Hauptklimastationen vermerken, welche Kalendermonate des Jahres humid sind (vgl. dazu auch LAUER/FRANKENBERG, 1979).

Die Farbgebung der Klimatypen und damit der Klimagebiete in der vorliegenden Karte der Klimate Afrikas bringt den kontinuierlichen Wandel der Klimate des Kontinentes zum Ausdruck. Die Skala reicht von orangeroter Farbgebung trocken-heißer Klimatypen am unteren linken Ende der Legende zu blauer Farbgebung kühl-feuchter Klimatypen an ihrem oberen rechten Ende. Von links nach rechts nimmt in der Legende mit zunehmender Humidität der Rotanteil ab und der Grünanteil zu. Ein deutlicher Wandel von rötlichen zu grünlichen Farbtönen kennzeichnet die Trockengrenze zwischen den Klimatypen mit 6 bzw. mit 7/8 humiden Monaten. Nach oben, also mit abnehmender Wärme, nimmt in der Legende der Gelb- bzw. Blauanteil in der Farbgebung der Klimatypen zu. Gelb kennzeichnet relativ trockene Höhenklimate, Blau die feuchteren Höhenklimate.

Als Isothermen, die von der Wärme her die Klimatypen bzw. die Klimagebiete begrenzen und damit inhaltlich definieren, wurden die ökologisch beziehungsreichen Werte der Jahresmitteltemperaturen von 27°, 24°, 18° und 15°C gewählt. Die Isotherme von 18°C markiert innerhalb der Tropen die Scheidung der Warm- von den Kalttropen (vgl. LAUER, 1975).

Als Humiditätstypen wurden in der Karte der Klimate Afrikas unterschieden: 0; 1–2; 3–4; 5; 6; 7–8; 9; 10; 11–12 humide Monate. Durch diese Differenzierung werden Stufen zusammengefaßt, die ähnliche Vegetationsformationen aufweisen und solche Stufen stärker differenziert, denen verschiedene Vegetationsformationen eignen. Dies gilt beson-

ders für die Vegetationsformationen der Savannen zu beiden Seiten der Trockengrenze. Die Definition der humiden Monate erfolgte im „landschaftsökologischen“ Sinne. In den ‚Bonner Geographischen Abhandlungen‘ (H. 66, 1981) haben beide Autoren das theoretische Grundgerüst der landschaftsökologischen Isohygromenen ausführlich dargestellt. Ein Monat ist im landschaftsökologischen Sinne humid, wenn der Niederschlag (N) die „potentielle Landschaftsverdunstung“ (pLV) übersteigt ($N > pLV$).

Die „potentielle Landschaftsverdunstung“ (pLV) ist definiert als die potentielle Verdunstung eines realen Landschaftsausschnittes unter der Annahme stets optimaler Wasserversorgung des Bodens. Sie integriert neben der realen Pflanzenbedeckung auch deren jahreszeitliches ökophysiologisches Verhalten. Diese „potentielle Landschaftsverdunstung“ (pLV) ist nicht identisch mit der „potentiellen Evapotranspiration“ (pET), die als potentielle Verdunstung eines genormten Rasens (vgl. THORNTHWAITE, 1948 und PENMAN, 1963) verstanden wird. Sie erschien den Verfassern als Grundlage einer geographischen Klimaklassifikation ökologisch weniger beziehungsreich, nimmt sie doch zur Berechnung des Output-Gliedes der Wasserbilanz – z. B. in der Sahara und im Kongobecken – als Vegetation jeweils einen Rasen an. Über diesen standardisierten Vegetationsbesatz sind auch die Berechnungen der „potentiellen Landverdunstung“ (PLV) von HENNING/HENNING (zuletzt 1980) nicht wesentlich hinausgegangen.

Die „potentielle Landschaftsverdunstung“ (pLV) wird nach LAUER/FRANKENBERG (1981) auf der Basis der „potentiellen Verdunstung freier Wasserflächen“ (pV) berechnet. Diese leitet sich aus dem Produkt von Äquivalenttemperatur (t_{ae}) (Gesamtwärmeinhalt eines Luftquantums) und Sättigungsdefizit (S) ab:

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

Ausgehend von der „Verdunstung freier Wasserflächen“ (pV) erfolgt die Bestimmung der „potentiellen Landschaftsverdunstung“ (pLV) über eine Reduktionsfunktion (vgl. Abb. 1). Für jede Klimazone mußte eine eigene Reduktionsfunktion abgeleitet werden. Diese Reduktionsfunktionen beinhalten alle wesentlichen Faktoren, um eine räumlich differenzierte Reduktion der „potentiellen Verdunstung freier Wasserflächen“ (pV) zu einer potentiellen Verdunstung realer Landschaftsräume (pLV) zu erlangen.

Dazu gehören die Ratio von pflanzenbedecktem und unbedecktem Boden (B/P), das Transpirationsverhalten der Vegetation (Tr), die Albedo (A), der Oaseneffekt (O), die Rauigkeit (Ra) sowie edaphische Faktoren (Ed). Damit ist die Reduktionsfunktion von pV zu pLV ausgedrückt durch: $Rf = f(B/P; Tr; A; O; Ra; Ed)$.

Die „potentielle Landschaftsverdunstung“ (pLV) kann somit formelmäßig wiedergegeben werden: $pLV = pV \times Rf$.

Die mittleren Monatswerte dieser „potentiellen Landschaftsverdunstung“ (pLV) wurden für 600 Klimastationen Afrikas dem mittleren jährlichen Niederschlagsaufkommen gegenübergestellt (Ausgangswerte überwiegend aus LEBEDEV,

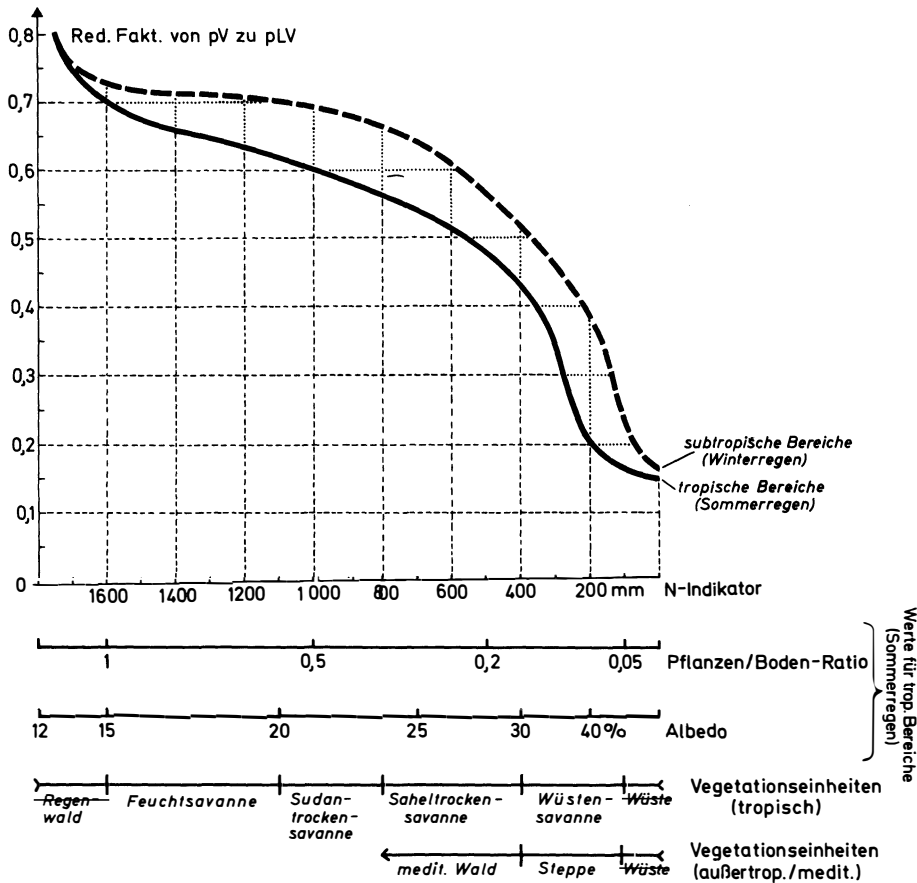


Abb. 1: Modell gleitender Reduktionsfaktoren zur Ableitung der potentiellen Landschaftsverdunstung (pLV) aus der Verdunstung freier Wasserflächen (pV) (aus: LAUER und FRANKENBERG, 1981)

Sliding factor reducing evaporation (pV) to estimate "potential regional evaporation" (pLV)

1970). Ein Monat gilt nach dem landschaftsökologischen Konzept als humid, wenn das Niederschlagsaufkommen (N) die „potentielle Landschaftsverdunstung“ (pLV) übersteigt: $N > pLV$. Die daraus resultierenden Linien der gleichen Anzahl humider Monate werden als „landschaftsökologische Isohygromenen“ bezeichnet. Alle Isohygromenen der vorliegenden Klimakarte sind derartige „landschaftsökologisch“ definierte Isohygromenen.

Dadurch, daß die Klimatypen und Klimagebiete der Karte durch Isothermen der Jahresmitteltemperaturen und durch „landschaftsökologische Isohygromenen“ definiert werden, bestimmt die landschaftliche Realität entscheidend die Definition der Klimatypen.

Das Kartenbild

Aus der Koinzidenz von Isothermen als Ausdruck der mittleren Wärme und „landschaftsökologischen Isohygromenen“ als Ausdruck einer landschaftsadäquaten Wasserbilanzierung ergeben sich die Klimagebiete des Afrikanischen

Kontinentes, wie sie in der vorliegenden Karte (Beilage VIII) dargestellt sind.

Im Kartenbild fallen neben den großräumigen Klimazonen der Tropen (A) und der Subtropen (B) mehrere Komplexe von Klimagebieten auf: drei Trockenräume (Sahara/Sahelzone, Kalahari-Karoo, Ostafrika); die humiden Räume Zentralafrikas, die zum Äquator hin kontinuierlich feuchter werden; zwei subtropische Winterregengebiete in Nord- und Südafrika mit ihrer sehr kleinräumigen, reliefbedingten klimageographischen Kammerung und vier Hochgebirgsregionen (Äthiopien, Ostafrika, östliches Südafrika und Madagaskar), die ebenfalls kleinräumig gekammert sind.

In diesen Räumen weist das Kartenbild einen hohen Grad der Differenzierung aus, der in dem vorliegenden Maßstab gerade noch darstellbar gewesen ist. Für kleinere Reliefeinheiten konnten die oberen Höhenstufen jedoch nicht mehr zur Darstellung gebracht werden. In den höchsten Stufen der Hochgebirge, die über das Kondensationsniveau aufragen, geht der Humiditätsgrad gegenüber tiefer gelegenen Höhenstufen zurück. Dieses Phänomen konnte in der Karte allerdings nicht dargestellt werden.

Auffällig ist bei dem Vergleich der ariden Räume, daß die südafrikanischen Trockengebiete wegen ihrer Höhenlage weit kühler sind als die der Sahara/Sahelzone. Dem entspricht in Südafrika der besondere Vegetationstyp der Miombo- und Mopanewälder.

Die aridesten und heißesten Gebiete Afrikas liegen in der südlichen Zentralsahara sowie in den Küstenregionen Äthiopiens. Die humidesten Räume sind im Inneren des Kongobeckens sowie an der westafrikanischen Küste gelegen, wo die äquatorialen Westwinde aufländig wehen. Von diesen Zentren der Humidität nimmt nach Norden und Süden die Aridität zu. Die Trockengürtel scheiden die feuchteren tropischen Klimagebiete von den feuchteren subtropischen. Lediglich im Osten Südafrikas verzahnen sie sich.

Die mediterranen Klimagebiete des Nordens zeitigen zur Küste hin eine höhere Anzahl humider Monate. Die Gebirge ragen wie im subtropischen Südafrika als Inseln der Humidität aus relativ trockenen Ebenen auf.

Am deutlichsten ist die zonale Anordnung der Klimagebiete, die einen Großteil des Kartenbildes prägt, im östlichen Afrika abgewandelt. Das äthiopische Hochland sowie die Gebirge Kenias, Ugandas und Tanzanias bedingen mit ihrer relativ hohen Humidität bei verhältnismäßig kühlen Jahresmitteltemperaturen eine zellenartige Struktur der Klimagebiete. Die Gebirge stellen sich als Feuchtereservoire der Ebenen dar.

Auf Madagaskar führt der NE/SW streichende Hauptzug des zentralen Gebirges zu einer eher meridionalen Anordnung der Klimagebiete mit einem feuchteren Osten und einem trockeneren Westen. Wie im östlichen Südafrika sind dafür die aus den subtropischen Hochdruckzellen resultierenden östlichen regenbürtigen Passatwinde verantwortlich. Hinsichtlich der Zusammenhänge der allgemeinen Zirkulationsdynamik verweisen wir auf den Beitrag der Autoren in *Erdkunde*, 33, 1979.

Der vorliegenden Klimakarte sollen in gleicher Konzeption Klimakarten der übrigen Kontinente in unregelmäßigen Abständen folgen unter dem Gesamtkonzept einer Klassifizierung der Klimate der Erde.

Literatur

- FRANKENBERG, P.: Floreogeographische Untersuchungen im Raume der Sahara. – Ein Beitrag zur pflanzengeographischen Differenzierung des nordafrikanischen Trockenraumes. *Bonner Geogr. Abh.*, 58, Bonn 1978.
- HENNING, I. und HENNING, D.: Kontinent-Karten der potentiellen Landverdunstung, berechnet mit dem Penman-Ansatz. *Meteorol. Rdsch.*, 33, 1980, S. 18–30.
- LAUER, W.: Hygrische Klimate und Vegetationszonen der Tropen mit bes. Berücksichtigung Ostafrikas. *Erdkunde*, 5, 1951, S. 284–293.
- : Humide und aride Jahreszeiten in Afrika und Südamerika und ihre Beziehung zu den Vegetationsgürteln. *Bonner Geogr. Abh.*, 9, 1952, S. 15–98.
 - : Vom Wesen der Tropen. Klimaökologische Studien zum Inhalt und zur Abgrenzung eines irdischen Landschaftsgürtels. *Akad. d. Wiss. u. d. Lit. Mainz, Math. Naturwiss. Kl., H. 3*, Wiesbaden 1975.
 - : Ökologische Klimatypen am Ostabfall der mexikanischen Meseta. *Erdkunde*, 32, 1978, S. 101–110.
- LAUER, W. und FRANKENBERG, P.: Zum Problem der Tropengrenze in der Sahara. *Erdkunde*, 31, 1977, S. 1–15.
- : Untersuchungen zur Ökoklimatologie des östlichen Mexiko. Erläuterungen zu einer Klimakarte 1:500 000. *Colloquium Geographicum*, 13, Bonn, 1978, S. 1–134.
 - : Der Jahresgang der Trockengrenze in Afrika. *Erdkunde*, 34, 1979, S. 249–257.
 - : Untersuchungen zur Humidität und Aridität von Afrika. – Das Konzept einer potentiellen Landschaftsverdunstung. *Bonner Geogr. Abh.*, 66, Bonn 1981.
- LEBEDEV, A. N.: The climate of Afrika. Pt. I, Jerusalem 1970.
- PAFFEN, KH.: Das Verhältnis der tages- zur jahreszeitlichen Temperaturschwankung. *Erdkunde*, 21, 1967, S. 94–111.
- PENMAN, H. L.: Vegetation and Hydrology. *Techn. Comm. No 53*, Commonwealth Bureau of Soil Science, 1, Harpenden, 1963.
- THORNTHWAITE, C. W.: An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Review*, 38, 1948, S. 55–91.
- TROLL, C.: Thermische Klimatypen der Erde. *Pet. Geogr. Mitt.*, Jg. 1943.
- : Karte der Jahreszeiten-Klimate der Erde. – Mit einer farbigen Karte von C. TROLL und KH. PAFFEN. *Erdkunde*, 18, 1964, S. 5–28.
- WISSMANN, H. v.: Pflanzenklimatische Grenzen der warmen Tropen. *Erdkunde*, 2, 1948, S. 81–92.

ZUR THERMISCH-HYGRISCHEN GLIEDERUNG DES MOUNT KENYA*)

Mit 7 Abbildungen, 1 Farbluftbild und 1 Tabelle

MATTHIAS WINIGER

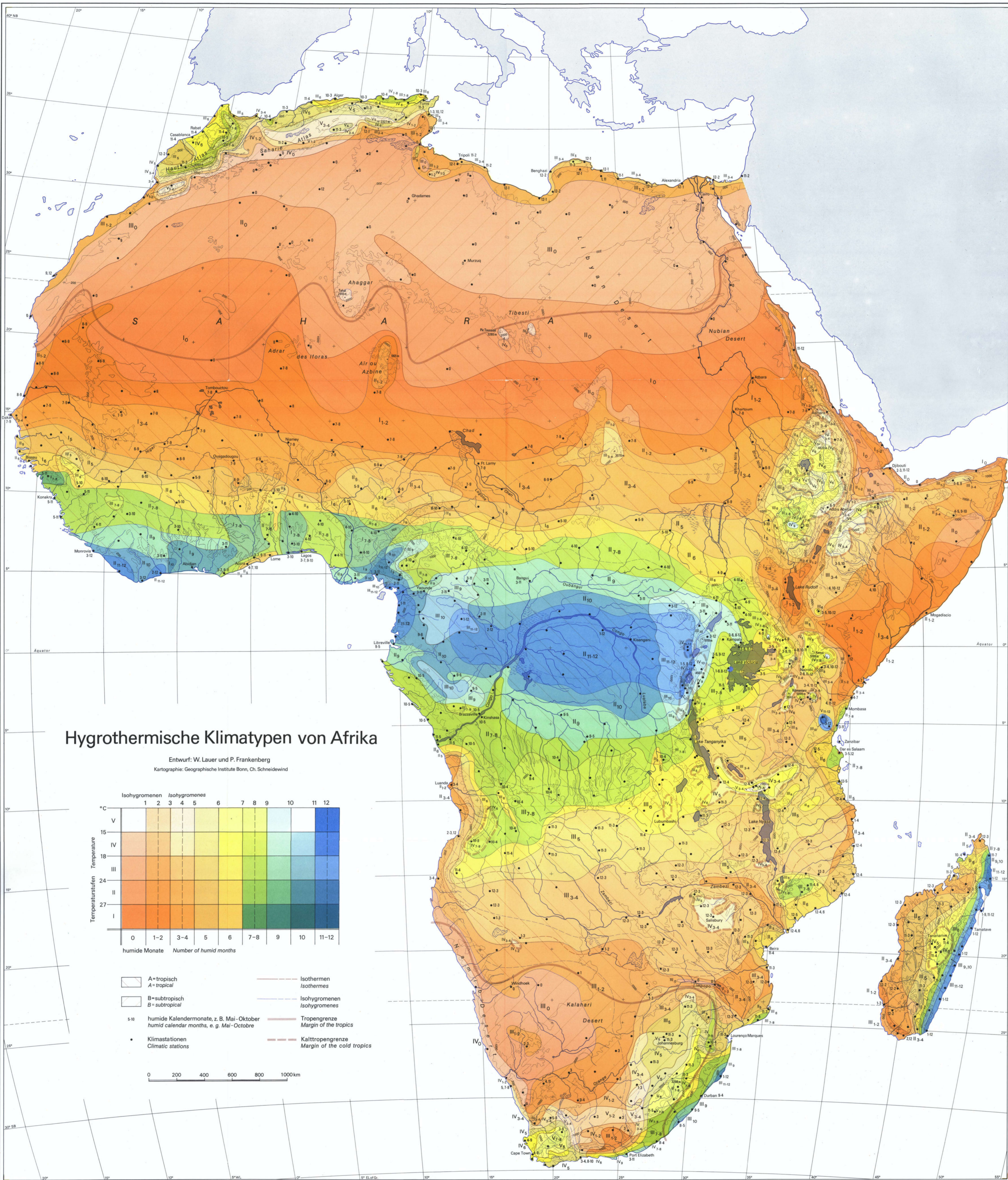
Summary: Causes and effects of the thermo-hygric differentiation of Mt. Kenya

Soil temperatures (annual means in 50–70 cm depth) and mean annual rainfall data are the elements of the thermal-hygric zoning of Mt. Kenya, which is discussed with reference to its climatic causes as well as its ecological consequences.

Soil temperatures along the profile from the lowlands to the summit, show – depending on the general exposure and altitude – distinct zones of excesses or deficiencies respectively: temperature

depressions coincide with zones of frequent and dense cloud cover (producing high annual amounts of rainfall), whereas relatively

*) Die Feldarbeiten wurden finanziert durch ein Forschungsreisestipendium der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft (SNG). Unterstützung im Felde erhielt ich durch H. SPECK, R. VOLZ und Prof. MESSERLI, der auch das Manuskript kritisch kommentierte. Die Reinzeichnung der Figuren fertigten R. RICKLI und M. BICHEL. Allen sei an dieser Stelle gedankt.



Hygrothermische Klimatypen von Afrika

Entwurf: W. Lauer und P. Frankenberg
 Kartographie: Geographische Institute Bonn, Ch. Schneidewind

Temperaturstufen Temperature	Isohygrammen Isohygrammes											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
V												
IV												
III												
II												
I												
	0	1-2	3-4	5	6	7-8	9	10	11-12			
	humide Monate						Number of humid months					

- A=tropisch
A=tropical
- B=subtropisch
B=subtropical
- 5-10 humide Kalendermonate, z. B. Mai-Oktober
humid calendar months, e. g. Mai-October
- Klimastationen
Climatic stations
- Isothermen
Isothermes
- Isohygrammen
Isohygrammes
- Tropengrenze
Margin of the tropics
- Kalttropengrenze
Margin of the cold tropics

0 200 400 600 800 1000 km