

kelt. Auch hier führt die konsequente Grundwassererschließung nicht zu riesigen zusammenhängenden bewässerten Flächen. Dennoch entsteht unter der dichten punkthaften Besiedlung und Nutzung unter den gleichen ökologischen Bedingungen wie im Westen nicht der Eindruck verlassener Wüstensteppen. Vielmehr schließt sich hier mit allen Einschränkungen abseits der Flußoasen ein einheitliches landwirtschaftliches Produktionsgebiet zusammen, in dem sich unter dem Minimumfaktor Wasser die bestmöglichen Produktionsbedingungen herausgebildet haben. Die Betriebsformen der vom Karezwasser abhängigen Landwirtschaft sind bereits dargestellt worden⁷⁾. Gerade in diesen Gebieten kann sich der Getreidebau, der für die Volksernährung Afghanistans die beherrschende Bedeutung hat, besonders entfalten.

Nach der Schätzung von WILBER⁸⁾, die das gesamte bewässerte Land mit mehr als 53 000 km² beziffert, nehmen die aus Karezen bewässerten Flächen über 10 000 km² ein. Man mag die absoluten Angaben anzweifeln, der Anteil von fast 20 % des von Karezen bewässerten Ackerlandes an der gesamten Bewässerungsfläche erscheint nach allen Erfahrungen nicht zu hoch gegriffen. Gewiß reicht die Bedeutung der Kareze in Afghanistan nicht an die im Kerngebiet des Qanats im Iran heran. Dennoch wird das Karez trotz der eingangs geschilderten Umstellung

⁷⁾ JENTSCH (1965), S. 49 ff

⁸⁾ WILBER (1962), S. 281.

auf andere Wassergewinnungsmethoden in den nächsten Jahrzehnten bestehen können, bietet es doch gegenüber den maschinellen Neuerungen den Vorteil, daß die Anlage mit den reichlich vorhandenen Arbeitskräften und daher billig in Betrieb gehalten werden kann. Da es in Afghanistan auch zahlreiche Siedlungen ohne einwandfreies Trinkwasser gibt, bleiben Kareze darüber hinaus für diesen Zweck wahrscheinlich noch viel länger bedeutungsvoll.

Literatur

- CRESSEY, G. B.: Qanats, Karez, and Foggaras. In: *Geographical Review*, Vol. 48, 1958, S. 27–44.
- GOBLOT, H.: Dans l'ancien Iran, les techniques de l'eau et la grande histoire. In: *Annales E. S. C.*, Mai/Juin, Nancy 1963.
- HUMLUM, J.: *La Géographie de l'Afghanistan*. Kopenhagen 1959.
- : Underjordiske Vandingskanaler, Kareze, Qanat, Foggara. In: *Kulturgeografi* Bd. 6, 1964, Nr. 90, S. 81–132.
- JENTSCH, Ch.: Typen der Agrarlandschaft im zentralen und östlichen Afghanistan. In: *Arb. aus d. Geogr. Inst. d. Univ. d. Saarl.* Bd. 10, 1965, S. 23–68.
- : Luftbild Khwaja Kotgay. In: *Die Erde*, 100. Jg., 1969, H. 1, S. 1–4.
- TROLL, C.: Qanat-Bewässerung in der Alten und Neuen Welt. In: *Mitt. d. Öst. Geogr. Ges.*, Bd. 105, 1963, S. 313 bis 330.
- : Techniques agricoles, milieu naturel et histoire de l'humanité. In: *Bull. de la Soc. Géogr. de Liège*, 3. Jg., Nr. 3, 1967, S. 3–26.
- WILBER, D. N.: *Afghanistan*. 2. Aufl. New Haven 1962.

FOURIER ANALYSE DES ABFLUSSREGIMES IM WESTLICHEN ZENTRALAFRIKA

Mit 3 Abbildungen, 1 Tabelle und 1 Beilage (V)

REIMER HERRMANN

Summary: Runoff analysis in western central Africa

Seasonal changes in the mean monthly runoff of 18 river basins in western central Africa were subjected to a Fourier analysis. The amplitudes and phase angles of the first three harmonic components were mapped, as well as the total variance, the variance of the first two harmonic components and the ratio between the variance of the first harmonic component and that of the second.

Using these maps it is possible to distinguish between a region covering the southern coastal heights of Cameroon which exhibits double seasonality in its runoff regime and another region in the Cameroon Mountains which has a distinct annual tendency. Around Lake Chad a region with an annual tendency but low total variances has developed. The transitional regions are easily determined. The temporal and areal distribution of the runoff extremes can be explained by the seasonal shifting of the equatorial trough.

Die Fourier Analyse erwies sich schon früh als ein brauchbares Werkzeug, um rhythmische jahreszeitliche Vorgänge und die Stärke ihrer Einflüsse quanti-

tativ festzulegen (1), (2). Aber erst mit der Einführung automatischer Rechenanlagen erlangte das Verfahren eine breitere Anwendung vor allem bei der Analyse des Niederschlagsanges (2), (3), (4), (5), (6), (7) und (8). Zu Recht wiesen HORN und BRYSON (2) darauf hin, daß die herkömmlichen Verfahren, mit Hilfe von Karten der Jahres- und Monatssummen, ergänzt durch Kartogramme, das Niederschlagsregime darzustellen, nicht den raum-zeitlichen Gang der Erscheinungen objektiv wiederzugeben vermögen. Das gilt gleichermaßen für den Versuch D. C. LEDGERS (9), den Abflußgang der westafrikanischen Flüsse nach räumlichen Typen auszugliedern.

Diese in der Meteorologie und Klimatologie entwickelten Gedanken werden nach Wissen des Autors hiermit erstmals auf die raum-zeitliche Analyse des mittleren jährlichen Ganges der Abflüsse angewandt. Bei der Deutung der Ergebnisse der Fourier Analyse des Abflußanges ergibt sich gegenüber den Unter-

suchungen des Niederschlagsregimes, daß neben den witterungsklimatischen Einwirkungen die Eigenschaften der Böden, des Reliefs, des Gesteins und der Vegetation einen Einfluß auf den Gang des Abflusses haben.

1. Die mittleren monatlichen Abflußspenden und die Anwendung der Fourier Analyse

Im Untersuchungsgebiet wurden 36 Pegel mit Abflußmessungen beobachtet (11), (12). Um die räumliche Verteilung des Ganges der Abflußspenden zu untersuchen, war es geboten, nur Einzugsgebiete mit möglichst einheitlichem Gefüge der einwirkenden Faktoren wie Witterungsgang, Gestein und Boden, Relief und Vegetation zu untersuchen. Das schloß von vornherein die großen Einzugsgebiete aus. Außerdem sollten die Pegelbeobachtungen möglichst die Jahre 1951 bis 1959, in denen die sorgfältigste Betreuung vorlag, umfassen. Auf Grund dieser Anforderungen wurden 18 Stationen ausgewählt, von denen 17 in (11) aufgeführt sind (s. Abb. 2 und Tab. 1). Die Abflüsse am Pegel Bare des in Nigeria fließenden Gongola entstammen unveröffentlichten Unterlagen des Inland Waterways Department, Lokoja und (12). Die Ergebnisse des sehr viel dichteren Niederschlagsmeßstellenetzes ermöglichten es, in Zweifelsfällen die Lage der Isolinien mit größerer Sicherheit festzulegen.

Die mathematischen Grundlagen und die Rechenanweisungen sind in (1) ausführlich beschrieben, so daß im folgenden nur eine kurze Einführung gegeben werden soll.

Mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate wird eine Reihe von Sinuskurven den vorgegebenen 12 Werten der mittleren monatlichen Abflußspenden angepaßt. Unter den gegebenen Bedingungen sind 6 harmonische Komponenten möglich. Da jede folgende harmonische Komponente der Reihe eine höhere Frequenz hat, paßt sich die resultierende Kurve den gemessenen Werten zunehmend besser an. Die vollständige Gleichung erhält folgende Form

$$y = a_0 + a_1 \cdot \sin(30^\circ x + A_1) + a_2 \sin(60^\circ x + A_2) + \dots + a_6 \sin(180^\circ x + A_6)$$

Wobei ist:

x = Zeit in Monaten (Januar = 0, Februar = 1, ..., Dezember = 11)

a_0 = arithmetisches Mittel der zwölf Monatsmittel der Abflußspenden

a_1, a_2, \dots, a_6 = Amplituden der sechs harmonischen Komponenten

A_1, A_2, \dots, A_6 = Phasenwinkel der sechs harmonischen Komponenten

y = Abflußspende zur Zeit x

Die Monatsmittel gelten für die Mitte des Monats, so daß die Reihe mit dem 15. Januar beginnt.

Definiert man die Varianz (8) der i -ten harmonischen Komponente mit $V_i = \frac{1}{2} a_i^2$ (für $i = 1$ bis

$i = 5$) und für die 6. harmonische Komponente $V_6 = a_6^2$, dann gilt für die Gesamtvarianz aller Amplituden der 6 harmonischen Komponenten

$$V = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^5 a_i^2 + a_6^2$$

Je nachdem, ob die hohen (bzw. niedrigen) Abflußspenden im jährlichen oder halbjährlichen Rhythmus wiederkehren, hat die erste oder zweite harmonische Komponente die größere Varianz. Wenn der Abflußgang aber keinen jährlichen oder halbjährlichen Rhythmus aufweist, dann weisen die harmonischen Komponenten höherer Ordnung größere Varianzen auf. Am Beispiel des Abflußganges des N'Tem (s. Abb. 1) ist zu erkennen, daß der größte Teil der Varianz (94 %) allein auf die ersten beiden harmonischen Komponenten entfällt. Aus der höheren Varianz der 2. harmonischen Komponente ($V_2 = 80\%$ v. d. Gesamtvarianz, $V_1 = 14\%$ v. d. Gesamtvarianz) ist zu erkennen, daß der halbjährliche Rhythmus vorherrscht. Faktoren wie kurzzeitige, regelmäßige Witterungseinflüsse, die nur 1 oder 2 Monate einwirken oder rein zufällige Erscheinungen, die durch die kurze Beobachtungsreihe nicht ausgeglichen worden sind, machen nur noch 6 % der Gesamtvarianz aus.

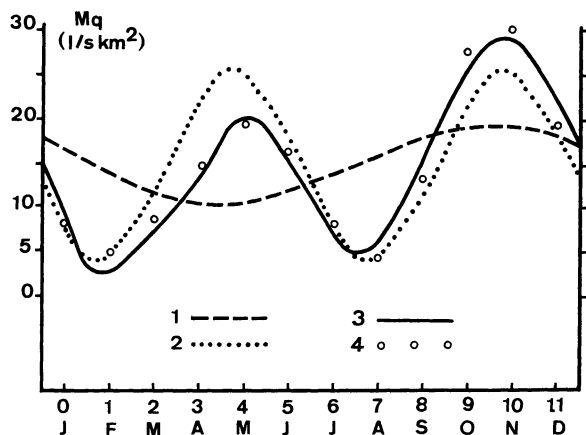


Abb. 1: Anwendung der Fourier Analyse auf den Gang der mittleren monatlichen Abflußspenden (Mq in l/s km²) des N'Tem bis Bac de N'Goazik (1953–1959, Pegel Nr. 45)

1: 1. harmonische Komponente

$$y = 14,5 + 4,5 \sin(30^\circ x + 164^\circ)$$

2: 2. harmonische Komponente

$$y = 14,5 + 10,7 \sin(60^\circ x + 220^\circ)$$

3: Summe der 1. und 2. harmonischen Komponente

$$y = 14,5 + 4,5 (\sin 30^\circ x + 164^\circ) + 10,7 \sin(60^\circ x + 220^\circ)$$

4: gemessene Mq

$$\text{Gesamtvarianz } V = 72 \text{ (l/s km}^2\text{)}^2$$

Varianz der 1. harmonischen Komponente

$$V_1 = 14\% \text{ (in \% von } V)$$

Varianz der 2. harmonischen Komponente

$$V_2 = 80\% \text{ (in \% von } V)$$

Summe der Varianzen der ersten beiden harmonischen Komponenten $V_{1+2} = 94\%$

2. Die das Abflußregime steuernden Geofaktoren

B. W. THOMPSON (13) konnte durch Auswertung umfangreichen synoptischen Materials die von HAMILTON und ARCHBOLD (14) und H. O. WALKER (15) aufgestellte Lehre von der Verschiebung der Klimaregionen Westafrikas durch das jahreszeitliche Pendeln des äquatorialen Trogos erklären. In Anlehnung an die von ihm entwickelten Gedanken wurde für das westliche Zentralafrika entlang 15° E je ein Vertikalschnitt für Januar und Juli durch die untere Troposphäre mit Hilfe der bei ihm veröffentlichten (13) Karten der absoluten Topographien der Druckflächen konstruiert (s. Abb. 2). Darnach besteht im Januar nördlich des Äquators ein Gürtel tiefen Drucks in Bodennähe. Die in dieses Tief hineinwehenden Westwinde im Bereich um und südlich der Trogachse sind sehr schwach und haben keine für die Erzeugung von Niederschlägen ausreichende Mächtigkeit, die nordöstlichen Winde im Norden dagegen sind sehr trocken (13). Die höheren Druckflächen zeigen eine absinkende Tendenz der Luft an, so daß keine nennenswerten Niederschläge im Bereich nördlich des Äquators entstehen können. Für die Verteilung der Niederschläge im Juli und besonders im August ist typisch, daß mit der Entfernung von der bodennahen Trogachse, die B. W. THOMPSON (13) mit der ITF gleichsetzt, die Niederschläge nach Süden erst zunehmen und dann im Einfluß eines südatlantischen Hochdruckkeiles mit starker Divergenz wieder geringer werden und dann ganz aufhören. Damit kann die kleine Trockenzeit, die das Frühjahrsmaximum der Niederschläge von den Herbstniederschlägen trennt, durch das Nordwärtspendeln des äquatorialen Trogos und des ihm folgenden südatlantischen Hochdruckkeiles ausreichend erklärt werden. Im Bereich zwischen der bodennahen Trogachse und dem Hochdruckkeil befindet sich die Zone stärkster Konvergenz mit

den kräftigsten Niederschlägen. Diese Konvergenz wird für die vom Atlantik auf die Küste wehenden Winde durch die Bodenreibung im Küstengürtel noch verstärkt, so daß hier die höchsten Niederschläge fallen. Eine zweite orographisch bedingte Konvergenzzone bildet das Kamerunbergland.

Durch das im Frühjahr und Sommer nach Norden und im Herbst und Winter nach Süden gerichtete Wandern des in Abb. 2 dargestellten Systems ist der jahreszeitliche Rhythmus der das Abflußregime steuernden Niederschläge zu verstehen.

Das Bergland von Kamerun und die südlichen Hochebenen sind im wesentlichen von kristallinen Schiefen, Plutoniten und ihrem Zersatz aufgebaut. Diese Substrate wirken nur sehr wenig ausgleichend auf das Abflußverhalten. Bei tiefgründigem Zersatz über grobkörnigen Graniten kann kurzfristig ein Ausgleich herbeigeführt werden. Daran schließen sich beiderseits des Benue und um den Tschadsee junge Sedimentgesteine mit sehr wechselndem Ausgleichsvermögen an. Im Südosten, im Bereich des Ubangi stehen durchlässige Sandsteine an, die den Abflußgang dämpfen.

Es kann davon ausgegangen werden, daß je lockerer und weitständiger die Vegetation ausgebildet ist, desto weniger der Oberflächenabfluß verzögert oder ganz verhindert wird. Nach diesem Grundsatz nimmt in breitenparallelen Gürteln die Dichte der Vegetation von Feuchttropen- und tropischen Saisonwäldern im Süden über Baum-Savannen zu offenen Savannen mit weitständigen Gehölzen ab. In Höhen > 1200 m hat sich im Kamerunbergland ein Höhen Grasland entwickelt. Die sehr steilen, den Abfluß beschleunigenden Böschungswinkel treten im Kamerunbergland und an den Randstufen der südlichen Hochebene von Kamerun auf. Auf dieser Hochebene und im Bereich um den Tschadsee ist die Reliefenergie mittel bzw. gering.

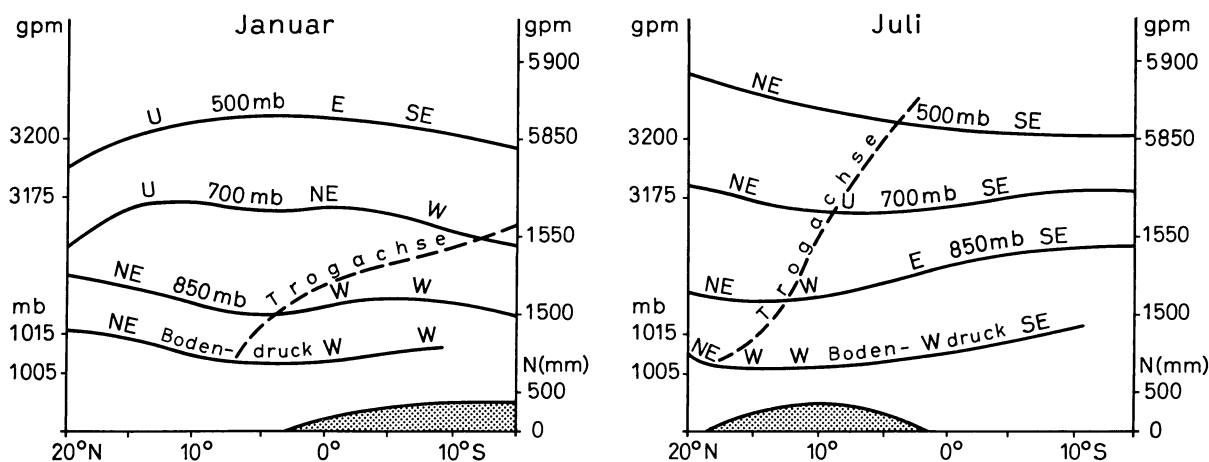


Abb. 2: Vertikalschnitt durch die untere Troposphäre entlang 15° E

An der Höhe der 500-, 700- und 850-mb-Flächen sowie durch die Bodendruckverteilung ist der äquatoriale Trog und die mit ihm in Beziehung stehende Niederschlagsverteilung zu erkennen.

Tabelle 1 : *Die quasi-konstanten auf das Abflußregime einwirkenden Geofaktoren der ausgewählten Einzugsgebiete*

Pegel- Nr.	Pegel	Reihe	Fluß	F _N (km ²)	Substrat	Relief	Vegetation
37	Yabassi	1951-57, 59	Wouri	8 250	undurchlässiges Grundgebirge und Eruptiva	sehr steil	<1000 m degradiertes immergrüner Wald, >1000 m Baumsavanne
39	Goura	51-59	M'Bam	43 000	undurchlässiges Grundgebirge und Eruptiva	steil	Baumsavanne
40	Bétaré	51-59	Lom	10 680	undurchlässiges Grundgebirge	mittel	Baumsavanne
41	Lahoré	51-57, 59	Wina du Sud	1 690	30% undurchlässiges Grundgebirge 70% ± durchlässige Intrusiva	mittel	Savanne
42	M'Balmayo	40-46, 51-59	Nyong	14 300	undurchlässiges Grundgebirge	mittel	Saisonwald
43	Lolodorf	51-59	Lokoundjé	1 177	undurchlässiges Grundgebirge	mittel	Feuchttropenwald
44	Kribi	50-59	Lobé	1 940	undurchlässiges Grundgebirge	mittel	Feuchttropenwald
45	N'Goazik	53-59	N'Tem	18 060	undurchlässiges Grundgebirge	mittel	Feuchttropenwald, z. T. Saisonwald
47	Riao	50-59	Benue	31 000	undurchlässiges Grundgebirge	mittelsteil	Buschsavanne und Savanne
48	Cossi	50-59	Mayo Kébi	26 000	allgemein undurchlässiges Grundgebirge, z. T. sandige Sedimente	mittel	Savanne und Buschsavanne
49	Safai	51-59	Faro	23 500	undurchlässiges Grundgebirge und Intrusiva	mittelsteil	Höhengrasland und Buschsavanne
51	M'Bata	50-59	Lobaye	30 000	Sandsteine, z. T. Grundgebirge, durchlässig	flach	Baumsavanne und Saisonwald
57	Ft. Archambault	38-43, 51-59	Chari	193 000	50% durchlässige Aufschüttungen, 50% undurchlässiges Grundgebirge	flach	Busch- und Baumsavanne
58	Moissala	51-59	Bahr-Sara	67 600	undurchlässiges Grundgebirge	mittel	Baum- und Buschsavanne
63	Doba	47-59	Pendé	15 600	undurchlässiges Grundgebirge und Sedimente	mittel	Baumsavanne und Savanne
64	M'Béré	51-59	M'Béré	7 100	undurchlässiges Grundgebirge	mittelflach	Baumsavanne
65	Ati	55-60	Ba-Tha	46 000	± durchlässige Sandsteine	flach	Dornsavanne
G	Bare	57-61	Gongola	55 700	undurchlässiges Grundgebirge, wechselnd durchlässige Sedimentgesteine	flach	Buschsavanne

Für die ausgewählten Flußgebiete sind die quasi-konstanten Geofaktoren, die auf das Abflußregime einwirken, in Tab. 1 zusammengestellt. Die Konstruktion der Isolinien wurde nach dem Verfahren von W. WUNDT (16) vorgenommen. Grundsätzlich gibt die Folge der am Pegel eines Einzugsgebietes gemessenen Abflußspenden den mittleren Zustand im Einzugsgebiet wieder. Dabei entsteht der Vorteil des Ausgleichs der verschiedenen Einflüsse unterschiedlicher Geofaktoren. Dieser Vorteil kehrt sich um in einen Nachteil, wenn das Einzugsgebiet zu groß wird und in ihm für analytische Zwecke die einzelnen Geofaktoren in sich zu differenziert sind. Je nach Ausmaß der räumlichen Differenzierung der Geofaktoren ist bei raschem Wechsel der Naturräume eine größere Dichte der Flußgebiete mit Pegelbeobachtungen oder bei einförmigen Naturräumen eine geringe Dichte notwendig. Unter dieser Forderung ist die Verteilung der Pegel nicht so ungünstig wie es nach der rein topographischen Anordnung (Abb. 3) erscheinen mag. Entsprechend ist die Forderung nach einer größeren Dichte der Pegel in Gebieten mit stärkerem witterungsklimatischen Wechsel hinreichend erfüllt. Eine weitere grundsätzliche Schwierigkeit besteht bei der Ziehung der Isolinien insofern, als die Änderung des Ausgleichsvermögens des Substrats räumlich sprunghaft vor sich geht. Da sich dieser Einfluß zudem

quantitativ nicht bestimmen läßt, ist die Linienführung beim Übergang von Bereichen mit hohem Ausgleichsvermögen zu solchen mit geringem mit einer nicht abschätzbaren Unsicherheit behaftet.

3. Ergebnisse

Der Vergleich der Darstellungen (Beil. V a-i) der Varianzen, der Phasenwinkel und der Amplituden ermöglicht das Auffinden von Räumen mit gleichem Abflußgang und solchen, die Übergänge zu anderen darstellen.

Die Größen der Gesamtvarianz sind in Beil. V a dargestellt. Eine hohe Gesamtvarianz tritt nur dann auf, wenn eine Jahreszeit mit starken Abflüssen mit einer mit sehr geringen abwechselt. Die Gesamtvarianz nimmt ab mit abnehmenden Abflüssen und bei gleichbleibenden hohen Abflüssen. Zeiten mit geringen Abflüssen haben ihre Ursache entweder in einer deutlichen Trockenzeit oder in wenig ausgleichsfähigen Grundwasserleitern oder in beiden. Es können daher die Einwirkungen des Gesteins und des Klimas miteinander oder gegeneinander wirken. Wie aus dem Vergleich mit Abb. 3 zu erwarten ist, entstehen die höchsten Gesamtvarianzen im Kamerunbergland ($V > 800$ (l/skm²)²), wo eine deutliche abflußarme Zeit mit Zeitabschnitten mit hohen Abflüssen wechselt. Eine weitere

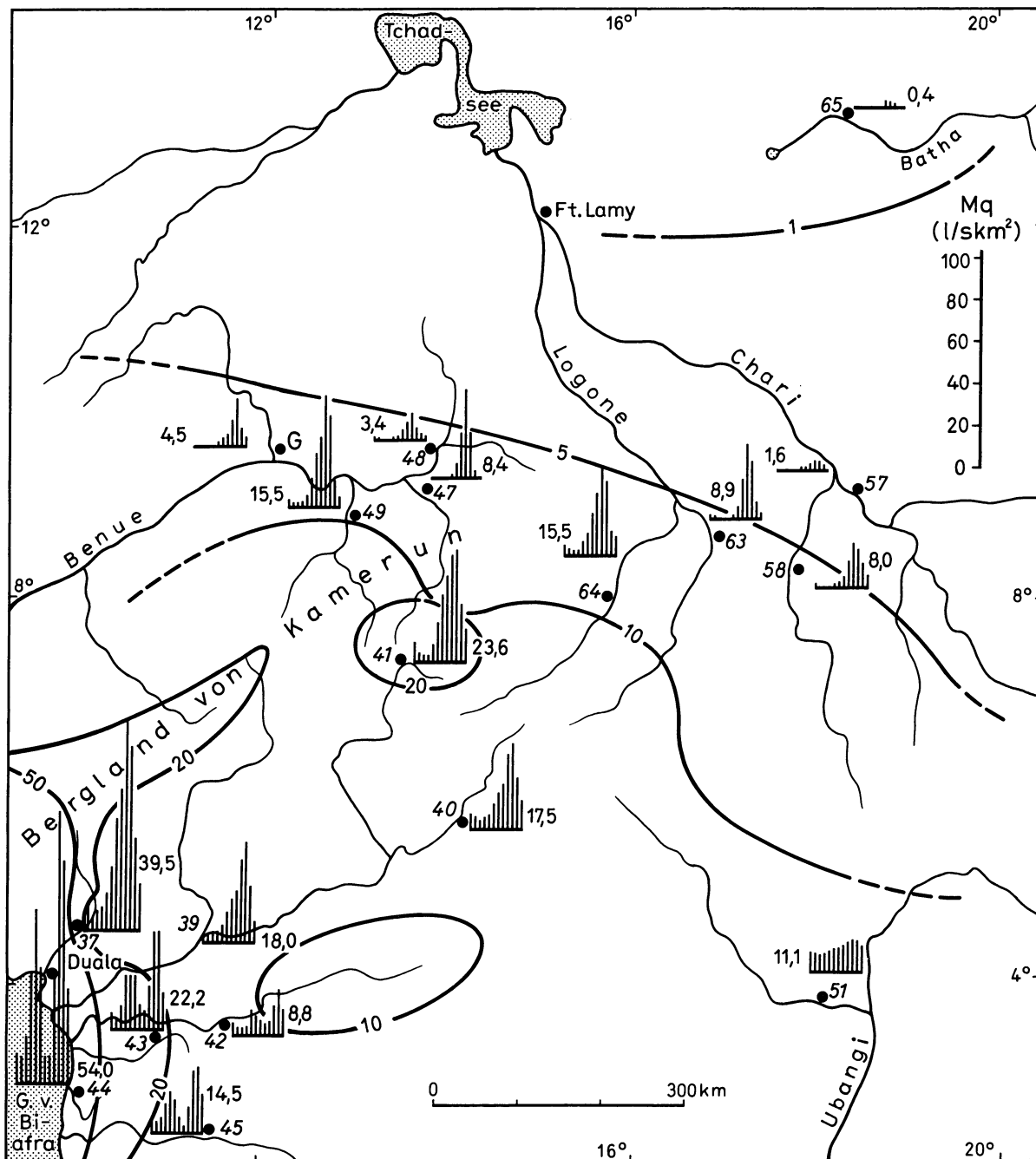


Abb. 3: Mittlere jährliche (Zahlen links oder rechts neben den Diagrammen und Isolinien) und monatliche (Diagramme, vgl. Maßstab) Abflußspenden in (l/skm²). Die Zahlen neben den Punkten geben die Pegelnummer im „Annuaire Hydrologique“ wieder.

Zone hoher Gesamtvarianz befindet sich an der Küstenschwelle Südkameruns mit ihren durch starke Konvektionsregen bedingten sehr hohen Abflußspenden (s. Abb. 3). Mit Abnahme der Abflußspenden nach Norden hin nimmt auch die Gesamtvarianz auf $V < 1$ (l/skm²)² ab. Der schon erwähnte mögliche gegenläufige Einfluß des Gesteins tritt mit einer geringen Ge-

samtvarianz ($V < 10$ (l/skm²)²) trotz noch hoher Abflußspenden durch den guten Ausgleich der Sandsteine westlich des Ubangi in Erscheinung. Ähnliche Wirkung wie undurchlässiges Gestein haben starke Böschungswinkel, so daß mit steilem Relief stets höhere Varianzen verbunden sind.

Es zeigt sich aber schon in Beil. V b aus dem Ver-

hältnis der Varianz der 1. zur 2. harmonischen Komponente, daß das Abflußregime im Bereich der Küstenschwelle von dem des übrigen westlichen Zentralafrika vollkommen verschieden ist. Bei Verhältnissen < 1 hat die 2. harmonische Komponente, d. h. die, die den doppelten Jahresgang anzeigt, eine höhere Varianz als die 1. harmonische Komponente, die den einfachen Jahresgang anzeigt. In der Küstenschwelle mit dem zweimaligen Durchzug der Zone hoher Konvergenz und somit einer deutlichen doppelten Regenzeit ist dieses Regime am schärfsten ausgeprägt. Umgekehrt ist das Verhältnis dort am größten, wo eine kräftige einfache Regenzeit und eine lange Trockenzeit sich abwechseln. Durch hohe Abflußspenden in der Regenzeit mit ihren Konvektionsniederschlägen an den Gebirgshängen des nordöstlichen Kamerunberglandes und eine abflußarme Zeit, wenn die trockenen Nordostwinde der nördlichen Divergenzseite des äquatorialen Troges herrschen, kann dieses Regime erklärt werden.

Mit der Abnahme der Bedeutung der Varianzen der 1. und 2. harmonischen Komponente (s. Beilage Vd) nimmt auch nach Norden hin das Verhältnis der 1. zur 2. harmonischen Komponente ab, und die Komponenten höherer Ordnung erlangen einen größeren Einfluß. Aus der Verteilung des prozentualen Anteils der ersten beiden harmonischen Komponenten an der Gesamtvarianz (s. Beil. Vd) geht mit den hohen Anteilen ($> 90\%$) hervor, daß im größten Teil des westlichen Zentralafrika das Regime durch die ersten beiden harmonischen Komponenten beschrieben werden kann. Nur im Bereich der Küstenschwelle und im Norden erlangen die Komponenten höherer Ordnung einen größeren Einfluß.

In Beil. Vc und g sind die Amplituden und die Phasenwinkel der 1. harmonischen Komponente wiedergegeben. Die Amplituden sind besonders dort sehr groß, wo, wie im Kamerunbergland, hohe Abflüsse auf eine Jahreszeit beschränkt sind. Die Küstenschwelle mit dem doppelten Jahresgang der Abflüsse und der Bereich um das Tschadseebecken mit dem geringen mittleren jährlichen Abflußspenden weisen aus diesen unterschiedlichen Gründen geringe Amplitudenwerte auf.

Die Umrechnung von Phasenwinkeln zu Kalendertagen ist in der Erläuterung zu Beil. Vg vorgenommen worden. Das Hauptabflußmaximum (nur im Bereich der Küstenschwelle existiert ein Nebenmaximum, vgl. Beil. Vb) wandert gemäß dem Rückzug der Trogachse des äquatorialen Troges von Ende August aus seiner nördlichsten Stellung am Tschadsee bis Mitte November in seine südlichste Stellung im Bereich der Küstenschwelle.

Aus der vorangegangenen Diskussion ist bereits hervorgegangen, daß die 2. harmonische Komponente (s. Beil. V e) ihre größten Amplituden im Bereich des doppelten Jahresganges in der Küstenschwelle hat. Die überraschend großen Amplituden des Kamerun-

berglandes können durch die absolut höheren Abflußspenden in diesem Gebiet erklärt werden. Wie zu erwarten, nehmen die Amplituden mit Abnahme der Abflußspenden nach Norden hin naturgemäß ab.

Der Phasenwinkel der 2. harmonischen Komponente (s. Beil. V h) hat für die Analyse des Abflußregimes nur dort eine Bedeutung, wo die zugehörige Amplitude groß genug ist, um ein sekundäres oder primäres Maximum der Abflußspenden anzudeuten. Das gilt bedingt für das Kamerunbergland, vor allem aber für die Küstenschwelle. Eine Untersuchung der Wanderungstendenz, ähnlich wie in Beil. V g, zeigte eine nord-südliche Bewegung des Nebenmaximums der Abflußspenden von Mitte April bis Anfang Mai an. Der Knotenpunkt im südlichen Kamerunbergland zeigt an, daß dort die 2. harmonische Komponente, d. h. der doppelte Jahresgang keine Bedeutung hat.

Die Amplituden und Phasenwinkel der 3. harmonischen Komponente sind in Beil. V f und i dargestellt. Für diese Darstellung gelten die gleichen Einschränkungen wie für die Diskussion der 2. harmonischen Komponente. Größere Amplitudenwerte sind nur im Bereich der Küstenschwelle und im Kamerunbergland zu erkennen. Die Schwingungen der 3. harmonischen Komponente verlaufen so, daß alle vier Monate ein Maximum erscheint. Ein Vergleich der mittleren monatlichen Abflußspenden läßt nur ein sehr undeutliches Junimum erkennen. Eine ausreichende witterungsklimatische Deutung dieser Erscheinung kann ebenfalls nicht gegeben werden.

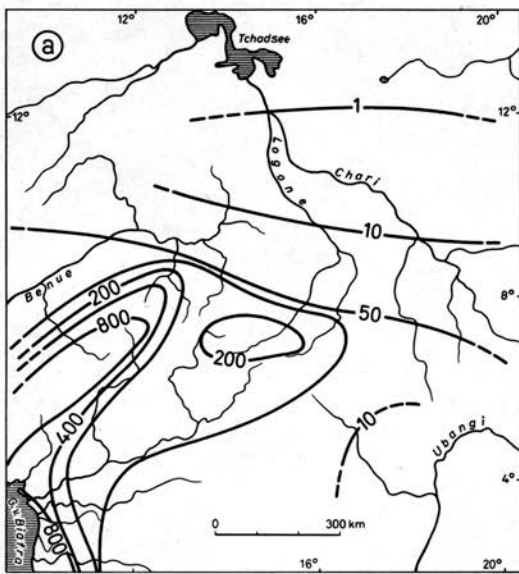
4. *Schlußbemerkung*

R. KELLER (24), der neben eigenen Vorstellungen auch Gedanken M. PARDÉS weiterentwickelt, und F. D. GRIMM (25, 26) haben kürzlich synthetische Karten des Abflußregimes vorgelegt. Beide verfolgen das gleiche Ziel, nämlich mit Hilfe unterscheidender Kennzeichen der Ganglinien des Abflusses Regimeformeln zu entwickeln, die räumlich abgrenzbar in Karten dargestellt werden können. Dabei ist in diesem Zusammenhang die Diskussion der Zweckmäßigkeit der ausgewählten Kennzeichen unerheblich. Es ist beiden (zwar unter Verwendung unterschiedlicher Kennzeichen in den Formeln) gelungen, eine klare, zusammenfassende räumliche Gliederung nach den Abflußregimen zu treffen. Grundsätzlich tritt aber ein bei ähnlichen synthetischen Niederschlagsregimekarten von HORN und BRYSON (2) erkanntes Problem auch bei synthetischen Karten des Abflußregimes auf: eine räumlich sich kontinuierlich ändernde Erscheinung wie das Abflußregime wird (mehr oder minder subjektiv) aufgegliedert in diskrete Einheiten oder Gruppen, die sprunghaft gegeneinander abgegrenzt sind. Mit anderen Worten: mit der Methode der Typisierung des Regimes durch Formeln kann das Problem der objektiven Darstellung der Art und Weise der Übergänge von einem Regimetyp zum anderen nicht gelöst

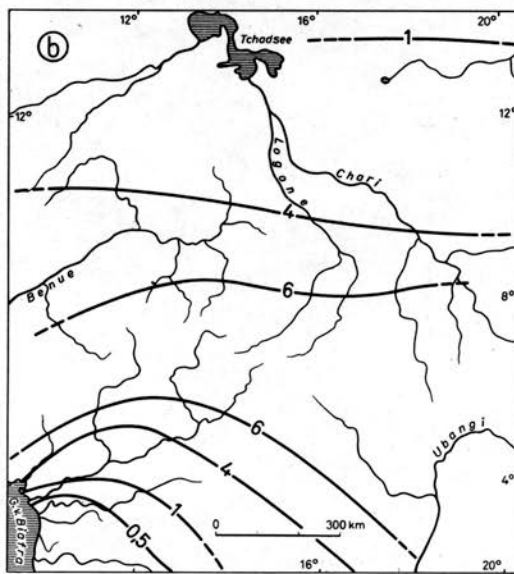
werden. Hier liegen die Vorteile der Fourier Analyse. Wie S. HASTENRATH (8) bei der harmonischen Analyse des Niederschlagsregimes richtig erkannte, liegen die Grenzen dieses Verfahrens aber bei der Schwierigkeit, jährliche oder monatliche Abflußspenden direkt aus den Karten abzulesen. Weiter ist eine große Zahl von Karten notwendig, um das Abflußregime voll darzustellen. Die zukünftigen Wege der Darstellung des Abflußregimes sollten daher auf eine Kombination beider Verfahren hinführen.

Literatur

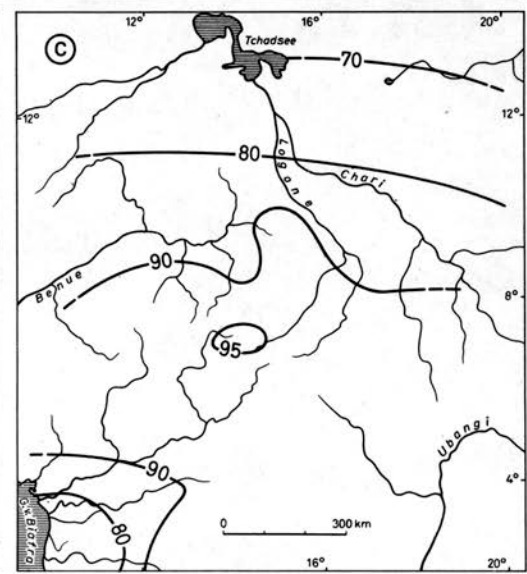
1. CONRAD, V., u. L. W. POLLAK: Methods in Climatology (Harvard University Press, Cambridge, Ma., 1962, 119–154).
2. HORN, L., u. R. BRYSON: Harmonic Analysis of the Annual March of Precipitation over the United States. *Annals Assoc. Amer. Geogr.* 50 (1960), 157–171.
3. SABBAGH, M. E., u. R. BRYSON: Aspect of the Precipitation Climatology of Canada Investigated by the Method of Harmonic Analysis. *Annals Assoc. Amer. Geogr.* 52 (1962), 426–440.
4. LETTAU, K., u. F. WHITE: Fourier Analysis of India Rainfall. *Indian J. Meteor. Geophys.* 15 (1964), 27–38.
5. FITZPATRICK, E.: Seasonal Distribution of Rainfall in Australia Analysed by Fourier Methods. *Archiv Met. Geoph. Biokl.*, B, 13 (1964), 270–285.
6. FITZPATRICK, E., D. HART u. H. C. BROOKFIELD: Rainfall Seasonality in the Tropical Southwest Pacific. *Erdkunde*, 20 (1966), 181–194.
7. STEINHAUSER, F.: Über den Tagesgang des Niederschlags. *Archiv Met. Geoph. Biokl.*, B, 14 (1966), 1–35.
8. HASTENRATH, ST. L.: Fourier Analysis of Central American Rainfall. *Archiv Geoph. Biokl.*, B, 16 (1968), 81–94.
9. LEDGER, D. C.: Some Hydrological Characteristics of West African Rivers. I. B. G. *Transact. Papers* 35 (1964), 73–90.
10. RODIER, I.: Régimes hydrologiques de l'Afrique-Noire à l'Ouest du Congo (ORSTOM, Paris 1964), zit. n. (9).
11. ORSTOM (Office de la recherche scientifique et technique outre mer: *Annuaire hydrologique de l'office de la recherche scientifique et technique outre mer. Année 1959* (ORSTOM, Paris 1963).
12. NEDECO (Netherlands Engineering Consultants): River Studies and Recommendation on Improvement of Niger and Benue. (North Holland Publishing Company, Amsterdam 1959).
13. THOMPSON, B. W.: The Climate of Africa. (Oxford University Press, Nairobi . . ., 1965).
14. HAMILTON, R. A., u. I. W. ARCHBOLD: Meteorology of Nigeria and Adjacent Territory. *Quart. J. Royal Met. Soc.* 71 (1945), 231–264.
15. WALKER, H. O.: The Monsoon in West Africa. Ghana Met. Dept. Note Nr. 9 (Accra 1958).
16. WUNDT, W.: *Gewässerkunde* (Springer-Verlag, Berlin 1953).
17. MATALAS, N. C.: Some Aspects of Time Series. Analysis in Hydrologic Studies, in: *Statistical Methods in Hydrology*. (Queen's Printer, Ottawa 1966, 271–309).
18. VEN TE CHOW: Statistical Probability Analysis of Hydrologic Data, in: Ven Te Chow (Hrsg.), *Handbook of Applied Hydrology*. (Mc Graw Hill, New York . . ., 1964, 8–11.)
19. KELLER, R.: *Gewässer und Wasserhaushalt des Festlandes* (Haude und Spener, Berlin 1961).
20. MANSHARD, W.: Der Ablauf der Regenzeit in Westafrika, dargestellt an Beispielen aus Ghana. In: H. Uhlig, W. Manshard u. A. Gerstenhauer: Beiträge zur Geographie der tropischen und subtropischen Entwicklungsländer. Indien – Westafrika – Mexiko. *Gießener Geographische Schriften*, 2 (1962), 47–81.
21. NIEHOFF, K.: Oberflächengestaltung, Niederschlag und Abfluß des Niger und seiner Nachbargebiete. *Mitt. a. d. Dt. Schutzgebieten*, 30 (1917), 339–403.
22. JAEGER, F.: Die Gewässer Afrikas. Insbesondere ihre vom Klima bestimmten Eigenschaften. *Zeitschr. Ges. Erdk.* Berlin, Jubiläumssonderband (1928), 158–190.
23. SCHULTZE, J. H.: Wasserhaushalt und Wasserwirtschaft in den deutsch-afrikanischen Kolonien I. Teil: Togo und Kamerun. *GWF Das Gas und Wasserfach* 85 (1942), 116–127.
24. KELLER, R.: Die Regime der Flüsse der Erde – Ein Forschungsvorhaben der IGU-Commission on the IHD. In: R. Keller (Hrsg.): *Flußregime und Wasserhaushalt*. *Freiburger Geogr. Hefte* 6 (1968), 65–86.
25. GRIMM, F.: Zur Typisierung des mittleren Abflußganges (Abflußregimes) in Europa. In: R. Keller (Hrsg.): *Flußregime und Wasserhaushalt*. *Freiburger Geogr. Hefte* 6 (1968), 51–64 (ohne Karte).
26. GRIMM, F.: Abflußverhalten in Europa – Typen und regionale Gliederung. *Wiss. Veröff. Deutsch. Inst. Länderkunde NF* 25–26 (1968), 18–180 (mit Karte „Die Abflußtypen in Europa“).



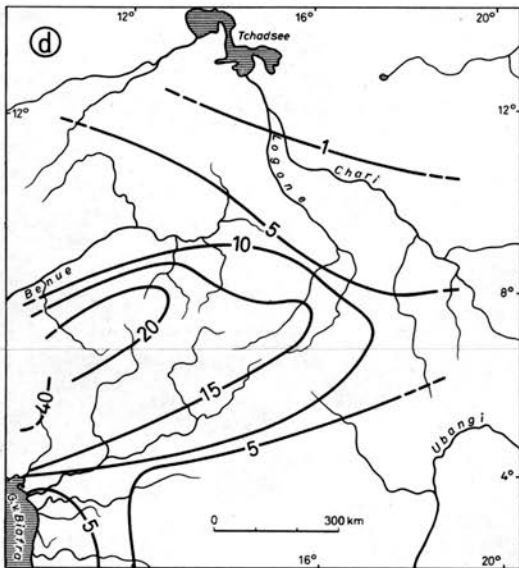
Gesamtvarianz (V) der mittleren monatlichen Abflußspenden (V in l/skm^2).



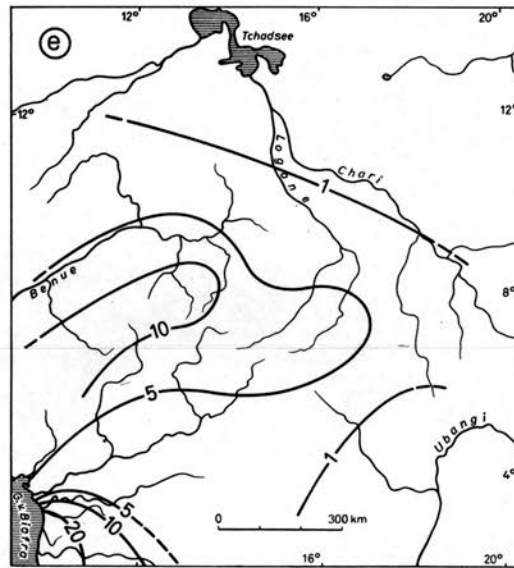
Verhältnis der Varianz der 1. harmonischen Komponente zur Varianz der 2. harmonischen Komponente der Mq.



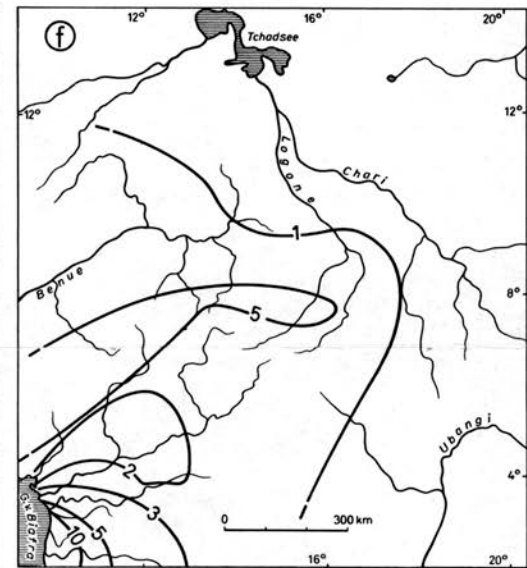
Prozentualer Anteil der Varianz der ersten beiden harmonischen Komponenten an der Gesamtvarianz der Mq.



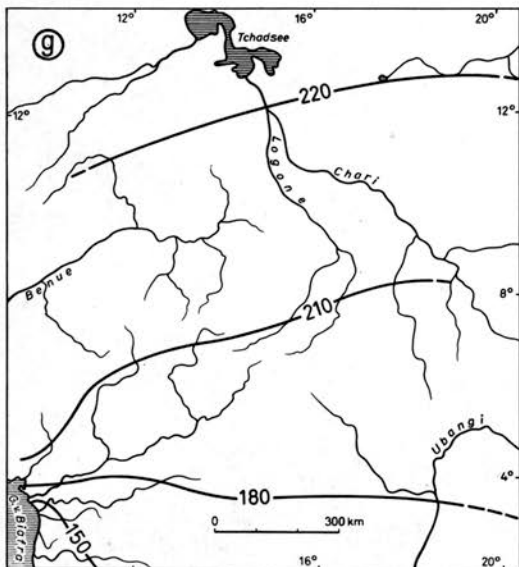
Amplitude der 1. harmonischen Komponente (in l/skm^2).



Amplitude der 2. harmonischen Komponente (in l/skm^2).

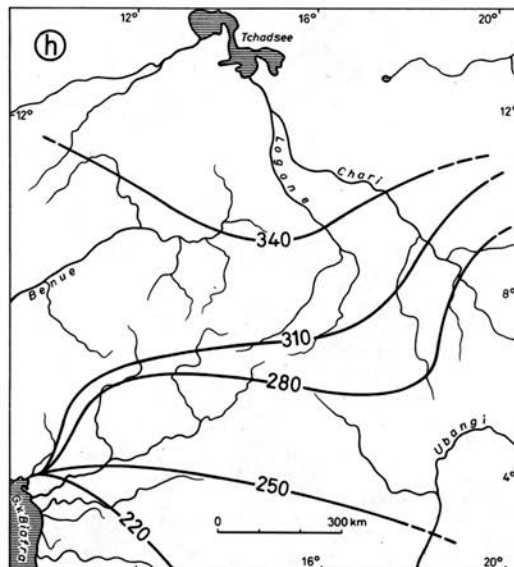


Amplitude der 3. harmonischen Komponente (l/skm^2).



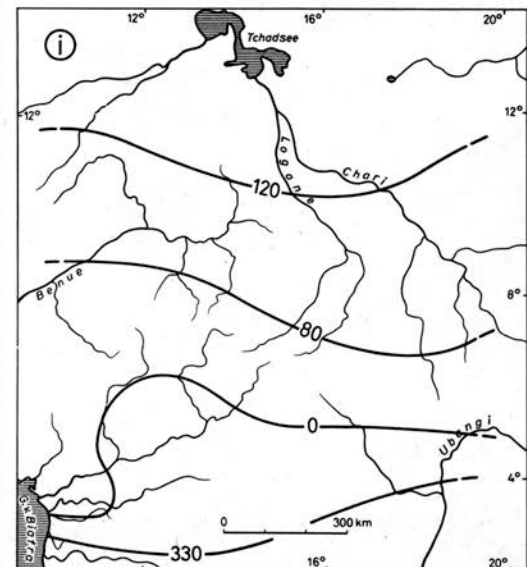
Phasenwinkel der 1. harmonischen Komponente (in Grad).

Phasenwinkel A_1	Max.	Min.
150°	15. Nov.	15. Mai
180°	15. Okt.	15. Apr.
210°	15. Sept.	15. März
240°	15. Aug.	15. Feb.



Phasenwinkel der 2. harmonischen Komponente (in Grad).

Phasenwinkel A_2	Max.
210°	15. Nov., Mai
240°	1. Nov., Mai
270°	15. Okt., Apr.
300°	1. Okt., Apr.
330°	15. Sept., März



Phasenwinkel der 3. harmonischen Komponente (in Grad).

Phasenwinkel A_3	Max.
330°	25. Okt., Feb., Jun.
0°	15. Okt., Feb., Jun.
60°	25. Jan., Mai, Sept.
120°	5. Jan., Mai, Sept.